

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

**WILIAN RODRIGUES RIBEIRO**

**FERTIRRIGAÇÃO DO CAFEIEIRO CONILON: PRODUTIVIDADE E ATRIBUTOS  
QUÍMICOS DO SOLO**

**ALEGRE - ES**

**2023**

WILIAN RODRIGUES RIBEIRO

**FERTIRRIGAÇÃO DO CAFEIRO CONILON: PRODUTIVIDADE E ATRIBUTOS  
QUÍMICOS DO SOLO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo. Área de concentração em ciências agrárias e na linha de pesquisa em solo, água e interação com plantas

Orientador: Prof. D.Sc Edvaldo Fialho dos Reis.

Coorientador: Prof. D.Sc José Francisco Teixeira do Amaral.

ALEGRE - ES

2023

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

---

R484f      Ribeiro, Wilian Rodrigues, 1994-  
Fertirrigação do cafeeiro conilon: produtividade e atributos químicos do solo / Wilian Rodrigues Ribeiro. - 2023.  
90 f. : il.

Orientador: Edvaldo Fialho dos Reis.  
Coorientador: José Francisco Teixeira do Amaral.  
Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Café - Cultivo. 2. Agricultura. 3. Irrigação. 4. Plantas - Nutrição. 5. Adubos e fertilizantes - Aplicação. I. Reis, Edvaldo Fialho dos. II. Amaral, José Francisco Teixeira do. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 63

---

WILIAN RODRIGUES RIBEIRO

**FERTIRRIGAÇÃO DO CAFEIEIRO CONILON: PRODUTIVIDADE E ATRIBUTOS  
QUÍMICOS DO SOLO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Agronomia, área de concentração ciências agrárias, linha de pesquisa solo e água e interação com plantas.

Aprovada em 01 de março de 2023.

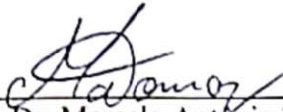
**COMISSÃO EXAMINADORA**



Professor Dr. Edvaldo Fialho dos Reis  
CCAEE-UFES (Orientador)



Professor Dr. Giovanni de Oliveira Garcia  
CCAEE-UFES (Membro Interno)



Professor Dr. Marcelo Antonio Tomaz  
CCAEE-UFES (Membro Interno)



Professor Dr. Otacilio José Passos Rangel  
IFES-Alegre (Membro Externo)



Pesquisador Dr. Luan Peroni Venâncio  
IF-Goiano (CEAGRE) (Membro Externo)

*“Lute com determinação, abrace a vida com paixão, perca com classe e vença com ousadia, porque o mundo pertence a quem se atreve e a vida é muito para ser insignificante.”*

Augusto Branco

A mim, por toda resiliência e persistência;  
A Deus por toda força na jornada;  
A todos aqueles que verdadeiramente me apoiaram e torceram pelas minhas conquistas;  
A toda minha família, em especial aos meus pais e Purcina, Renildo e minha irmã Taísa;  
A minha mais fiel amiga, companheira e namorada Dalila C. Gonçalves

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por estar presente sem cessar a todos os momentos, permitindo a conclusão desta etapa e a realização de mais um objetivo. Inúmeros foram os momentos de dúvidas e angústias, principalmente durante a conturbada pandemia da COVID-19, mas sob fé como alicerce permanecemos firme na esperança de dias melhores, amparado por uma enorme rede de apoio de familiares e amigos, os quais faço questão de agradecer-los.

Agradeço ao apoio de cada familiar, em especial meus pais Renildo Ribeiro e Purcina Rodrigues Ribeiro e minha querida irmã Taísa Rodrigues Ribeiro, que sonharam e lutaram junto comigo diariamente, sendo minha força e motivação diária.

Agradeço a minha melhor amiga, fiel companheira, namorada, esposa ou quaisquer outros adjetivos que possam ser empregados a esta mulher fantástica Dalila da Costa Gonçalves. Atuou como uma engrenagem central durante estes quatro anos do meu doutorado. Seu apoio e colaboração foram indispensáveis nesta etapa.

Agradeço a todos meus colegas que comigo compartilharam parte desta jornada, mesmo aqueles que mesmo distantes se fizeram presentes. Durante o doutorado, dedico meu agradecimento em especial a Daniel Ferreira, Samira Luns, Lucas Rosa, Mateus Shwan, Larissa Ataíde, ao professor Lucas Lousada e toda equipe do laboratório de cafés especiais de Venda Nova. Igualmente apresento gratidão ao senhor Willian de Souza, gerente da Fazenda Santo Antônio, que nos recebeu e prestou apoio durante todo o projeto.

Junto a estes amigos, incluo os professores que foram operários de uma construção, moldando o profissional que orgulhosamente me tornei. Quando docentes estes me levaram o conhecimento, quando amigos e colegas de profissão me engrandeceram com seus ensinamentos e conselhos.

Agradeço em especial ao Orientador Edvaldo Fialho dos Reis, que proporcionou meu ingresso como pesquisador, e por mais de 11 anos esteve colaborando diretamente na minha formação profissional. Juntamente esteve participando deste processo, meu coorientador José Francisco Teixeira do Amaral, o qual agradeço a grande amizade, ensinamentos, paciência e ajuda na elaboração desta pesquisa.

Formalizo também agradecimentos aos membros da banca, professor Marcelo Tomaz, Giovanni Oliveira, Otacílio Rangel e Luan Venancio pelos ensinamentos concedidos, pela disponibilidade e contribuição, agregando valores na qualidade deste trabalho.

Por fim, agradeço a Fertilizantes Heringer em nome da pessoa de Heitor R. Ribeiro, que prestou uma grande parceria e apoio ao projeto. Agradeço também ao IDAF em nome do

Gerente local Alisson Nunes pelo apoio logístico no projeto. Agradeço também a Universidade Federal do Espírito Santo e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, ao CNPq e a CAPES pelos investimentos no projeto de educação e formação continuada que exercem neste país e a todos que contribuíram de forma direta ou indiretamente para esta conquista.

Não haveria possibilidade de citar nominalmente todos que até aqui contribuíram para o processo, desta forma, me resta agradecer aos demais que nominalmente não foram citados, porém se fazem presentes sobre estas palavras, vocês foram fundamentais neste processo.



## BIOGRAFIA

Wilian Rodrigues Ribeiro, nascido em 14/02/1994 na cidade de Pancas localizada no interior do Noroeste do estado do Espírito Santo. Filho de agricultores Renildo Ribeiro e Purcina Rodrigues Ribeiro, de formação acadêmica integralmente pública tendo passagem no ensino fundamental na escola municipal Henoc Pereira e na escola Estadual Araribóia em 2008. Realizou ensino médio concomitante ao ensino técnico profissionalizante no Instituto Federal do Espírito Santo IFES “Campus Itapina” entre os anos de 2009 a 2011.

No ano de 2012 ingressou no curso de agronomia da Universidade Federal do Espírito Santo, obtendo em 2017 o título de Bacharel em agronomia. Neste mesmo ano ingressou no programa de pós graduação em produção vegetal *stricto sensu* desta instituição, obtendo o título de mestre na área de concentração em Recursos hídricos no ano de 2019. Em concomitante, dedicou-se em estudos relacionados a ciências estatísticas, obtendo o título de pós-graduado *lato sensu* em estatística aplicada em 2019 pela Universidade do norte Paraná.

Ainda em 2019 deu início ao doutorado pela Universidade Federal do Espírito Santo no programa de pós graduação em Agronomia, direcionando as pesquisas e projetos a linhas de manejo da irrigação, manejo de fertirrigação, agrometeorologia, nutrição de plantas, fertilidade do solo e fisiologia vegetal. Durante o doutorado atuou como professor colaborador em Métodos estatísticos para o programa de pós-graduação em gestão pública e foi aprovado como professor substituto do departamento de agronomia, sendo responsável por lecionar as disciplinas de Fisiologia de Vegetal, Fisiologia de Plantas lenhosas, nutrição de plantas, e tópicos especiais em produção vegetal, além de auxiliar voluntariamente o departamento de engenharia agrícola assumindo a disciplina de bioestatística.

Ao final desta jornada acadêmica, com a conclusão de meu doutorado, com humildade, porém repleto de orgulho, apresento de forma pública a sociedade minha contribuição e serviços como pesquisador. Ao total foram publicados mais de 40 artigos científicos, 70 trabalhos completos em congressos, 30 resumos expandidos além de diversas participações como convidado em congressos, bancas de conclusão de curso, correção de artigos para periódicos, orientação a iniciação científica, orientação de monitorias, palestras e cursos.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localização geográfica do experimento. ....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>	<b>7</b>
<b>Figura 2.</b> Procedimentos realizados para o preparo da área e início do experimento. ....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>	<b>8</b>
<b>Figura 3.</b> Preparo dos extratores e monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo. ....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>	<b>9</b>
<b>Figura 4.</b> Caracterização físico-hídrica do conteúdo volumétrico de água no solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) em função das tensões matriciais (kPa e $\log_{10}$ ), determinadas por meio dos coeficientes de umidade volumétrica residual ( $\theta_r$ ), umidade volumétrica na saturação ( $\theta_s$ ), e os parâmetros de ajuste da equação ( $n$ e $\alpha$ ). ....	<b>2</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>Figura 5.</b> Croqui experimental. ....		<b>22</b>
<b>Figura 6.</b> Avaliação do sistema de irrigação. ....		<b>23</b>
<b>Figura 7.</b> Fertilizantes, doses e método de aplicação na adubação convencional. ....		<b>25</b>
<b>Figura 8.</b> Comparação das doses aplicadas via fertirrigação e aferição do pH e condutividade elétrica dos fertilizantes. ....		<b>26</b>
<b>Figura 9.</b> Processos de colheita e beneficiamento do café. ....		<b>53</b>
<b>Figura 10.</b> Produtividade das parcelas fertirrigadas e convencionais para cada nível do fator doses de fertilizantes (A) e, produtividade das parcelas submetidas a diferentes doses de fertilização em função da forma de aplicação. As colunas seguidas por uma mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. ....		<b>54</b>
<b>Figura 11.</b> Produtividade do cafeeiro conilon em função de diferentes doses de fertilizante, para os níveis do fator forma de aplicação: fertirrigação e adubação convencional. ....		<b>55</b>
<b>Figura 12.</b> Condutividade elétrica da solução do solo ( $\text{dS m}^{-1}$ ) das diferentes doses de fertilizantes para os níveis do fator forma de aplicação de fertilizantes, fertirrigado e adubação convencional. ....		<b>57</b>
<b>Figura 13.</b> Padrão de manejo nutricional da propriedade em confronto aos níveis do fator doses de adubação, e do fator formas de aplicação de fertilizantes: níveis fertirrigado e adubação convencional. As colunas com asterisco diferem-se em relação ao padrão ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnet. ....		<b>58</b>
<b>Figura 14.</b> Preparo das amostras e métodos aplicados para extração dos atributos químicos do solo. ....		<b>70</b>
<b>Figura 15.</b> Variabilidade dos atributos químicos do solo ao longo do tempo, conduzidos sob diferentes doses de adubação e formas de aplicação de fertilizantes. ....		<b>73</b>
<b>Figura 16.</b> Comportamento dos atributos químicos no solo e na CTC em função de diferentes doses de fertilizantes de N e $\text{K}_2\text{O}$ e formas de aplicação, fertirrigado e convencional. ....		<b>76</b>
<b>Figura 17.</b> Análise de componentes principais utilizando as características químicas do solo com projeção das variáveis dos tratamentos em estudo. ....		<b>77</b>
<b>Figura 18.</b> Correlação de Pearson dos atributos químicos do solo para as parcelas fertirrigadas (A) e para as parcelas conduzidas com adubação convencional (B), seguidas pelo nível de correlação entre as variáveis. ....		<b>78</b>

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1.</b> Atributos químicos, físicos e físico-hídricos do solo.....	20
<b>Tabela 2.</b> Coeficientes de uniformidade de irrigação e classificação de eficiência aplicação.	23
<b>Tabela 3.</b> Recomendação da quantidade de N e K <sub>2</sub> O e determinação das doses das subparcelas. .....	24
<b>Tabela 4.</b> Fracionamento dos nutrientes em função das fases fenológicas e estimativa da condutividade elétrica (CE) esperada. (Adaptado Incaper).....	27
<b>Tabela 5.</b> Caracterização química e física do Latossolo Vermelho amarelo distrófico na camada de 0-20 cm. ....	71
<b>Tabela 6.</b> Comparação de médias entre os níveis do fator formas de aplicação e níveis do fator doses de adubação com N e K <sub>2</sub> O para os atributos químicos do solo. ....	74
<b>Tabela 7.</b> Modelo de regressão dos atributos químicos do solo submetidos a diferentes formas de aplicação de fertilizantes e doses de adubação com N e K <sub>2</sub> O. ....	75

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>13</b>
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>15</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
2.1. Caracterização e preparo da área .....	17
2.2. Caracterização química, física e físico-hídrica do solo .....	20
2.3. Esquema e delineamento experimental .....	21
2.4. Setor de irrigação .....	22
2.5. Tratamentos: doses, fertilizantes, parcelamentos e critérios .....	24
2.5.1. Adubação convencional.....	24
2.5.2. Fertirrigação.....	25
2.6. Métodos estatísticos.....	27
2.7. Características analisadas .....	27
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>29</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>34</b>
<b>1. DESCRIÇÃO E IMPORTÂNCIA DO CAFEIEIRO CONILON.....</b>	<b>34</b>
<b>2. AVANÇOS NA PRODUTIVIDADE DO CAFEIEIRO CONILON NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO .....</b>	<b>35</b>
2.1. Obtenção de genótipos superiores .....	35
2.2. Cultivo adensado de <i>Coffea canephora</i> .....	36
2.3. Produtividade em região de transição de altitude .....	36
2.4. A fertirrigação.....	37
2.5. Manejo da irrigação por gotejamento: considerações sobre o bulbo molhado.....	40
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>42</b>
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>50</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>50</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>51</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>52</b>
2.1. Colheita, beneficiamento e estimativa da produtividade.....	52
<b>3. RESULTADOS .....</b>	<b>54</b>
3.1. Produtividade.....	54
3.2. Condutividade elétrica da solução do solo .....	56
3.3. Comparação com a produtividade média local.....	57
<b>4. DISCUSSÃO .....</b>	<b>58</b>
4.1. Estratégias de manejo nutricional.....	59
4.2. Manejo da água no bulbo molhado .....	62

<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>63</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>64</b>
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>67</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>67</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>68</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>69</b>
2.1. Preparo das amostras e determinação dos atributos químicos do solo.....	69
2.2. Análise estatística .....	71
<b>3. RESULTADOS .....</b>	<b>72</b>
3.1. Modificações dos atributos químicos do solo ao longo do tempo.....	72
3.2. Efeito dos tratamentos sobre os atributos químicos do solo.....	74
3.3. Modelos ajustados de regressão .....	75
3.4. Análise de componentes principais e correlação das variáveis .....	77
<b>4. DISCUSSÃO .....</b>	<b>79</b>
4.1. Modificações nos atributos químicos do solo ao longo do tempo.....	79
4.2. Avaliação qualitativa e quantitativa dos atributos químicos no período de enchimento de grãos.....	81
4.3. Análise de componentes principais e correlação .....	85
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>86</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>87</b>

## RESUMO

Aumentar a eficiência no uso da água e insumos estão entre os principais desafios para o desenvolvimento de sistemas agrícolas mais produtivos e ecologicamente sustentáveis. Para isso, objetivou-se neste estudo avaliar as alterações dos atributos químicos do solo e a produtividade do cafeeiro conilon submetido a diferentes doses de adubação e formas de aplicação de fertilizantes, buscando gerar bases de conhecimento para direcionamento de recomendações considerando o atual modelo de cultivo. O experimento foi instalado em uma lavoura de *Coffea canephora* localizada no município de Muniz Freire, região sul do estado do Espírito Santo, a 550 m de altitude. O estudo foi conduzido em um esquema de parcelas subdivididas 2 x 4, sendo adotado nas parcelas o fator forma de aplicação de fertilizante em dois níveis (Fertirrigado e Convencional), o fator doses de adubação com N e K<sub>2</sub>O em quatro níveis (NK50 = 50%; NK100 = 100%; NK200 = 200% e NK300 = 300% da dose recomendada para produtividade esperada de 75 sc ha<sup>-1</sup>), conduzidos em um delineamento em blocos casualizados com três repetições. No primeiro capítulo, uma revisão de literatura abordou as contribuições das ciências agrárias no aprimoramento das técnicas de cultivo do cafeeiro conilon. No segundo, analisou-se os efeitos dos tratamentos sobre a produtividade do cafeeiro e sua relação com a condutividade elétrica da solução do solo. No terceiro, capítulo foram investigadas as modificações dos atributos químicos do solo em função dos efeitos dos tratamentos. Como resultado, foi constatado que a produtividade das parcelas fertirrigadas, foram estatisticamente superiores para uma mesma dose quando comparadas as parcelas convencionais. Sob fertirrigação também foram observados aumentos de produtividade em função das doses, obtendo-se 73,65; 108,55; 147,64 e 141,41 sc ha<sup>-1</sup> respectivamente para NK50, NK100, NK200 e NK300. A produtividade máxima foi de 150,11 sc ha<sup>-1</sup> na dose de 236,5% em fertirrigação, entretanto, as parcelas conduzidas com adubação convencional não apresentaram significância estatística a partir da dose de 100%. Considerando apenas dose padrão (NK100), as parcelas fertirrigadas apresentaram produtividade superior em 44,73% ao valor esperado e descrito no manual de recomendação do Espírito Santo, o que possibilitaria redução em até 30% das doses de NK em sistemas fertirrigados. Contudo, na avaliação dos atributos do solo, as parcelas fertirrigadas tenderam a progressiva acidificação do solo e redução na concentração de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, SB, V% e (t) em função do aumento das doses de fertilizantes. Este resultado foi associado a intensificação do uso da ureia e a maior absorção de nutrientes.

**Palavras chave:** *Coffea canephora*; nutrição mineral de plantas; fertilidade do solo; adubação.

### ABSTRACT

Increasing efficiency in the use of water and inputs are among the main challenges for the development of more productive and ecologically sustainable agricultural systems. For this, the objective of this study was to evaluate changes in soil chemical attributes and productivity of conilon coffee trees submitted to different doses of fertilization and forms of fertilizer application, seeking to generate knowledge bases for directing recommendations considering the current model of cultivation. The experiment was installed in a *Coffea canephora* crop located in the municipality of Muniz Freire, in the southern region of the state of Espírito Santo, at an altitude of 550 m. The study was carried out in a 2 x 4 split-plot design, adopting in the plots the fertilizer application form factor in two levels (Fertirrigated and Conventional), the fertilizer dose factor with N and K<sub>2</sub>O in four levels (NK50 = 50 %; NK100 = 100%; NK200 = 200% and NK300 = 300% of the recommended dose for an expected productivity of 75 sc ha<sup>-1</sup>), conducted in a randomized block design with three replications. In the first chapter, a literature review addressed the contributions of agricultural sciences to the improvement of conilon coffee cultivation techniques. In the second, the effects of treatments on coffee productivity and its relationship with the electrical conductivity of the soil solution were analyzed. In the third, changes in soil chemical attributes due to the effects of treatments were investigated. As a result, it was found that the productivity of fertirrigated plots were statistically higher for the same dose when compared to conventional plots. Under fertigation, productivity increases were also observed as a function of the doses, obtaining 73.65; 108.55; 147.64 and 141.41 sc ha<sup>-1</sup> respectively for NK50, NK100, NK200 and NK300. The maximum productivity was 150.11 sc ha<sup>-1</sup> at the dose of 236.5% in fertigation, however, the plots conducted with conventional fertilization did not show statistical significance from the dose of 100%. Considering only the standard dose (NK100), the fertirrigated plots showed productivity 44.73% higher than the expected value and described in the Espírito Santo recommendation manual, which would allow a reduction of up to 30% in NK doses in fertigated systems. However, in the evaluation of soil attributes, the fertirrigated plots tended to progressive soil acidification and reduction in the concentration of Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, SB, V% and (t) due to the increase in fertilizer doses. This result was associated with the intensification of the use of urea and the greater absorption of nutrients.

**Keywords:** *Coffea canephora*; mineral nutrition of plants; soil fertility; fertilizing.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A demanda hídrica e energética está aumentando em todo planeta e o apelo para incrementos na produtividade exigirá cada vez mais recursos naturais. Fatores associados à globalização, mudanças climáticas, desenvolvimento econômico e crescimento populacional tem subsidiado este aumento (HADDELAND et al., 2014; HEJAZI et al., 2015; WADA et al., 2016; TAN; ZHANG; LI, 2017).

O grande desafio para a agricultura moderna é interligar a produção sustentável de alimentos e ao mesmo tempo impulsionar as economias locais e globais, com baixa disponibilidade de terras aráveis e recursos naturais cada vez mais limitados (WADA et al., 2013). Os caminhos para alcançar estes objetivos consistem primariamente em otimizar a eficiência da produção agrícola, por meio da utilização de recursos tecnológicos disponíveis e, principalmente, no aprimoramento das técnicas de cultivo (BRUNO et al., 2015; LI; SINH, 2020). Juntas, essas estratégias poderiam aumentar a produção e, ao mesmo tempo, minimizar os impactos ambientais da agricultura. Nesse contexto, é necessário um embasamento mais sólido para pesquisas que possam trazer avanços científicos e práticos para o futuro da cadeia produtiva do cafeeiro dada a relevância dessa cultura.

Economicamente, o café é uma das *commodities* de maior importância no comércio internacional. Mundialmente emprega 500 milhões de pessoas e gera uma receita de US\$ 173 bilhões em torno de sua cadeia produtiva (ICO, 2019). O Brasil é líder mundial em produção e exportação de cafés (COSTA, 2020; VEGRO; ALMEIDA, 2020), sendo o estado do Espírito Santo o maior produtor nacional da espécie *Coffea canephora*, respondendo por aproximadamente 70% da produção nacional e 30% da produção mundial (CONAB, 2023).

A evolução produtiva do café conilon nas últimas décadas está estreitamente associada ao aumento na capacidade de transferência de tecnologias que foram impulsionadas pelo avanço nas pesquisas. A adoção de genótipos melhorados, os progressos científicos relacionados a fisiologia do cafeeiro conilon, o adensamento de cultivo, o manejo cultural e, principalmente, a conceituação da irrigação como técnica fundamental, estão dentre as tecnologias mais relevantes a serem elencadas (PARTELLI et al., 2014; MAGIERO et al., 2017; RIBEIRO et al., 2018).

No passado, a utilização da irrigação era vista como uma opção técnica de aplicação de água, que objetivava minimizar os danos provocados pela seca. Atualmente a irrigação dentro do contexto do agronegócio é uma tecnologia aprimorada que se bem executada, garante uma



produtividade satisfatória de grãos (SILVA; REIS, 2017) e estabilidade produtiva. Além dos benefícios comprovados da irrigação na cultura cafeeira, é indispensável a correta aplicação dos componentes minerais. Neste contexto, o conceito e a compreensão da relevância da fertirrigação poderá atender as demandas equacionadas.

Cerca de 81% das lavouras de café conilon são conduzidas com sistemas de irrigação no estado do Espírito Santo, sendo a grande maioria na região norte capixaba (IBGE-GCEA-LSPA, 2015; INCAPER, 2016). Considerando-se este percentual, o emprego da fertirrigação pode facilmente aliar o uso racional da água e nutrientes, ao atendimento de impositivos no tocante à preservação ambiental, e ainda reduzir os custos de produção devido à menor dependência de mão-de-obra (DATTAMUDI et al., 2016; KUMAR et al., 2016; OTTO et al., 2016; VICENTE et al., 2017). Além disso, a incorporação direta de fertilizantes no solo, próximo a zona radicular efetiva, de forma gradual, conforme a taxa de absorção da cultura, condicionam um sistema onde espera-se uma maior eficiência do sistema produtivo (BRUNO et al., 2015; LIMA et al., 2016; MORTENSEN et al., 2016; TIAN et al., 2017; CARR; BOARETTO; MATTOS, 2020).

Apesar dos benefícios reconhecidos da prática, a baixa eficiência dos sistemas fertirrigados têm restringido o potencial produtivo da cafeicultura. Segundo Abalos et al. (2014), às restrições primárias estão relacionadas a utilização de projetos inadequados, com baixos índices de eficiência (BRITO; GOMES; LUDWIG, 2012). No estado do Espírito Santo, este fato está principalmente relacionado a restrições topográficas dos terrenos, devido à grande declividade natural onde estão inseridos uma significativa parte cafeicultura capixaba. Contudo, também se encontram limitações por ausência de gerenciamento da irrigação (BONOMO et al., 2014).

A posteriori, as limitações concentram-se na carência de informações e direcionamentos para condução do manejo da solução do solo em cultivos fertirrigados. Segundo Vicente et al. (2017), pesquisas sobre homogeneidade e a eficiência da aplicação de fertilizantes no cafeeiro ainda são muito limitadas, porém esses são pontos fundamentais para subsidiar resultados mais seguros à produção e a sustentabilidade na cafeicultura (FULLIN; TOREZANI, 2007).

Explorar o potencial da fertirrigação é uma abordagem que reforça o foco da agricultura em otimizar a eficiência dos setores produtivos e na utilização dos recursos naturais. Objetivou-se neste estudo avaliar as alterações dos atributos químicos do solo e a produtividade do cafeeiro conilon submetido a diferentes doses de adubação e formas de aplicação de fertilizantes. A proposta engloba possui finalidade de direcionar ajustes nas doses de nitrogênio (N) e potássio (K) em função da demanda nutricional e eficiência dos atuais sistemas de cultivos. Espera-se,

gerar bases de conhecimento que convirjam caminhos para uma cafeicultura de alto rendimento e sustentável no estado do Espírito Santo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização e preparo da área

O presente estudo foi desenvolvido em uma lavoura comercial de café conilon *C. canephora* da fazenda Santo Antônio do Amorim. A propriedade rural está localizada no município de Muniz Freire, na região Sul do estado do Espírito Santo, latitude 20° 31' Sul, longitude 41° 27' Oeste, a 550,0 m de altitude em relação ao nível do mar (Figura 1). O clima da região é classificado como “Aw” com estação seca no inverno, de acordo com a classificação de Köppen. A série histórica do instituto nacional de meteorologia caracteriza a região com temperatura anual média de 21,5 °C e precipitação média anual em torno de 1381 mm.



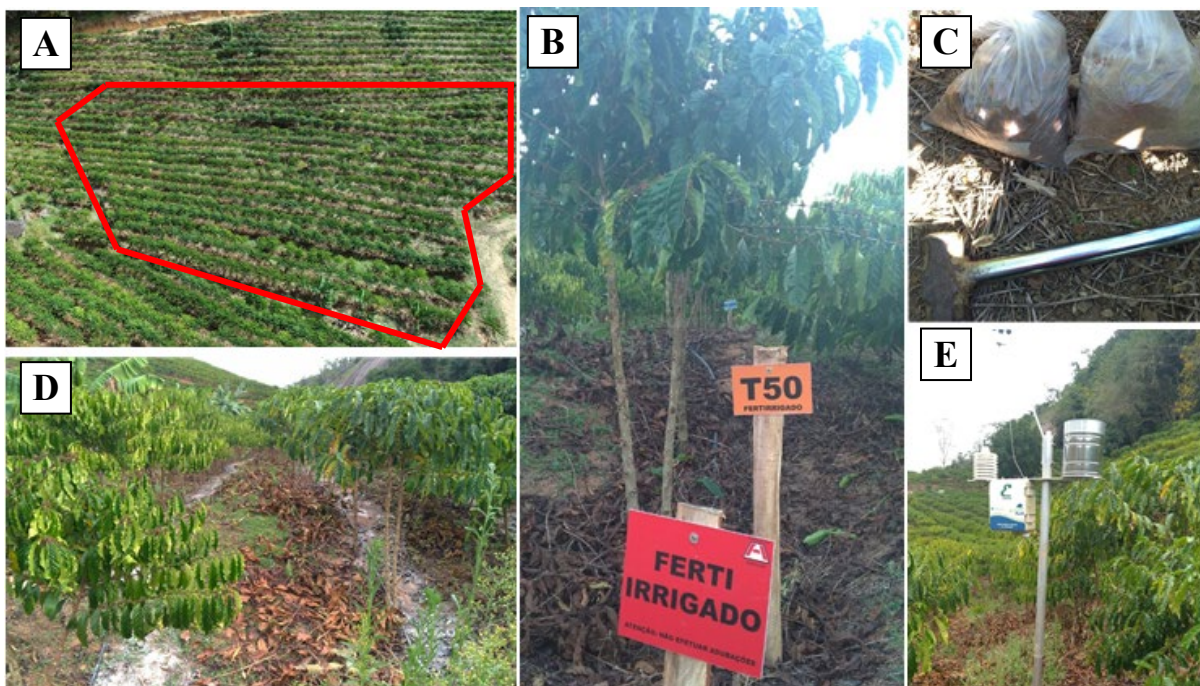
**Figura 1.** Localização geográfica do experimento.

A lavoura foi instalada no ano de 2017. O plantio foi realizado em curva de nível, utilizando os materiais clonais LB1, K61, 153, e verdinho, devido ao seu reconhecido alto potencial produtivo. Para o plantio estes clones foram identificados e dispostos em linhas intercalares, conduzidos com duas hastas ortotrópicas e espaçamento de 2,20 x 1,0 m entre fileiras e plantas respectivamente, totalizando 4545 plantas ha<sup>-1</sup>. O preparo para implementação do experimento

foi iniciado em junho de 2020 (Figura 2). No primeiro momento, a área foi delimitada (Figura 2A) e os tratamentos foram demarcados conforme o desenho experimental (Figura 2B).

Para a realização das análises granulométricas do solo e análise química das diversas variáveis que influenciam o desenvolvimento do cafeeiro, foram realizadas amostragens iniciais conforme recomendado por Prezotti et al. (2007). Com auxílio de sonda (Figura 2C), foram amostrados 20 pontos na gleba de 0,3 ha, para as camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade. A amostra composta foi encaminhada ao laboratório de rotina de solos do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE-UFES). Com os resultados procedeu-se a correção da acidez do solo, e tratos culturais como limpeza da linha de cultivo, desbrota e retirada dos ramos plagiotrópicos (Figura 2D).

Para monitoramento dos dados climáticos foi instalada na área uma estação meteorológica Irriplus® modelo E5000 (Figura 2E). Durante todas as etapas de execução do experimento foi adotado o monitoramento e aplicação dos tratos culturais e fitossanitários preconizados para café conilon (FERRÃO et al., 2017).



**Figura 2.** Procedimentos realizados para o preparo da área e início do experimento.

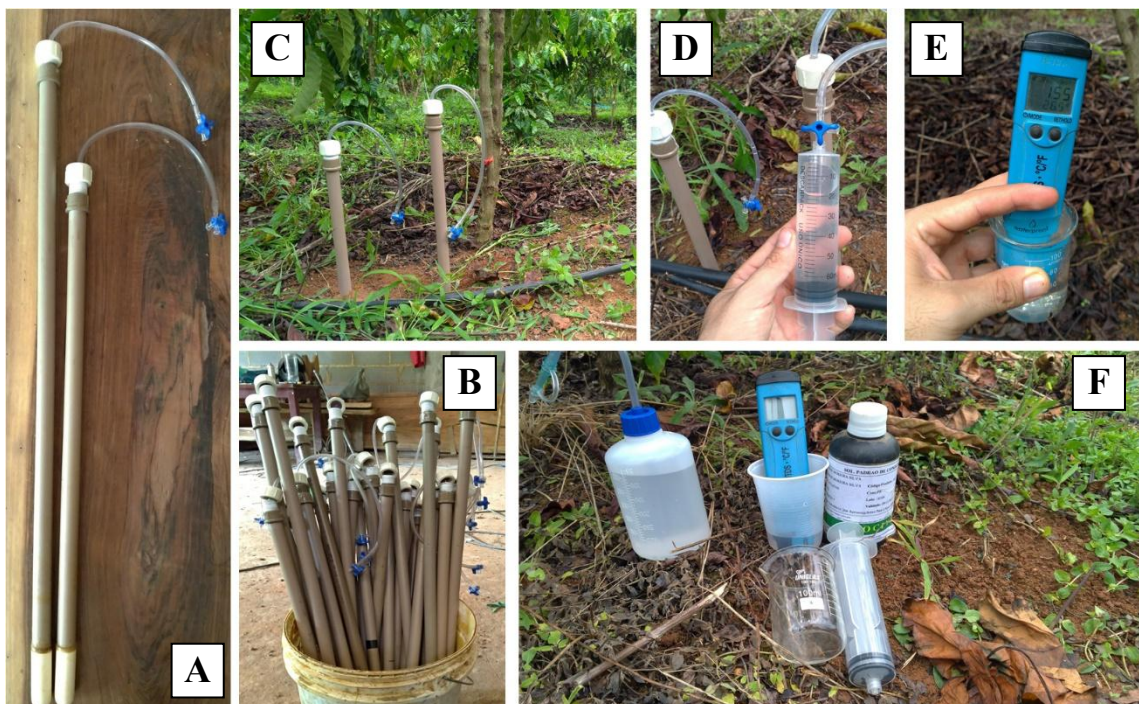
A: Delimitação da área experimental; B: Demarcação dos tratamentos; C: Coleta de solo; D: Correção da acidez e aplicação dos tratos culturais; E: Instalação da estação meteorológica.

Para monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo durante o ciclo da cultura, foram desenvolvidos extratores de cápsula porosa adaptados ao modelo descrito por Blanco

(2006) (Figura 3A). Para a aferição, o equipamento foi previamente testado em casa de vegetação, onde foi atestada boa capacidade para manutenção da pressão interna e volume satisfatório de solução pós-coleta. O extrator apresenta baixo custo de produção, com materiais de fácil aquisição e possibilidade de confecção própria, garantindo acessibilidade aos mais diversos níveis de produtores.

Os extratores foram submetidos a escorva 24 horas antes da instalação, a fim de garantir a retirada de bolhas de ar (Figura 3B) e posteriormente foram instalados a uma profundidade de 20 cm, sendo distribuído um extrator em cada parcela experimental. Paralelamente em uma linha fertirrigada e outra convencional, foram instalados extratores a 40 cm, um para cada parcela experimental, visando monitorar a percolação de fertilizantes (Figura 3C).

A coleta da solução foi realizada mensalmente, sempre posterior a um período de 6 horas após a fertirrigação. Para realização do procedimento, foi aplicado um vácuo em cada extrator, estabelecendo uma tensão de aproximadamente -90 kPa. Transcorridas um período de 12 horas sob o vácuo, com auxílio de uma seringa plástica de 60 mL acoplada a um microtubo, coletou-se a solução do solo (Figura 3D). A condutividade elétrica foi obtida por medição direta, com condutivímetro portátil Hanna modelo DIST5 (Figura 3E), previamente calibrado em solução padrão (Figura 3F).



**Figura 3.** Preparo dos extratores e monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo.

A: Demonstração dos extratores fabricados; B: Escorva dos extratores; C: Instalação dos extratores; D: Retirada da solução do solo; E: Medição da condutividade elétrica da solução; F: Equipamentos necessários execução dos procedimentos.

## 2.2. Caracterização química, física e físico-hídrica do solo

O solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho amarelo distrófico (SANTOS et al., 2018), com textura média. Os procedimentos para realização das análises físicas, químicas e físico-hídricas (Tabela 1), seguiram a metodologia de Teixeira et al. (2017). Diante da necessidade de correção da acidez do solo, o cálculo da necessidade de calagem foi realizado pelo método da saturação de bases de modo a elevar o índice para 70% (PREZOTTI et al., 2007). Foi utilizado como corretivo calcário dolomítico, aplicado em faixa contínua de 1 m sob a projeção da copa, e considerando a camada de 0-20 cm.

Para uma melhor reatividade do calcário aplicado no solo, foi respeitado um período de sessenta dias entre a aplicação e o início do experimento. Trinta dias após a calagem as parcelas experimentais foram submetidas a correção dos teores de fósforo utilizando 20 g planta<sup>-1</sup> de fosfato monoamônico (MAP), formulado 10% de N e 50% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, aplicado manualmente de forma concentrada a 20 cm do ramo ortotrópico. Também foi aplicado 2 g planta<sup>-1</sup> do complexo de micronutrientes FH<sub>Café</sub>, com composição básica de 10% de S, 4% de B, 7% de Zn e 10% de Cobre. O teor de nitrogênio contido nos fertilizantes foi considerado para adequação da dose final prevista.

**Tabela 1.** Atributos químicos, físicos e físico-hídricos do solo.

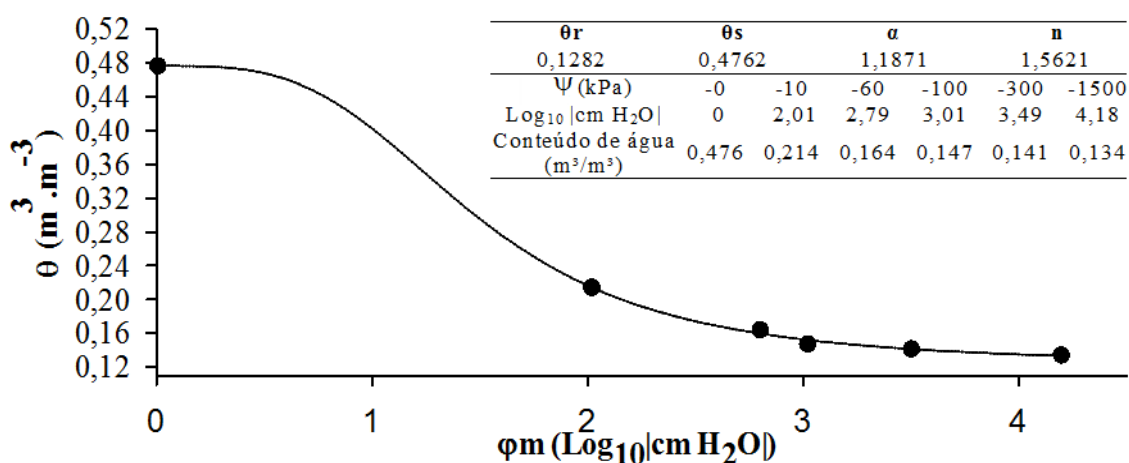
Atributos físico-químicos <sup>1</sup>									
pH	P	K	Ca	Mg	Al	SB	T	V	MO
	Mg dm <sup>-3</sup>		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				%	Dag kg <sup>-1</sup>	
*5,25	15,21	91,11	1,13	0,31	0,12	1,67	4,17	40,05	0,96
**5,34	4,84	69,82	0,64	0,20	0,13	1,02	3,12	32,69	0,68
Atributos físicos e físico-hídricos <sup>2</sup>									
Teor de água (m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> )			Análise granulometria (%)			Ds	Dp		
CC	PM	AD	Areia	Silte	Argila	(g cm <sup>-3</sup> )	(g cm <sup>-3</sup> )		
*21,40	13,41	7,99	57,50	10,90	31,60	1,33	2,53		
**23,81	12,90	10,91	65,00	10,00	25,00	1,25	2,59		

\*Camada de 0-20cm e \*\*Camada de 20-40cm.

<sup>1</sup> Extração e determinação: pH em água (1:2,5); P, K, Na: extrator Mehlich-1 e determinação por colorimetria; Ca, Mg, Al: extrator KCl 1mol L<sup>-1</sup> e determinação por espectrometria de absorção atômica; H+Al: extrator de Acetato de Cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup>; Matéria Orgânica: oxidação de carbono via úmida com dicromato de potássio em meio ácido (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

<sup>2</sup>Para análise física agitação lenta a 50 RPM por 16 horas, com agitador tipo wagner; dispersante químico: NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> e determinação das frações silte e argila pelo método da pipeta. Para curva de retenção utilização do extrator de placa porosa. CC: capacidade de campo; PM: ponto de murcha permanente; AD: água disponível; Ds: densidade do solo e Dp: densidade de partículas.

Para o manejo da água foi realizado a determinação da curva de retenção de água no solo (Figura 4) pelo método do extrator de placa porosa (RICHARDS, 1965), a qual foi ajustada utilizando o modelo proposto por Van Genuchten (1980).

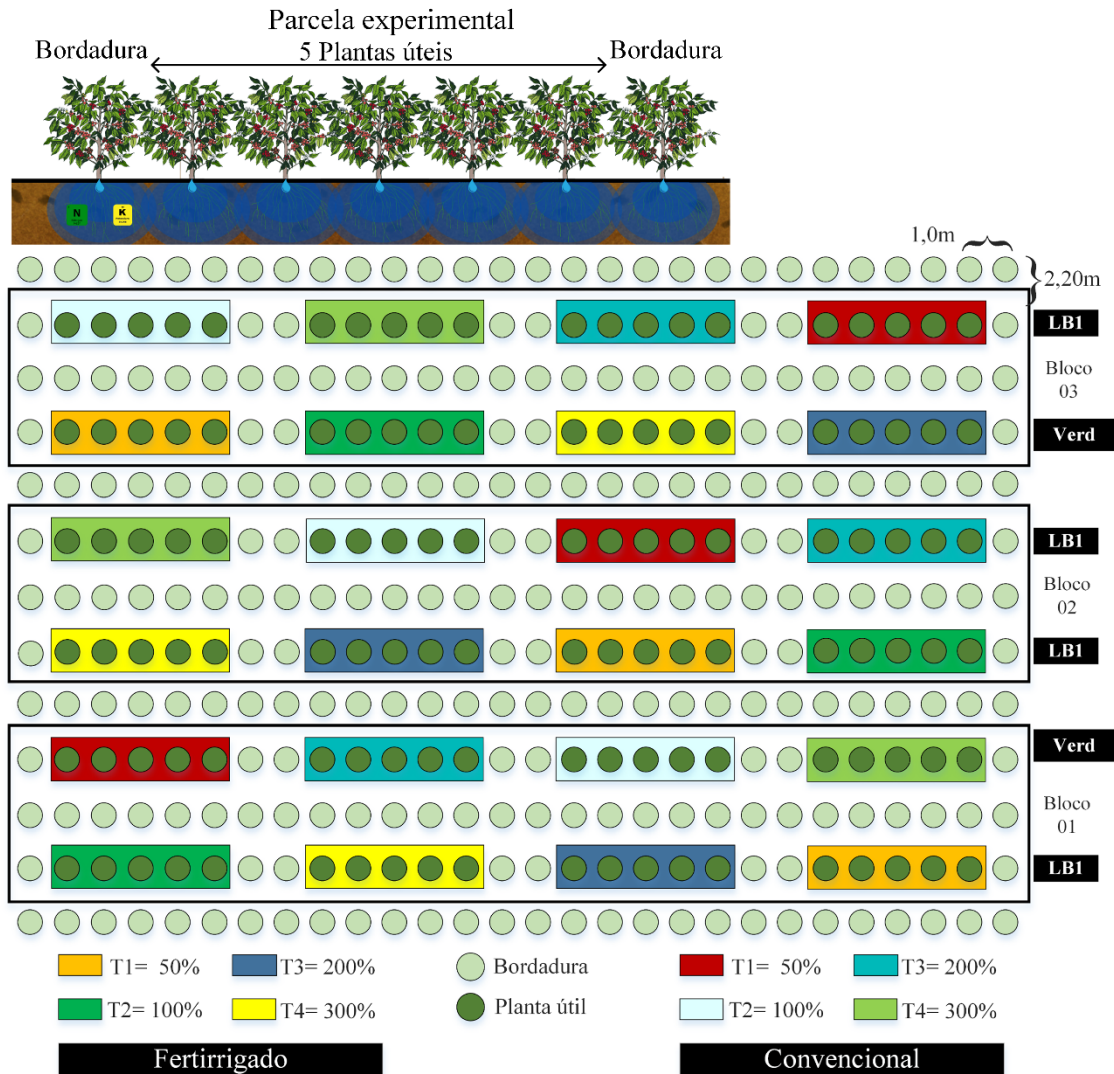


**Figura 4.** Caracterização físico-hídrica do conteúdo volumétrico de água no solo (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) em função das tensões matriciais (kPa e log<sub>10</sub>), determinadas por meio dos coeficientes de umidade volumétrica residual ( $\theta_r$ ), umidade volumétrica na saturação ( $\theta_s$ ), e os parâmetros de ajuste da equação ( $n$  e  $\alpha$ ).

### 2.3. Esquema e delineamento experimental

O experimento foi conduzido em um esquema de parcelas subdivididas 2 x 4. Nas parcelas foi adotado o fator forma de aplicação de fertilizantes em dois níveis (Fertirrigado e Convencional), o fator doses de adubação com N e K<sub>2</sub>O em quatro níveis (NK50 = 50%; NK100 = 100%; NK200 = 200%; e NK300 = 300% da dose recomendada para produtividade esperada de 75 sc ha<sup>-1</sup>), conduzidos em um delineamento em blocos casualizados com três repetições.

Cada parcela experimental foi constituída de sete plantas, as quais foram utilizadas para análises as cinco centrais, estabelecendo as plantas mais externa de cada lado como bordaduras da parcela (Figura 5). No planejamento também foi considerado a inserção de uma linha de bordadura dentro do bloco, especificamente entre os fatores forma de aplicação, além de outra linha separando os diferentes blocos.



**Figura 5.** Croqui experimental.

## 2.4. Setor de irrigação

O método adotado na área foi a irrigação localizada via gotejamento autocompensante. Após uma análise inicial do sistema pré-existente na área, foram constatados problemas hidráulicos de pressão e vazão, e agronômicos de bulbo molhado no setor (Figura 6A). Estes fatores demandaram modificações obrigatórias para melhor eficiência de aplicação da água.

Dentre as mudanças estabelecidas efetuou-se o aumento do diâmetro na tubulação de derivação e foi necessária a inserção de uma segunda linha lateral com objetivo de aumentar a intensidade de aplicação e a área do bulbo molhado. Para verificar a efetividade das

modificações, o setor experimental foi submetido a uma análise de eficiência de aplicação de água (Figura 6B e Figura 6C), seguindo a metodologia de Keller e Karmeli (1975).



**Figura 6.** Avaliação do sistema de irrigação.

A: demonstração da limitação quanto ao bulbo molhado; B e C: procedimentos para análise da vazão e pressão dos gotejadores, respectivamente.

Para fins de cálculos, foram considerados os coeficientes propostos por Cunha et al. (2014), sendo eles: Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CHRISTIANSEN, 1942); Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) (CRIDDLE et al., 1956); Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE) (WILCOX; SWAILES, 1947); Coeficiente de Uniformidade Absoluta (CUA) (KARMELI; KELLER, 1975); Coeficiente de Uniformidade de Hart (CUH) e Eficiência Padrão da HSPA (UDH) (HART, 1961).

Para classificação dos coeficientes quanto à uniformidade (Tabela 2), utilizou-se como referência de CUC, CUE e CUD os dados descritos por Mantovani (2001), e para CUA, CUH e UDH as informações apresentadas por ASAE (2008).

**Tabela 2.** Coeficientes de uniformidade de irrigação e classificação de eficiência aplicação.

	Coeficientes de uniformidade de irrigação (%)					
	CUC	CUD	CUE	CUA	CUH	UDH
Valores médios	93,5	94,58	93,52	94,38	95,75	91,53
Classificação	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente

Conforme preconizado por Mantovani; Bernardo; Palaretti. (2009) para sistemas de irrigação localizada, a obtenção de eficiência superior a 90% é um percentual confiável e de excelente resposta para iniciar a aplicação do manejo. O setor operou em faixa molhada, com intensidade



de aplicação de 5 L h<sup>-1</sup> e pressão média de serviço de 20 kPa. Ao longo do estudo, periodicamente foram realizadas a manutenção e limpeza das linhas laterais. Estas inspeções tinham como principal objetivo garantir a manutenção dos índices de eficiência do sistema.

Com os dados diários coletados pela estação meteorológica, procedeu-se a estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) pelo método de Penman-Monteith. Para os cálculos da lâmina de água aplicada, foi adotado o fator de disponibilidade de água (f) para o cafeeiro de 50% (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009), profundidade efetiva do sistema radicular (z) de 30 cm (SOUZA et al., 2018), e coeficiente cultural (K<sub>C</sub>) de 1,0 (SILVA; REIS, 2017) e uma área de bulbo molhado próximo a 30%. Além disso, foi aplicada uma correção por meio do coeficiente de localização (K<sub>L</sub>), baseado em uma área sombreada de 70%, obtendo-se assim a ET<sub>LOC</sub>. Ao atingir o valor limite pré-estabelecido, foi efetuado a irrigação, seguindo a metodologia de Bernardo et al. (2019), usando a quantidade de água necessária para retornar à umidade do solo para a capacidade de campo (10 kPa).

## 2.5. Tratamentos: doses, fertilizantes, parcelamentos e critérios

### 2.5.1. Adubação convencional

As doses de fertilizantes para a adubação convencional foram determinadas após a interpretação da análise química do solo. A recomendação do tratamento padrão (NK100) foi realizada com base no manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo: 5ª aproximação (PREZOTTI et al., 2007). A produtividade média estabelecida para NK100 foi de 75 sc ha<sup>-1</sup>. Este valor foi determinado em função do estágio de desenvolvimento, nível tecnológico e histórico produtivo da área. Para esta produtividade, foi recomendado aplicação de 380 kg ha<sup>-1</sup> de N e 280 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (Tabela 3).

**Tabela 3.** Recomendação da quantidade de N e K<sub>2</sub>O e determinação das doses das subparcelas.

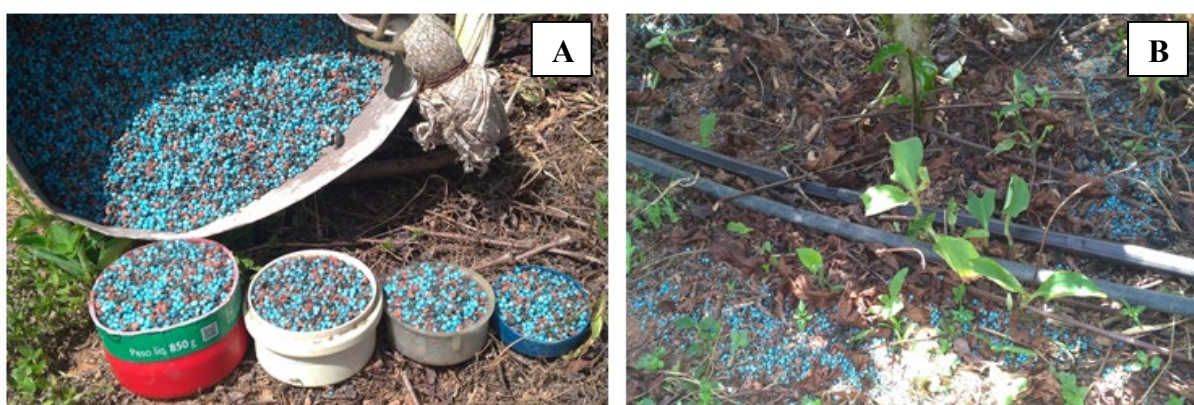
Níveis das subparcelas	Demanda nutricional				
	N (kg ha <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	N* (g planta ano <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> O* (g planta ano <sup>-1</sup> )	Formulado (28-00-21)* (g planta ano <sup>-1</sup> )
NK50	190,00	140,00	86,97	51,34	143,00
NK100	380,00	280,00	177,84	102,68	293,00
NK200	760,00	560,00	359,60	206,77	590,00
NK300	1140,00	840,00	541,36	311,28	890,00

\*Valores corrigidos considerando a quantidade de nitrogênio incorporado junto a adubação fosfatada.

A partir destes valores, foram estabelecidas proporcionalmente as quantidades de fertilizantes para NK50, NK200 e NK300. Uma correção na recomendação de N foi realizada de acordo com o percentual deste nutriente fornecido junto a adubação fosfatada.

Com as doses finais estabelecidas calculou-se a quantidade do formulado 28-00-21 para cada nível das subparcelas experimentais submetidas a adubação convencional. Para melhor visualização dos valores, a recomendação de N e  $K_2O$  também foi descrita em gramas planta por ano (Tabela 3), considerando para isso a população de 4545 plantas por hectare.

Para critérios de aplicação, as doses foram igualmente distribuídas em três aplicações, realizadas sob a projeção da copa (Figura 6B), a uma proximidade de 20 cm do ramo ortotrópico. A aplicação foi realizada durante o período chuvoso, conforme recomendado por Prezotti et al., 2007 e amplamente difundido para regiões de montanha, o qual geralmente estende-se a partir de setembro até o mês de março.



**Figura 7.** Fertilizantes, doses e método de aplicação na adubação convencional.

A: Representação das doses e do formulado aplicado 28-00-21 Nitro<sup>+</sup> Heringer; B: método de aplicação, a lanço sobre a projeção da copa previamente antes da chuva

Adubos convencionais podem em alguns casos ultrapassar em até 78% perdas de acordo com as condições ambientais as quais forem impostos (LARA CABEZAS et al., 1997). Por isto, neste estudo foi utilizado o fertilizante formulado 28 - 00 - 21 (Figura 7A), um produto onde grânulos de ureia são recobertos por cobre e boro. O revestimento visa de inibir parcialmente a atividade da uréase, reduzindo assim possíveis perdas por volatilização (RIBEIRO et al., 2016).

### 2.5.2. Fertirrigação

Seguindo a recomendação pré-estabelecida na Tabela 03, foram determinadas para fertirrigação as respectivas doses (Figura 8A). Os fertilizantes foram submetidos a testes para aferição de características relacionadas à pureza, solubilidade e condutividade elétrica. Para leituras utilizou-se condutivímetro de bancada na diluição de 1g L<sup>-1</sup> com água deionizada (Figura 8B e 8C).



**Figura 8.** Comparação das doses aplicadas via fertirrigação e aferição do pH e condutividade elétrica dos fertilizantes.

A: doses dos fertilizantes para parcelas fertirrigadas; B: equipamento para medição de pH e condutividade e C: solução padrão para calibração.

Para o manejo via fertirrigação, é necessário a utilização de fertilizantes de alta solubilidade, e de preferência com menor custo. Assim, para o atendimento das necessidades de nitrogênio optou-se pelo uso de ureia convencional [CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>]; 46% N; CE de 0,003 dS m<sup>-1</sup>; pH 4,52; solubilidade máxima em 1000 g L<sup>-1</sup>. Já a fonte K<sub>2</sub>O foi o cloreto de potássio branco [KCl; 60% K<sub>2</sub>O; CE 1,9 dS m<sup>-1</sup>; pH 6,3 e solubilidade máxima 250 g L<sup>-1</sup>]. Foi realizado a caracterização da CE da água utilizada no sistema de irrigação, a qual aferiu-se o valor de 0,07 dS m<sup>-1</sup>

Na fertirrigação as doses foram aplicadas homogeneamente a cada quinze dias. Este intervalo mínimo atende o pressuposto de que a condutividade elétrica da solução aplicada não excederia o limite tolerável para cultura do cafeeiro de 3 dS m<sup>-1</sup> (DIMENSTEIN, 2019). Uma exceção foi estabelecida para época de enchimento de grãos em NK300. O número mínimo de 24 aplicações por ano foi estabelecido com base na equação 1.

$$N = \left[ \frac{(D_u EC_u) + (D_c EC_c) + (V_a EC_a)}{V \cdot EC_{m\acute{a}x}} \right] \quad (1)$$

Sendo N: número mínimo de aplicações; D<sub>u</sub> e D<sub>c</sub> corresponde a dose total de uréia e cloreto (g planta<sup>-1</sup>) e V<sub>a</sub> corresponde ao volume de água aplicada na irrigação; EC<sub>u</sub>, EC<sub>c</sub> e EC<sub>a</sub> corresponde

a condutividade elétrica da ureia, cloreto e da água da propriedade respectivamente ( $\text{g L}^{-1}$ );  $V$  corresponde o volume máximo de água ( $\text{L planta}^{-1}$ ) e  $\text{EC}_{\text{max}}$  corresponde a condutividade elétrica máxima tolerada pelo cultivo.

Ao longo do ano as doses de fertilizantes foram particionadas de acordo com a demanda do ciclo fenológico da cultura, adotando o modelo de Camargo (2001). A respectiva demanda nutricional por fase fenológica foi estabelecida e descrita na (Tabela 4).

**Tabela 4.** Fracionamento dos nutrientes em função das fases fenológicas e estimativa da condutividade elétrica (CE) esperada. (Adaptado Incaper).

Estádio Fenológico	Meses	Doses (%)		CE estimada ( $\text{dS m}^{-1}$ )*			
		N	K <sub>2</sub> O	NK50	NK100	NK200	NK300
Pré-Florada e Floração	Julho	5,00	7,00	0,42	0,76	1,45	2,15
	Agosto	10,0	7,00	0,42	0,76	1,45	2,15
	Setembro	10,0	7,00	0,42	0,76	1,45	2,15
Desenvolvimento dos Frutos	Outubro	10,0	10,0	0,56	1,05	2,04	3,00
	Novembro	10,0	10,0	0,56	1,05	2,04	3,00
	Dezembro	10,0	10,0	0,56	1,05	2,04	3,00
Granação	Janeiro	10,0	12,0	0,66	1,25	2,44	3,60
	Fevereiro	10,0	12,0	0,66	1,25	2,44	3,60
	Março	10,0	12,0	0,66	1,25	2,44	3,60
Maturação e Pós- Colheita	Abril	5,00	5,00	0,32	0,56	1,06	1,56
	Mai	5,00	4,00	0,27	0,46	0,86	1,26
	Junho	5,00	4,00	0,27	0,46	0,86	1,26
	Total	100%	100%				

\* Os valores foram obtidos por meio da razão entre o somatório da condutividade elétrica de cada fertilizante e o volume de água aplicado por irrigação.

## 2.6. Métodos estatísticos

Após tabulação e análise crítica, os dados foram submetidos à análise de variância ( $p \leq 0,05$ ). Quando o teste F foi significativo, utilizou-se o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) para o fator qualitativo. Quando necessário, aplicou-se o teste de Dunnet ( $p \leq 0,05$ ) com finalidade de contrastar os tratamentos com base na referência estabelecida. Para os fatores quantitativos foi utilizado análise de regressão, onde os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t de student ao nível de 5% de probabilidade e pelo coeficiente de determinação, utilizando-se o Software SAEG, versão 9.1.

## 2.7. Características analisadas

As variáveis exploradas neste estudo foram discriminadas em três capítulos. No primeiro foram realizadas caracterizações sobre os avanços da cafeicultura e a contribuição das ciências agrárias neste processo. No segundo capítulo foram abordadas as análises sobre a produtividade e condutividade elétrica da solução do solo. Para finalizar, o terceiro capítulo tratou da investigação dos tratamentos sobre modificações nos atributos químicos do solo. Os métodos complementares a cada análise estão exemplificados nos respectivos capítulos.

## REFERÊNCIAS

- ABALOS, D.; SANCHEZ-MARTIN, L.; GARCIA-TORRES, L.; GROENIGEN, J. W. VAN; VALLEJO, A. Management of irrigation frequency and nitrogen fertilization to mitigate GHG and NO emissions from drip-fertigated crops. **Science of the Total Environment**, v. 490, p. 880–888, 2014.
- ASAE. **ASAE EP 405.1**: standards, design and installation of microirrigation systems.[S.l.], 2008.
- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de irrigação**. 9º ed. Viçosa-MG, Brasil.: Editora: UFV, 2019.
- BLANCO, F. F. **Manual de construção e utilização de extratores de cápsula porosa para obtenção da solução do solo**. EMBRAPA Meio-Norte. 2006, 36p. (Documentos, 142).
- BONOMO, D. Z.; BONOMO, R.; PEZZOPANE, J. R. M.; SOUZA, J. M. de. Alternativas de manejo de água de irrigação em cultivos de conilon. **Coffee Science**, v. 9, n. 4, p. 537–545, 2014. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/8113>
- BRITO, R. R.; GOMES, E. R.; LUDWIG, R. Uso da água na irrigação. **Fórum Ambiental**, v. 8, n. 2, p. 373–383, 2012.
- BRUNO, I. P.; REICHARDT, K.; BORTOLOTTI, R. P.; PINTO, V. M.; BACCHI, O. O. S.; DOURADO-NETO, D.; UNKOVICH, M. J. Nitrogen Balance and Fertigation Use Efficiency in a Field Coffee Crop. **Journal of Plant Nutrition**, v. 38, n. 13, p. 2055–2076, 2015. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.958168>
- CARR, N. F.; BOARETTO, R. M.; MATTOS, D. Coffee seedlings growth under varied  $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$  ratio: Consequences for nitrogen metabolism, amino acids profile, and regulation of plasma membrane  $\text{H}^+$ -ATPase. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 154, p. 11–20, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.04.042>
- CAMARGO, Â. P. D.; CAMARGO, M. B. P. D. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, 60, 65-68, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052001000100008>
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de café, Brasília - DF, v. 9 - Safra 2022, n.3 - Terceiro levantamento, p. 1-65, 2022. <http://www.conab.gov.br/>
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de café, Brasília - DF, v. 10 - Safra 2023, n. 1 - Primeiro Levantamento, p. 1-41, 2023. <http://www.conab.gov.br/>
- COSTA, B. D. R. Brazilian specialty coffee scenario. **Coffee Consumption and Industry Strategies in Brazil**. Elsevier, 51–64. 2020. <https://doi:10.1016/b978-0-12-814721-4.00003-2>

CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; TEIXEIRA, M. B.; CARVALHO, J. J., MOURA, L. M. F.; SANTOS, C. C. Coeficientes de uniformidade em sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, n.6, p. 444 - 454, 2014. <https://doi.org/10.7127/rbai.v8n600254>

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by Sprinkling**. Berkeley: California Agricultural Station. 124p. Bulletin, 670, 1942. <http://www.archive.org/details/irrigationbyspri670chri>

CRIDDLE, W.D.; DAVIS, S.; PAIR, C.H.; SHOCKLEY, D.G. **Methods for Evaluating Irrigation Systems**. Washington DC: Soil Conservation Service - USDA, Agricultural Handbook, 82, 24p. 1956.

DATTAMUDI, S.; WANG, J. J.; DODLA, S. K.; ARCENEUX, A.; VIATOR, H. P. Effect of nitrogen fertilization and residue management practices on ammonia emissions from subtropical sugarcane production. **Atmospheric Environment**, v. 139, p. 122-130, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.05.035>

DIMENSTEIN, L. **Manejo de fertirrigação: Método para dosagem de fertirrigação por concentração**. 2ed. 2019.

FERRÃO, R.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; MUNER, L. H. **Café Conilon**. Vitória-ES: v. 2º ed. 2017

FULLIN, E. A.; TOREZANI, E. G. **Fertirrigação**. In: Manual de recomendação e calagem para o estado do Espírito Santo - 5º Aproximação. Vitória-ES: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. p. 305p.

HADDELAND, I. *et al.* Global water resources affected by human interventions and climate change. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 111, n. 9, p. 3251–3256, 2014. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222475111>

HART, W.E. **Overhead irrigation pattern parameters**. Transactions of the ASAE, Saint Joseph, v.42, n.7, p.354-355, 1961.

HEJAZI, M. I. *et al.* 21st century United States emissions mitigation could increase water stress more than the climate change it is mitigating. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 112, n. 34, p. 10635–10640, 2015. <https://doi.org/10.1073/pnas.1421675112>

IBGE-GCEA-LSPA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola - LSPA**. Grupo de Coordenação de Estatísticas Agropecuárias – GCEA. Relatório de pesquisa, Vitória-ES, 2015.

INCAPER. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Acompanhamento semanal de preços recebidos pelos produtores em 2015**. Vitória, ES: Incaper, 2016. Disponível em: < <https://www3.incaper.es.gov.br/mercado-agropecuário/sispreco.php>. > Acesso em: agosto. 2022.

KARMELI, D.; KELLER, J. **Trickle Irrigation Design**. Glendora: Rain Bird Manufacturing Corporation, 1975. 132p.

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

KUMAR, M.; RAJPUT, T. B. S.; KUMAR, R.; PATEL, N. Water and nitrate dynamics in baby corn (*Zea mays* L.) under different fertigation frequencies and operating pressures in semi-arid region of India. **Agricultural Water Management**, v. 163, p. 263-274, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.002>

LARA-CABEZAS, W.A.R.; KORNDORFER, G.; MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> na cultura de milho: Efeito da irrigação e substituição parcial da ureia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.21, n.1, p. 481-487, 1997. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831997000300018>

LI, M.; SINGH, V. P. Sustainability of water and energy use for food production based on optimal allocation of agricultural irrigation water. **International Journal of Water Resources Development**, v. 36, n. 2–3, p. 528-546, 2020. <https://doi.org/10.4324/9781003179498>

LIMA, L. C.; CARVALHO GONÇALVES, A.; FERNANDES, A. L. T.; SILVA, R. DE O.; LANA, R. M. Q. Crescimento e produtividade do cafeeiro irrigado, em função de diferentes fontes de nitrogênio. **Coffee Science**, v. 11, n. 1, p. 97-107, 2016. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/8177>

MAGIERO, M.; BONOMO, R.; PARTELLI, F. L.; SOUZA, J. M. DE. Crescimento vegetativo do cafeeiro Conilon fertirrigado com diferentes parcelamentos e doses de nitrogênio e potássio. **Revista Agro@Mambiente on-Line**, v. 11, n. 1, p. 31, 2017. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v11i1.3336>

MANTOVANI, E. C. **AVALIA: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada**. Viçosa, MG: UFV, 2001.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: Princípios e Métodos**. 3º ed. Viçosa-MG, Brasil.: Editora: UFV, 2009.

MORTENSEN, J. G.; GONZÁLEZ-PINZÓN, R.; DAHM, C. N.; WANG, J.; ZEGLIN, L. H.; HORN, D. J. VAN. Advancing the Food-Energy–Water Nexus: Closing Nutrient Loops in Arid River Corridors. **Environmental Science & Technology**, v. 50, n. 16, p. 8485-8496, 2016. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b01351>

OTTO, R.; CASTRO, S. A. Q.; MARIANO, E.; CASTRO, S. G. Q.; FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O. Nitrogen Use Efficiency for Sugarcane-Biofuel Production: What Is Next? **Bioenergy Research**, v. 9, n. 4, p. 1272–1289, 2016. <https://doi.org/10.1007/s12155-016-9763-x>

PARTELLI, F. L.; COVRE, A. M.; OLIVEIRA, M. G.; ALEXANDRE, R. S.; VITÓRIA, E. L.; SILVA, M. B. Root system distribution and yield of “Conilon” coffee propagated by seeds or cuttings. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 5, p. 349–355, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000500004>

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

RICHARDS, L. A. **Physical condition of water in soil**. In: In: Black CA (ed) **Methods of Soil Analysis**, monograph 9. American Society of Agronomy, Madison, v. 9, p. 128-152, 1965. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.1.c8>



RIBEIRO, H. M.; RIBEIRO, H. R.; OLIVEIRA, R. S.; W. R. RIBEIRO.; SOTERO, A. J. Eficiência da adubação nitrogenada com FH nitromais em comparação à fertilizantes com inibidor da urease e convencionais. **42º Congresso de pesquisas cafeeiras**, Serra Negra-SP, 2016.

RIBEIRO, W. R.; PINHEIRO, A.; FERREIRA, D.; GONÇALVES, M.; MARTINS, C.; REIS, E. Water deficit as a limiting factor to the initial growth of coffee conilon variety Diamante. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 22, n. 5, p. 1–11, 2018. <https://doi.org/10.9734/JEAI/2018/41156>

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018, 356 p. <https://www.embrapa.br/solos/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. ISBN 978-85-7035-800-4

SILVA, J. G. F.; REIS, E. F. **Café Conilon: Irrigação e Manejo da Água no Café Conilon**. 2ºEd, p. 359, Vitória, ES. 2017.

SOUZA, J. M.; REIS, E. F.; BONOMO, R.; GARCIA, G. D. O. Wet bulb and conilon coffee root distribution under drip irrigation. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 1, p. 93-103, 2018. <https://doi.org/10.1590/1413-70542018421018617>

TAN, Q.; ZHANG, S.; LI, R. Optimal Use of Agricultural Water and Land Resources through Reconfiguring Crop Planting Structure under Socioeconomic and Ecological Objectives. **Water**, v. 9, n. 7, p. 488, 2017. <https://doi.org/10.3390/w9070488>

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A. I.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. p. 573, 2017.

TIAN, D.; ZHANG, Y.; MU, Y.; ZHOU, Y.; ZHANG, C.; LIU, J. The effect of drip irrigation and drip fertigation on N<sub>2</sub>O and NO emissions, water saving and grain yields in a maize field in the North China Plain. **Science of the Total Environment**, v. 575, p. 1034–1040, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.166>

VAN GENUCHTEN, M. T. A. Closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 5, p. 892, 1980. <https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x>

VEGRO, C. L. R.; ALMEIDA, L. F. Global coffee market: Socio-economic and cultural dynamics. **Coffee Consumption and Industry Strategies in Brazil**. Elsevier, 3–19, 2020. <https://doi:10.1016/b978-0-12-814721-4.00001-9>

VICENTE, M. R.; MANTOVANI, E. C.; FERNANDES, A. L. T.; NEVES, J. C. L.; FIGUEREDO, E. M.; DELAZARI, F. T. Spacial distribution of fertigated coffee root system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 1, p. 72–80, 2017. <https://doi.org/10.1590/1413-70542016411021316>

WADA, Y.; FLÖRKE, M.; HANASAKI, N.; EISNER, S.; FISCHER, G.; TRAMBEREND, S.; SATOH, Y.; VAN VLIET, M. T. H.; YILLIA, P.; RINGLER, C.; BUREK, P.; WIBERG, D. Modeling global water use for the 21st century: the Water Futures and Solutions (WFaS)

initiative and its approaches. **Geoscientific Model Development**, v. 9, n. 1, p. 175–222, 2016. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-175-2016>

WADA, Y.; BEEK, L. P. H. VAN; WANDERS, N.; BIERKENS, M. F. P. Human water consumption intensifies hydrological drought worldwide. **Environmental Research Letters**, v. 8, n. 3, p. 034036, 2013. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/034036>

WILCOX, J. C.; SWAILES, G. E. Uniformity of water distribution by some under tree orchard sprinklers. **Scientific Agriculture**, Ottawa, v. 27, n. 11, p. 565-583, 1947. <https://doi.org/10.4141/sa-1947-0067>

# CAPÍTULO I

## CONTRIBUIÇÕES DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS NA EVOLUÇÃO DA CAFEICULTURA CAPIXABA: UMA REVISÃO

### 1. DESCRIÇÃO E IMPORTÂNCIA DO CAFEEIRO CONILON

O café pertence à família Rubiaceae, gênero *Coffea*, no qual já se encontram descritas mais de 90 espécies. Dessas, cerca de 25 são exploradas comercialmente, tendo importância significativa no mercado mundial o *Coffea arabica* e *Coffea canephora* (EMBRAPA, 2004). O *Coffea* sp. é originário do continente africano, sendo o *C. canephora* de uma ampla área que se estende da Guiné ao Congo, da costa oeste à região central do continente, predominando em regiões de baixa altitude, temperaturas mais elevadas em áreas baixas da floresta tropical (CHARRIER; BERTHAUD, 1988). No Brasil, é cultivado em regiões com menor altitude e de temperatura mais elevada, com média anual entre 22° a 26 °C.

A variedade *C. canephora* foi introduzida no sudeste brasileiro no estado do Espírito Santo, por volta do ano de 1912 (FERRÃO et al., 2017). Atualmente é cultivada em diversos estados, tendo produção mais expressiva nos Espírito Santo, Rondônia e Bahia (CONAB, 2022). Essa variedade pode ser agrupada em dois grandes grupos: o café robusta, originário de regiões de temperaturas relativamente mais amenas e úmidas, e café kouillou, também conhecido como café Conilon, originado em regiões mais quentes e secas (CAVATTE, 2007).

O Brasil se destaca como líder mundial na produção e exportação de cafês, sendo a cultura considerada a segunda *commodity* mais comercializada internacionalmente (COSTA, 2020; HEJNA, 2021; ICO, 2020; MACHADO FILHO et al., 2021). No país, o estado do Espírito Santo é o segundo maior produtor de cafês, e o maior produtor da espécie *C. canephora*, respondendo por aproximadamente 68% da produção nacional e 30% da produção mundial de cafês robusta (CONAB, 2022).

O café conilon é responsável por 37% do PIB agrícola capixaba, gera em torno de 400 mil empregos diretos e indiretos, sendo a principal fonte de renda para mais de 60 mil propriedades agrícolas correspondendo a mais de 80% dos empreendimentos rurais capixabas, envolvendo em sua cadeia produtiva mais de 131 mil famílias produtoras (INCAPER, 2020). Em 2022 estima-se 389 mil ha cultivados com café conilon, tendo previsão de safra em torno de 18.199,3 mil sacas beneficiadas (CONAB, 2022), após uma produção recorde em 2022, é estimado para 2023 um total aproximado de 17.508,9 mil sacas de café conilon beneficiado (CONAB, 2023).

Em escala mais ampla, o comércio internacional do café envolve cerca de 500 milhões de pessoas em sua gestão, desde o cultivo até o produto para consumo. No Espírito Santo, 73%

são propriedades cafeeiras de base familiar com tamanho médio de 8 hectares (INCAPER, 2020). A níveis internacionais estima-se que cerca de 70% da safra mundial é cultivada em pequenas propriedades, com área inferior a 10 ha, na grande maioria refere-se a uma empresa familiar que fornece manutenção para mais de 25 milhões de pessoas em todo o mundo (DAMATTA et al., 2007). A cadeia produtiva do café contribui para a economia local, regional, nacional e internacional e possui papel social e cultural relevante para a sociedade.

## **2. AVANÇOS NA PRODUTIVIDADE DO CAFEEIRO CONILON NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

Em uma breve análise histórica é possível verificar efetivos avanços da produtividade na cafeicultura capixaba que coincidem aprimoramento, adoção e difusão de tecnologias de cultivo para café conilon. Segundo Ferrão et al. (2017), em 1992 a produtividade média de café conilon no estado do Espírito Santo era de aproximadamente 9,2 sc ha<sup>-1</sup>. Levantamentos da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), apontam atualmente para uma média estadual está próxima a 47 sc ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2022), ou seja, em 30 anos, observamos um crescimento de mais de 500% na produtividade.

### **2.1 Obtenção de genótipos superiores**

No estado Espírito Santo grande parte dos avanços nos ganhos de produtividade foram obtidos pelos programas de melhoramento genético desenvolvido desde 1985 (INCAPER, 2012), o qual tem por objetivo explorar e selecionar características desejáveis que visam, sobretudo, aumentar a produtividade, qualidade e rentabilidade do produtor (FERRÃO et al., 2017). Atualmente, há registros de materiais com alto potencial de rendimento quando cultivados com uso de tecnologias, obtendo médias produtivas entre 120 a 135 sc ha<sup>-1</sup> (FERRÃO et al., 2017).

Dentre os resultados destas pesquisas destacam-se o lançamentos das cultivares ‘Emcapa 8111’; ‘Emcapa 8121’; ‘Emcapa 8131’; ‘Emcapa 8141 - Robustão Capixaba’; ‘Emcaper 8151 - Robusta Tropical’; ‘Vitória - Incaper 8142’ ‘Diamante ES8112’; ‘ES 8122’ – Jequitibá; ‘Centenária ES8132’; ‘Marilândia ES8143’ ‘ES8152 Conquista’ (FERRÃO et al., 2017).

Claramente, a eficiência produtiva não se resume apenas ao fator genético, mas sim a um conjunto de fatores (SERA; ALTEIA; PETEK, 2002). Nestes aspectos, destacam-se a

participação da fitotecnia nos mais diversos seguimentos da agricultura, das quais inseridas no contexto deste estudo serão abordadas abaixo.

## **2.2 Cultivo adensado de *Coffea canephora***

O adensamento resulta em modificações em todo agroecossistema, e geralmente a produtividade é muito maior do que a dos plantios tradicionais (DAMATTA, 2004). Isto ocorre, pois, uma vez atendido as exigências fisiológicas, apesar da menor produção de grãos de café por planta (BRACCINI et al., 2002; PAULO et al., 2005; PEREIRA et al., 2007), não ocorre alteração no peso do grão (CARR, 2001). Desta forma, o aumento do número de plantas no hectare proporciona maiores produtividades (ASSIS et al., 2014).

Explicações fisiológicas também estão envolvidas nestes ganhos de produtividade. O adensamento leva a modulação no microclima, um fator que exerce grande influência no cafeeiro (SAKAI et al., 2015). O sombreamento mútuo das folhas, reduz a temperatura do solo e a demanda evaporativa atmosférica, atenuando a evapotranspiração (DAMATTA et al., 2007). Respeitando os limites do cultivo, este microclima exercer benefícios no metabolismo do cafeeiro conilon, que apresenta reduções progressivas do saldo líquido fotossintético em função do aumento das temperaturas máximas, um efeito típico da maior atividade oxiginase da rubisco plantas C<sub>3</sub> (TAIZ et al., 2017). Porém, o adensamento excessivo causa diminuição da densidade do fluxo radiante dentro do dossel e nas folhas inferiores sombreadas, deslocando a zona de frutificação para cima (CLOWES; ALLISON, 1983; GATHAARA; KIARA, 1985).

Além disto, cultivos adensados abrem maior superfície e aumentando a densidade de raízes, o que otimiza a absorção de nutrientes, como indicam estudos de (PAVAN; CHAVES, 1996; GUARÇONI et al., 2005; VAN DER VOSSSEN, 2005) em inferências sobre a taxa de eficiência de aplicação de fertilizantes no café conilon. Nestes aspectos é importante ressaltar que de forma direta espera-se que haja menores índices de escoamento superficial da água, aparecimento de plantas invasoras, e menor evaporação da água no solo.

## **2.3 Produtividade em região de transição de altitude**

Diversos modelos preveem num cenário de mudanças climáticas globais onde as mudanças nos regimes de temperatura e balanço hídrico podem induzir mudanças nas a sobrevivência e o crescimento de diferentes plantas em alta e baixa altitude (LEOPOLD; HESS, 2019).

O café foi categorizado como uma espécie altamente sensível a mudanças climáticas (DAMATTA et al., 2019) e estudos envolvendo simulações indicaram que essas mudanças também podem afetar o seu zoneamento agroclimático (ASSAD et al., 2004). O café conilon apresenta taxas de crescimento satisfatórias em temperaturas mínimas superiores a 17 °C e a máxima inferior a 34 °C (PARTELLI et al., 2013). Apesar de tolerar bem temperaturas de até 37 °C, com base nos mecanismos de fotoproteção e antioxidantes (MARTINS et al., 2016; RODRIGUES et al., 2016) estas temperaturas extremas podem afetar características físicas da planta, reduzindo o peso e o rendimento dos grãos (RAMALHO et al., 2018) devido ao estresse térmico.

Uma tática para mitigar os efeitos relacionados às maiores temperaturas é o cultivo de café conilon em regiões de maior altitude, acima de 500 m (BARBOSA et al., 2014; PARTELLI et al., 2019). No estado do Espírito Santo já se observa um crescente interesse em plantios nas regiões mais altas (SOUZA et al., 2019). A espécie possui grande elasticidade com capacidade de evoluir e se adaptar a diferentes condições ambientais, em virtude dos diversos mecanismos fisiológicos e metabólicos (CHENG et al., 2016).

Contudo, é necessário adotar cautela, uma vez que esta espécie é sensível e menos adaptada a temperaturas mais baixas quando comparados ao cafeeiro arábica (DAMATTA et al., 2007; PARTELLI et al., 2019). Estudos apontam que quedas de temperatura abaixo de 13 °C durante o dia e 8 °C durante a noite induzem diversas alterações metabólicas no café conilon, com impacto negativo na produtividade (PARTELLI et al., 2009, SANTOS et al., 2011; CAMPOS et al., 2014). Dentre as principais alterações fisiológicas quando cultivado sob baixas temperaturas, destaca-se queda na taxa fotossintética líquida e menor eficiência do fotossistema II (PARTELLI et al., 2009).

Desta maneira, pesquisas apontam que a exposição gradual do cafeeiro conilon a baixas temperaturas ativa mecanismos de defesa/aclimatação que podem permitir ajustes a essas condições (RAMALHO et al., 2014).

#### **2.4. A fertirrigação**

A água é o recurso natural mais importante para o crescimento e desenvolvimento de uma planta, exigida em praticamente todos os seus eventos fisiológicos e metabólicos. Estima-se que 40% do abastecimento mundial de alimentos advém da produção agrícola irrigada (NAGARAJ et al., 2021), a qual tem permitido efetivamente aumentar a produtividade.

Avanços significativos ainda podem ser obtidos adotando tecnologias que otimizem o uso eficiente de água e fertilizantes, neste conceito insere-se a técnica de fertirrigação. A fertirrigação fornece às plantas os nutrientes necessários para que sejam capazes de expressar seu máximo potencial genético. Esse fornecimento ocorre por meio de adubos solúveis, que utilizam a água como veículo (ÇETIN; AKALP, 2019). Seu principal objetivo é fertilizar racionalmente satisfazendo as necessidades da cultura e maximizar o seu rendimento por meio do consumo eficiente dos recursos disponíveis e reduzindo as perdas (SOLAIMALAI et al., 2005; BAR-TAL et al., 2020).

A técnica foi estudada pela primeira vez em 1958 nos Estados Unidos da América, por Bryan e Thomas (1958), usando aplicação de fertilizantes via sistema de irrigação por aspersão, e via gotejo em Israel em plantações de tomate (SAGIV; KAFKAFI, 1976). No Brasil, as aplicações também datam da década de 70, sendo toda tecnologia importada de Israel (CARRIJO et al., 1999). Ao longo dos anos a técnica foi se aprimorando e muitos avanços foram obtidos. A fertirrigação é uma técnica versátil e pode ser aplicada em diversas culturas, sendo a horticultura uma das áreas de maior adeptos (INCROCCI; MASSA; PARDOSSI, 2017). A técnica pode ser aplicada tanto na agricultura convencional quanto na orgânica e/ou sistemas de produção agroecológica (BYRAREDDY, et al., 2019; ALMEIDA et al., 2021; KUMAR; RAMAWAT; VERMA, 2021), inclusive sendo muito estudada com águas residuais (OUOBA et al., 2022).

O aumento da eficiência da fertirrigação está relacionada a absorção favorecida das raízes, devido os fertilizantes já estarem prontamente disponíveis em solução em uma área de maior acesso pelas raízes. Via fertirrigação, é possível o fornecimento gradual e uniforme de fertilizantes ao longo do ciclo da cultura, promovendo uma nutrição mineral precisa, tanto espacial quanto temporalmente, ademais é uma técnica chave da agricultura de precisão (SURESHKUMAR et al., 2017). Geralmente as aplicações são realizadas na região de maior volume radicular úmido, sendo a distribuição e a absorção destes nutrientes pelas raízes decorrentes em função da interação entre o fluxo de água no solo e o transporte de solutos (SOLAIMALAI et al., 2005; ASHRAFI et al., 2020; PARAMESHA et al., 2022).

A eficiência do uso de nutrientes na fertirrigação pode chegar a 90%, em comparação com 40 a 60% aos métodos convencionais. Além disso a economia de fertilizantes pode atingir até 60% sem afetar o crescimento e o rendimento das culturas (ASHRAFI et al., 2020), além de propiciar redução nos custos de produção em até 25% (PARAMESHA et al., 2022). Em uma meta-análise ao fornecer N por meio de fertirrigação, Li et al. (2021) revelou um aumento significativo no rendimento das culturas e na eficiência do uso do nitrogênio em relação às práticas tradicionais. Em termos gerais, os autores ainda relatam que fertirrigação por

gotejamento aumentou o rendimento das culturas em 12,0%, a produtividade de água em 26,4% e a eficiência no uso de nitrogênio em (34,3%) comparada as técnicas tradicionais.

Entretanto, a fertirrigação vem sendo questionada devido ao seu uso indiscriminado e falhas no manejo (NAGARAJ et al., 2021). Em grande parte das propriedades agrícolas existe uma deficitária gestão da fertirrigação, principalmente relacionada a aplicação desequilibrada de fertilizantes e água de baixa qualidade. Estes fatores tem contribuído para um esgotamento demasiado dos solos cultiváveis, aumento nos custos de produção, perdas na produção e redução na oferta de alimento, além dos efeitos nocivos ao meio ambiente, como poluição de água subterrânea e salinização dos solos (JAYAKUMAR; JANAPRIYA; SURENDRAN, 2017; YASUOR; YERMIYAHU; BEN-GAL, 2020; ABUBAKAR et al., 2022).

Em muitos cultivos cafeeiros os fertilizantes são aplicados em proporções desequilibradas, e este incremento nas taxas aplicadas não responde com aumentos produtivos. Segundo Byraredy et al. (2019), a estimativa correta das necessidades de nutrientes e água da cultura é fundamental para obter nutrição vegetal precisa e alta eficiência no uso de nutrientes em sistemas de cultivo fertirrigados (INCROCCI; MASSA; PARDOSSI, 2017).

O gerenciamento ideal da fertirrigação não consiste em uma tarefa simples a ser executada. Para obter um sistema funcional e eficiente é necessário conhecer detalhadamente as exigências nutricionais da cultura, as fases fenológicas das plantas, as características físicas, hidráulicas e químicas do solo, o tipo e estágio fenológico da cultura, o método de irrigação utilizado, a quantidade de fertilizante e frequência de aplicação, qualidade da água, fonte do nutriente, capacidade de solubilidade, compatibilidade e lixiviação abaixo da zona radicular (ABALOS et al., 2014; INCROCCI; MASSA; PARDOSSI, 2017; WU et al., 2019; KUMAR, 2019; ASHRAFI et al., 2020; BAR-TAL et al., 2020).

Na cafeicultura, a fertirrigação é realizada com baixa eficiência, principalmente devido à carência de informações, e falta de ajustes em acordo com os novos materiais genéticos utilizados. Por isso, estudos e abordagens que possam melhorar significativamente a disponibilidade e absorção de água e nutrientes no solo, resultando em aumento substancial da produção e qualidade das culturas são necessários para uma agricultura que enfrenta as incertezas do clima devido às mudanças climáticas, eventos de seca cada vez mais frequentes e a esperada redução na disponibilidade de fertilizantes minerais.



## 2.5. Manejo da irrigação por gotejamento: considerações sobre o bulbo molhado

É de comum conhecimento que o manejo da água no solo na quantidade certa e momento adequado consiste de um fundamento básico para o sucesso produtivo e aumento da eficiência no uso dos recursos (LOPES et al., 2014; VICENTE et al., 2015; GONÇALVES et al., 2018; RIBEIRO; VENANCIO; REIS, 2020). Entretanto, no Brasil, a maioria dos usuários não adotam estratégias de manejo e, por isso, sucessivas pesquisas têm concentrado forças para enfatizar os impactos residuais disto sobre os sistemas de cultivos.

Os sistemas de irrigação localizados têm sido amplamente adotados em propriedades cafeeiras devido ao potencial no aumento da produtividade e na eficiência do uso da água (PRADO; NUNES; TINOS, 2014; VARONA; ZAVAST 2015). O gotejamento tem como premissa irrigação em alta frequência e baixo volume (VICENTE et al., 2017), irrigando ao menos 33% da área cultivada (SILVA; REIS, 2017), fração de solo denominada bulbo molhado. Entretanto, esta condição não tem sido verificada nos cultivos do estado.

Estudos apontam que as raízes do cafeeiro conilon se concentram, em maior parte nesta região do bulbo úmido, pois há maior disponibilidade de água e nutrientes (RONCHI et al., 2015; COVRE et al., 2016; SOUZA et al., 2018; SCHMIDT et al., 2022). Fisiologicamente essa adaptação é associada à alta plasticidade do sistema radicular do cafeeiro (RONCHI; DAMATTA et al., 2017).

A manutenção do bulbo sob alto regime de umidade e nutrição poderá potencializar os a produtividade da cultura (SAKAI et al., 2015; SILVA; REIS, 2017; SOUZA et al., 2018; VICENTE et al., 2017), caso contrário limitações diretas aos cultivos são observadas. No Brasil, este cenário é recorrente em razão, de erros durante o dimensionamento dos sistemas de irrigação localizada, muitas vezes resultante do uso de informações empíricas e grande complexidade na dinâmica de movimentos no sistema solo-água (SOUZA et al., 2004; TOLENTINO JÚNIOR et al., 2014).

A distribuição espacial de água no bulbo em profundidade, tamanho e volume molhado é influenciada por diversos fatores, principalmente pela umidade inicial do solo, vazão, número e disposição dos gotejadores e pelas propriedades físicas do solo (COELHO; OR, 1996; PIZARRO, 1996; SOUZA et al., 2007; ÇETIN; AKALP, 2019). Estas informações permitem definir aspectos importantes, tais como lâmina e frequência de irrigação (COOK et al., 2006; MAIA et al., 2010; HAO et al., 2007).

Desta maneira, o conhecimento do volume do bulbo na fertirrigação possibilita o manejo da água e da concentração de nutrientes na solução do solo próximos ao ideal (BAR-YOSEF,

1999). Coelho et al. (1999) ponderam que caso não sejam aplicadas adequadamente, os altos investimentos poderão não ser compensados, menores lâminas de água e junto a menores intervalos de aplicação resultam em pequena área molhada e limita as partes inferiores do sistema radicular. Por outro lado, aplicações em excesso, em intervalos de irrigação maiores promovem percolação de água e nutrientes Keller e Bliesner (1990).

Desta maneira, apesar dos benefícios a serem explorados pela técnica de gotejo aliado a fertirrigação, grandes limitações nos sistemas podem decorrer pela ausência de critérios para determinação e manejo da umidade do bulbo molhado.

## REFERENCIAS

- ALMEIDA, L. G.; CANDIAN, J.; CARDOSO, A. I. I.; GRASSI FILHO, H. Nitrogen, phosphorus and potassium content of six biofertilizers used for fertigation in organic production system. **Comunicata Scientiae**, v. 12, p. e3275-e3275, 2021. <https://doi.org/10.14295/CS.v12.3275>
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JÚNIOR, J.; ÁVILA, A. M. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesq. agropec. bras.**, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004001100001>
- ASHRAFI, M. R.; RAJ, M.; SHAMIM, S.; LAL, K.; KUMAR, G. Effect of fertigation on crop productivity and nutrient use efficiency. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 9, n. 5, p. 2937-2942, 2020.
- ABALOS, D.; SANCHEZ-MARTIN, L.; GARCIA-TORRES, L.; VAN GROENIGEN, J. W.; VALLEJO, A. Management of irrigation frequency and nitrogen fertilization to mitigate GHG and NO emissions from drip-fertigated crops. **Science of the Total Environment**, v. 490, p. 880-888, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.065>
- ABUBAKAR, S. A.; HAMANI, A. K. M.; WANG, G. S.; HAO, L. I. U.; MEHMOOD, F.; ABDULLAHI, A. S.; GAO, Y.; DUAN, A. W. Growth and nitrogen productivity of drip-irrigated winter wheat under different nitrogen fertigation strategies in the North China Plain. **Journal of Integrative Agriculture**, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2022.08.107>
- ASSIS G. A.; SCALCO M. S.; GUIMARÃES R. J.; COLOMBO A., DOMINGHETTI A. W.; MATOS, N. M. S. Drip irrigation in coffee crop under different planting densities: Growth and yield in southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia agrícola e ambiental**, v. 18, n.11, 1116-1123, 2014. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n11p1116-1123>
- BARBOSA, D. H.; RODRIGUES, W. P.; VIEIRA, H. D.; PARTELLI, F. L.; VIANA, A. P. Adaptability and stability of conilon coffee in areas of high altitude. **Genetics and molecular research**, v. 13, n.3, p. 7879–7888, 2014. <https://doi.org/10.4238/2014.September.26.26>
- BAR-YOSEF, B. Advances in fertigation. **Advances in agronomy**, v. 65, p. 1-77, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60910-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60910-4)
- BAR-TAL, A.; YERMIYAHU, U.; BEN-GAL, A. Advances in fertigation techniques to optimize crop nutrition. In: **Achieving sustainable crop nutrition**. Burleigh Dodds Science Publishing. p. 691-718, 2020.
- BRACCINI, M. C. L.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; VIDIGAL FILHO P.S.; ZABINI, A. V. Produção de grãos, concentração e aproveitamento de nutrientes em resposta ao aumento na densidade de plantio do cafeeiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 24, n. 25, p. 1205-1211, 2002. <https://doi:10.4025/actasciagron.v24i0.2288>
- BRYAN, B.B.; THOMAS, E.L. **Distribution of fertilizer materials applied through sprinkler irrigation systems**. Arkansas System Division of Agriculture Experiment Station: Fayetteville, AR, USA, 1958; p. 12.

- BYRAREDDY, V.; KOUADIO, L.; MUSHTAQ, S.; STONE, R. Sustainable production of robusta coffee under a changing climate: A 10-year monitoring of fertilizer management in coffee farms in Vietnam and Indonesia. **Agronomy**, v. 9, n. 9, p. 499, 2019. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090499>
- CAMPOS, P. S.; PAIS, I. P.; PARTELLI, F. L.; SANTOS, P. B.; RAMALHO, J. C. Phospholipids profile in chloroplasts of *Coffea* spp. genotypes differing in cold acclimation ability. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 3-4, p. 243-248, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.07.007>
- CARRLIJO, O.A.; SILVA, W. L. C.; MAROUELLI, W. A.; SILVA, H. R. Tendências e desafios da fertirrigação no Brasil. In: FOLEGATTI, M. V. Fertirrigação: citros, flores e hortaliças. Piracicaba: Agropecuária, 1999. cap.1, p. 155-169.
- CARR, M. K. V. The water relations and irrigation requirements of coffee. **Experimental Agriculture**. v. 37, n. 1, p. 1-36, 2001. <https://doi.org/10.1017/S0014479701001090>
- CAVATTE, P. C. **Morfologia, relações hídricas e fotossíntese em duas cultivares de *Coffea canephora* submetidas ao déficit hídrico**. Viçosa: Dissertação (Mestrado), Programa de Pós graduação em Fisiologia Vegetal - UFV, 2007.
- ÇETIN, Ö.; AKALP, E. Efficient use of water and fertilizers in irrigated agriculture: drip irrigation and fertigation. **Acta Horticulturae et Regiotecturae**, v. 22, n. 2, p. 97-102, 2019. <https://doi.org/10.2478/ahr-2019-0019>
- CHARRIER, A.; BERTHAUD, J. **Principles and methods in *Coffea* plant breeding: *Coffea canephora* Pierre**. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. (Eds.). *Coffea: Agronomy*. London: Elsevier Applied Science, v. 6, p. 167-198, 1988.
- CHENG, B.; FURTADO, A.; SMYTH, H. E.; HENRY, R. J. Influence of genotype and environment on coffee quality. **Trends Food Sci. Technol.** v. 57, n. 1, p. 20–30, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.003>
- CLOWES, M. S. J.; ALLISON J. C. S. The growth and development of lateral branches in the top, middle and bottom of pruned coffee trees in a hedgerow. **Zimbabwe J. Agric. Res**, v. 21, n.115-134, 1983.
- COOK, F. J.; FITCH, P.; THORBURN, P. J.; CHARLESWORTH, P. B.; BRISTOW, K. L. Modelling trickle irrigation: comparison of analytical and numerical models for estimation of wetting front position with time. **Environmental Modelling & Software**, v. 21, n. 9, p. 1353-1359, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.04.018>
- COELHO, F. E; OR, D. (1996). Um Modelo Paramétrico para Intensidade Bidimensional de Absorção de Água por Raízes de Milho sob Irrigação por Gotejamento. **Soil Science Society of America Journal**, v. 60, n. 4, p. 1039-1049, 1996. <https://doi:10.2136/sssaj1996.03615995006000040012x>
- COELHO, E. F.; DANI, O. R.; SOUSA, V. F. Avaliação de parâmetros hidráulicos para modelos de distribuição de água no solo sob gotejamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 4, p.651-657, 1999.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento safra brasileira de café, Brasília - DF, v. 9 – Safra 2022, n.3 - Terceiro levantamento, p. 1-65, 2022. <http://www.conab.gov.br/>

CONAB - Companhia Nacional De Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de café, Brasília-DF, v. 10, n. 1 – Primeiro Levantamento, p. 1-41, 2023. <http://www.conab.gov.br/>

COSTA, B. D. R. **Brazilian specialty coffee scenario**. In: Coffee Consumption and Industry Strategies in Brazil. Elsevier, p. 51–64, 2020. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814721-4.00003-2>

COVRE, A. M.; PARTELLI, F. L.; GONTIJO, I.; ZUCOLOTO, M. Root system distribution of irrigated and nonirrigated conilon coffee. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 3, p. 1006–1016, 2015. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000300001>

DAMATTA, F. M.; RONCHI, C. P.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 4, p. 485–510, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400014>

DAMATTA, F. M.; RAHN, E.; LÄDERACH, P.; GHINI, R.; RAMALHO, J. C. Why could the coffee crop endure climate change and global warming to a greater extent than previously estimated?. **Climatic Change**, v. 152, p. 167-178, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2346-4>

EMBRAPA. **Características das principais variedades de café cultivadas em Rondônia**. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54346/1/Doc93-cafe.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2018.

FERRÃO, R.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; MUNER, L. H. **Café Conilon**. Vitória-ES: v. 2º ed. 2017.

GATHAARA M. P. H.; KIARA J. M. Factors that influence yield in close spaced coffee. II. Yield components. **Kenya Coffee**, v. 50, n.1, p. 387-392, 1985.

GUARÇONI, M. A., BRAGANÇA, S. M.; LANI, J. A. Modificações nas características da fertilidade do solo causadas pelo plantio adensado de café conilon. In: XXXI Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, PROCAFÉ, p.208-209, 2005.

GONÇALVES, M. S; RIBEIRO, W. R; PINHEIRO, A. A; MARTINS, C. A; CÓSER, A.; REIS, E. F; GARCIA, G. de O. Productive Aspects of Tropical Grasses under Different Soil Water Stresses. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 23, n. 4, p. 1–12, 2018. <https://doi.org/10.9734/JEAI/2018/41808>

HAO, A.; MARUI, A.; HARAGUCHI, T.; NAKANO, Y. Estimation of wet bulb formation in various soil during drip irrigation. **Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University**, v. 01, n. 52, p. 187-193, 2007.

HEJNA, A. Potential applications of by-products from the coffee industry in polymer technology – Current state and perspectives. **Waste Manag.** 121, 296–330, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.12.018>

HU, Y.; ZEESHAN, M.; WANG, G.; PAN, Y.; LIU, Y.; ZHOU, X. Supplementary irrigation and varying nitrogen fertilizer rate mediate grain yield, soil-maize nitrogen accumulation and metabolism. **Agricultural Water Management**, v. 276, p. 108066, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.108066>

ICO, 2020. The value of coffee: Sustainability, Inclusiveness and Resilience of the Coffee Global Value Chain. Int. Coffee Organ. 108.

INCAPER. Café conilon melhoradas, técnicas de produção com variedades. **Circular técnica** no 03-i, p. 76, 2012.

INCAPER. Cafeicultura. Disponível em: <<https://incaper.es.gov.br/cafeicultura>>. Acesso em: 04 de jan. 2023.

INCROCCI, L.; MASSA, D.; PARDOSSI, A. New trends in the fertigation management of irrigated vegetable crops. **Horticulturae**, v. 3, n. 2, p. 37, 2017. <https://doi.org/10.3390/horticulturae3020037>

JAYAKUMAR, M.; JANAPRIYA, S.; SURENDRAN, U. Effect of drip fertigation and polythene mulching on growth and productivity of coconut (*Cocos nucifera* L.), water, nutrient use efficiency and economic benefits. **Agricultural Water Management**, v. 182, n. 1, p. 87-93, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.12.012>

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. Sprinkle and trickle irrigation. New York: Avi Book, 1990; 652p.

KUMAR, C.; RAMAWAT, N.; VERMA, A. K. Organic fertigation system in saline-sodic soils: a new paradigm for the restoration of soil health. **Agronomy Journal**, v. 114, n. 1, p. 317-330, 2021. <https://doi.org/10.1002/agj2.20957>

KUMAR, R. Modelling of water and nutrient distribution under micro-irrigation. **Concep Dev Agrono. MCDA**. v. 5, n. 3. 2019. <https://10.31031/MCDA.2019.05.000615>

LEOPOLD, C. R.; HESS, S. C. Facilitating adaptation to climate change while restoring a montane plant community. **PLoS ONE**, v. 14, n. 6, p. 1-17, 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218516>

LI, H., X. MEI, J. WANG, F. HUANG, W. HAO, AND B. LI. Drip fertigation significantly increased crop yield, water productivity and nitrogen use efficiency with respect to traditional irrigation and fertilization practices: a meta-analysis in China. **Agricultural Water Management**, v. 244, p. 106534, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106534>

LU, J.; HU, T.; GENG, C.; CUI, X.; FAN, J.; ZHANG, F. Response of yield, yield components and water-nitrogen use efficiency of winter wheat to different drip fertigation regimes in Northwest China. **Agricultural Water Management**, v. 255, p. 107034, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107034>

LOPES, M. N.; POMPEU, R. C. F. F.; SILVA, R. G.; REGADAS, L. J. G. L.; LACERDA, C. F.; BEZERRA, M. A. Fluxo de biomassa e estrutura do dossel em capim- braquiária manejado,

sob lâminas de irrigação e idades de crescimento. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 5, p. 490–500, 2014.

MACHADO FILHO, J. A.; RODRIGUES, W. P.; BARONI, D. F.; PIREDAS, S.; CAMPBELL, G.; SOUZA, G. A. R.; VERDIN FILHO, A. C.; ARANTES, S. D.; OLIVEIRA, L. A.; CUNHA, M.; GAMBETTA, G. A.; RAKOCEVIC, M.; RAMALHO, J. C.; CAMPOSTRINI, E. Linking root and stem hydraulic traits to leaf physiological parameters in *Coffea canephora* clones with contrasting drought tolerance. **J. Plant Physiol.** 258–259, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2020.153355>

MAIA, C. E.; L.; LEVIEN, S. L. A. Estimativa de dimensões de bulbo molhado em irrigação por gotejamento superficial aplicando modelo de superfície de resposta. **Ciência Rural**, v. 40, n. 6, p. 1302-1308, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010005000099>

MARTINS, M. Q.; RODRIGUES, W. P.; FORTUNATO, A. S.; LEITÃO, A. E.; RODRIGUES, A. P.; PAIS, I. P.; MARTINS, L. D.; SILVA, M. J.; REBOREDO, F. H.; PARTELLI, F. L.; CAMPOSSTRINI, E.; TOMAZ, M. A.; CAMPOS, P. S.; BARROS, A. I. R.; LIDON, F. J. C.; DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. C. Protective Response Mechanisms to Heat Stress in Interaction with High [CO<sub>2</sub>] in *Coffea spp.* **Frontiers in Plant Science**, 7, 2016. <https://doi:10.3389/fpls.2016.00947>

NAGARAJ, D.; PROUST, E.; TODESCHINI, A., RULLI, M. C.; D'ODORICO, P. Um novo conjunto de dados de áreas globais de irrigação de 2001 a 2015. **Advances in Water Resources**, v. 152, p. 103910, 2021. <https://doi:10.1016/j.advwatres.2021.1039>

OUOBA, N.; PHUNG, L. D.; SASAKI, A.; PHAM, D. V.; WATANABE, T. Drip fertigation with treated municipal wastewater and soil amendment with composted sewage sludge for sustainable protein-rich rice cultivation. **Environmental Technology & Innovation**, v. 28, p. 102569, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102569>

PAULO, E. M.; FURLANI JÚNIOR, E.; FAZUOLI, L. C. Comportamento de cultivares de cafeeiro em diferentes densidades de plantio. **Bragantia**, v. 64, n. 3, p. 397-409, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052005000300009>

PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D. Alterações nas frações de fósforo no solo associadas com a densidade populacional de cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p. 251-256, 1996.

PARAMESHA, V.; RAJANNA, G. A.; KUMAR, P.; SANNAGOUDAR, M. S.; HALLI, H. M. Drip fertigation for enhancing crop yield, nutrient uptake, nutrient, and water use efficiency. **Sustainable Agriculture Systems and Technologies**, p. 267-278, 2022. <https://doi.org/10.1002/9781119808565.ch12>

PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H. D.; VIANA, A. P.; BATISTA-SANTOS, P.; RODRIGUES, A. P.; LEITÃO, A. E.; RAMALHO, J. C. Low temperature impact on photosynthetic parameters of coffee genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 11, p. 1404-1415, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009001100006>

PARTELLI, F. L.; MARRÉ, W. B.; FALQUETO, A. R.; VIEIRA, H. D.; CAVATTI, P. C. Seasonal vegetative growth in genotypes of *Coffea canephora*, as related to climatic

factors. **Journal of Agricultural Science**, v. 5, n. 8, p. 108, 2013. <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v5n8p108>

PARTELLI, F. L.; GOLYNSKI A.; FERREIRA, A.; MARTINS, M. Q.; MAURI A. L.; RAMALHO, J. C.; VIEIRA, H. D. Andina - first clonal cultivar of high-altitude conilon coffee. **Crop Breed Appl Biotechnol**, v. 19, n. 4, p. 476–480, 2019. <https://doi.org/10.1590/1984-70332019v19n4c68>

PEREIRA, S. P.; GUIMARÃES, R. J.; BARTHOLO, G. F.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVES, J. D. Crescimento vegetativo e produção de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) recepados em duas épocas, conduzidos em espaçamentos crescentes. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 3, p. 643-649, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000300007>

PIZARRO, F. Riegos Localizados de Alta Frecuencia: Goteo, microaspersión, exudación. Madrid: Mundi-Prensa, 1996, 511p.

PRADO, G.; NUNES, L. H.; TINOS, A. C. Avaliação técnica de dois tipos de emissores empregados na irrigação localizada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, n. 1, p. 12-25, 2014. <https://doi:10.7127/rbai.v8n100193>

RAMALHO, J. C.; DAMATTA, F. M.; RODRIGUES, A. P.; SCOTTI-CAMPOS, P.; PAIS, I.; BATISTA-SANTOS, P.; PARTELLI, F. L.; RIBEIRO, A.; LIDON, F. C.; LEITÃO, A. E. Cold impact and acclimation response of *Coffea* spp. plants. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 26, p. 5-18, 2014. <https://doi:10.1007/s40626-014-0001-7>

RAMALHO, J. C.; RODRIGUES, A. P.; LIDON, F. C.; MARQUES, L. M. C.; LEITÃO, A. E.; FORTUNATO, A. S.; PAIS, I. P.; SILVA, M. J.; CAMPOS, P. S.; LOPES, A.; REBOREDO, F. H.; BARROS, A. I. R. Stress cross-response of the antioxidative system promoted by superimposed drought and cold conditions in *Coffea* spp.. **PLoS ONE**, v. 13, n. 6, p. 1-30, 2018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198694>

RIBEIRO, W.R.; VENANCIO, L. P; REIS, E. F. **Gestão da agricultura irrigada: o manejo da irrigação**. In: Seagro: Ciência e tecnologia inovando o campo, ed. 1, UFES, Alegre, p. 5-30, 2019.

RODRIGUES, W. P.; MARTINS, M. Q.; FORTUNATO, A. S.; RODRIGUES, A. P.; SEMEDO, J. N.; SIMÕES-COSTA, M. C.; PAIS, I. P.; LEITÃO, A. E.; COLWELL, F.; GOULAO, L.; MÁGUAS, C.; MAIA, R.; PARTELLI, F. L.; CAMPOSTRINI, E.; CAMPOS, P. S.; BARROS, A. I. R.; LINDON, F. C.; DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. C. Long-term elevated air [CO<sub>2</sub>] strengthens photosynthetic functioning and mitigates the impact of supra-optimal temperatures in tropical *Coffea arabica* and *C. canephora* species. **Global Change Biol**, v. 22, p. 415–431, 2016. <https://doi:10.1111/gcb.13088>

RONCHI, C. P.; SOUSA JÚNIOR, J. M.; ALMEIDA, W. L.; SOUZA, D. S.; SILVA, N. O.; OLIVEIRA, L. B.; GUERRA, A. M. N. M.; FERREIRA, P. A. Morfologia radicular de cultivares de café arábica submetidas a diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 3, 187–195, 2015. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000300001>

RONCHI, P. G.; DAMATTA, F. M. **Aspectos fisiológicos do café conilon**. In: Café Conilon, 2. Ed. Vitória: Incaper, p. 103-129, 2017.



SAGIV, B.; KAFKAFI, U. Fertilization and manuring of pepper plants in sandy soils [Experiments in Israel]. **Hassadeh**, 1976.

SAKAI, E.; BARBOSA, E. A. A.; SILVEIRA, J. M. C.; PIRES, R. C. M. Coffee productivity and root systems in cultivation schemes with different population arrangements and with and without drip irrigation. **Agricultural Water Management**, 148, 16-23, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.08.020>

SANTOS, P. B.; LIDON, F. C.; FORTUNATO, A.; LEITÃO, A. E.; LOPES, E.; PARTELLI, F. L.; RAMALHO, J. C. The impact of cold on photosynthesis in genotypes of *Coffea spp.* photosystem sensitivity, photoprotective mechanisms and gene expression. **Journal of Plant Physiology**, v. 168, n. 8, p. 792-806, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2010.11.013>

SERA, T.; ALTEIA, M. Z.; PETEK, M. R. **Melhoramento do cafeeiro: variedades melhoradas no Estado do Paraná (IAPAR)**. In: ZAMBOLIN, L (Ed.). O estado da arte de tecnologias na produção de café. Vicosa, MG, UFV – Departamento de fitopatologia, p. 217-251. 2002.

SCHMIDT, R.; SILVA, L. O. E.; FERREIRA, A.; GONTIJO, I.; GUIMARÃES, R. J.; RAMALHO, J. C.; PARTELLI, F. L. Variability of Root System Size and Distribution among *Coffea canephora* Genotypes. **Agronomy**, v. 12, n. 3, p. 647, 2022. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030647>

SILVA, G. F.; REIS, E. F. **Irrigação e manejo da água no café conilon**. In: Café Conilon, 2. Ed. Vitória: Incaper, p. 359-380, 2017.

SOLAIMALAI, A.; BASKAR, M.; SADASAKTHI, A.; SUBBURAMU, K. Fertigation in high value crops—a review. **Agricultural reviews**, v. 26, n. 1, p. 1-13, 2005.

SOUZA, C. F.; MATSURA, E. Distribuição da água no solo para o dimensionamento da irrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 7-15, 2004. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662004000100002>

SOUZA E. A.; COELHO E. F.; PAZ V. P. S. Distribuição da umidade num perfil de solo irrigado por gotejamento superficial e subsuperficial. **Ciência e agrotecnologia**, v. 31, n. 4, p.1161–1166, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000400032>

SOUZA, J. M.; REIS, E. F.; BONOMO, R.; GARCIA, G. O. Wet bulb and Conilon coffee root distribution under drip irrigation. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 1, p. 93-103, 2018. <https://doi.org/10.1590/1413-70542018421018617>

SOUZA, E. M. R.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; VERDIN, A. C.; FERRÃO, R. G.; MOURA, W. M.; SPADETO, J.; SANTOS, W. G. S.; OLIVEIRA, W. **Café conilon na região serrana do estado do Espírito Santo**. X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Vitória-ES, outubro, 2019.

SURESHKUMAR, P.; GEETHA, P.; KUTTY, M. N.; KUTTY, C. N.; PRADEEPKUMAR, T. Fertigation-the key component of precision farming. **Journal of Tropical Agriculture**, v. 54, n. 2, p. 103, 2017.

TOLENTINO JÚNIOR, J. B.; MARINHO, L. B., SOUZA, C. F., FRIZZONE, J. A. Desenvolvimento de um modelo numérico para modelagem do bulbo molhado em irrigação por gotejamento. **Irriga**, v. 1 n. 1, p. 11-20, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, I.M.; MOLLER E.; A. MURPHY. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6ª ed. Sunderland: Sinauer Associates. 2017.

VAN DER VOSSSEN, H. A. M. A critical analysis of the agronomic and economic sustainability of organic coffee production. **Exp. Agric.** v. 41, n. 4, p. 449-473, 2005. <https://doi.org/10.1017/s0014479705002863>

VARONA, R. M.; ZAYAS, E. C. Viabilidad económica del riego localizado en el cultivo del café. **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**, v. 25, n. 2, p. 44-50, 2015.

VICENTE, M. R.; MANTOVANI, E. C.; FERNANDES, A. L. T.; DELAZARI, F. T.; FIGUEREDO, E. M. Efeito de diferentes lâminas de irrigação nas variáveis de desenvolvimento e produção do cafeeiro irrigado por pivô central. **Irriga**, v. 20, n. 3, p. 528-543, 2015. <https://doi.org/10.15809/irriga.2015v20n3p528>

VICENTE, M. R.; MANTOVANI, E. C.; FERNANDES, A. L. T.; NEVES, J. C. L.; FIGUEREDO, E. M.; DELAZARI, F. T. Spacial distribution of fertigated coffee root system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n.1, p. 72-80, 2017.

WU, D.; XU, X.; CHEN, Y.; SHAO, H.; SOKOLOWSKI, E.; MI, G. Effect of different drip fertigation methods on maize yield, nutrient and water productivity in two-soils in Northeast China. **Agricultural Water Management**, v. 213, p. 200-211, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018>

YASUOR, H.; YERMIYAHU, U.; BEN-GAL, A. Consequences of irrigation and fertigation of vegetable crops with variable quality water: Israel as a case study. **Agricultural Water Management**, 242, 106362. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106362>

## CAPÍTULO II

### PRODUTIVIDADE DO CAFEIEIRO CONILON COM BASE EM DIFERENTES ESTRATÉGIAS NUTRICIONAIS EM REGIÃO DE MONTANHA

#### RESUMO

Investigações sobre diferentes estratégias de manejo nutricional podem subsidiar o aperfeiçoamento de técnicas para otimizar o uso sustentável dos recursos naturais, a produtividade da cafeicultura. Desta forma, objetivou-se neste trabalho contrastar a produtividade do cafeeiro conilon cultivado sob sistemas fertirrigados em relação à adubação convencional, buscando gerar bases de conhecimento para direcionar novos ajustes às recomendações atualmente descritas. Para este fim, foi instalado um experimento com cultura do cafeeiro conilon (*Coffea canephora*), no município de Muniz Freire, região sul do estado do Espírito Santo, a 550 m de altitude. O estudo foi conduzido em um esquema de parcelas subdivididas 2 x 4, sendo adotado nas parcelas o fator forma de aplicação de fertilizante em dois níveis (Fertirrigado e Convencional), o fator doses de adubação com N e K<sub>2</sub>O em quatro níveis (NK50 = 50%; NK100 = 100%; NK200 = 200%; e NK300 = 300% da dose recomendada para produtividade esperada de 75 sc ha<sup>-1</sup>), conduzidos em um delineamento em blocos casualizados, com três repetições. As análises exploraram os efeitos dos tratamentos com base na produção média de duas safras. Em relação ao fator método de aplicação, a produção os níveis do fator fertirrigação foram estatisticamente superiores em 17,61%, 14,96%, 41,16% e 32,02% quando comparado com os níveis de adubação convencional para NK50, NK100, NK200 e NK300, respectivamente. Pela derivada da equação estimou-se o incremento máximo de produção até a dose 236,5% para os níveis de fertirrigação, enquanto os níveis de adubação convencional não apresentaram incrementos significativos de produção a partir da dose de 100%. Considerando as condições edafoclimáticas deste experimento, o manejo adotado contribui diretamente para otimização da eficiência no uso da água e fertilizantes. Para a dose padrão NK100, houve aumentos de produtividade na ordem de 44,73% para sistemas fertirrigados e de 25,90% para o manejo convencional, em relação a produtividade esperada descrita no manual de recomendação do estado. Para uma mesma produção equivalente, os resultados convergem a possibilidade em reduzir em 30 e 19% respectivamente a dose de adubação recomendada.

**Palavras-chave:** fertirrigação; nutrição mineral; produção de café; *Coffea canephora*.

## 1. INTRODUÇÃO

Depois do petróleo, o café é a *commodity* mais valiosa do mundo. A produção mundial de café gira em torno de 174 milhões de sacas por ano (PARTELLI et al., 2019). O Brasil se destaca como líder mundial na produção e exportação de cafés (COSTA, 2020; HEJNA, 2021; ICO, 2020; MACHADO FILHO et al., 2021), sendo o estado do Espírito Santo o maior produtor da espécie *Coffea canephora*, respondendo por 68% da produção nacional (CONAB, 2022).

O crescimento da população global, junto às perspectivas futuras acerca do clima, e a tendência de escassez dos recursos estabelece um cenário que obrigatoriamente implicará na utilização criteriosa dos recursos hídricos, energéticos e insumos agrícolas (RIBEIRO; VENÂNCIO; REIS, 2020). Neste contexto, o conceito e a compreensão da relevância da fertirrigação poderá atender as demandas equacionadas.

Muitos estudos relataram que a maior eficiência no uso de água e fertilizantes podem ser alcançados mais facilmente por meio da técnica de fertirrigação em comparação com outros métodos de irrigação e fertilização (MARINO et al., 2014; TAN et al., 2017). Dentre os fatores que contribuem para tal eficiência destaca-se a possibilidade de fornecer nutrientes em alta frequência e baixo volume, o que proporciona melhorias na absorção, garantia de maior uniformidade dos fertilizantes ao longo do ciclo da cultura, promovendo uma nutrição mineral precisa (SURESHKUMAR et al., 2017; PARAMESHA et al., 2022).

A eficiência do uso de nutrientes neste sistema pode chegar a 90%, em comparação com 40 a 60% aos métodos convencionais, além disso a economia de fertilizantes pode atingir até 60% sem afetar o crescimento e o rendimento das culturas (ASHRAFI et al., 2020), além de propiciar redução nos custos de produção em até 25% (PARAMESHA et al., 2022). Por ser capaz de sincronizar o suprimento de água e nutrientes, a técnica, quando bem aplicada é considerada ecologicamente correta nutricionalmente adequada (JAT et al., 2011).

Considerando que boa parte da produção cafeeira é exclusivamente dependente de mão de obra familiar, a fertilização das plantas ainda é realizada, na grande maioria das lavouras, via método convencional, o qual é dependente de chuvas para adubação. Diante deste cenário o aprimoramento no manejo da fertirrigação em um conceito mais amplo de agricultura moderna, pode promover transformações significativas nas propriedades capixabas, resultando em uma contribuição social relevante.

Contudo, a concentração de nutrientes na água de irrigação deve ser adequada, de modo a garantir a concentração necessária da solução do solo na zona úmida das raízes, sem exceder a

condutividade elétrica (CE) tolerada pela cultura. Caso contrário, o acúmulo de sais pode ocasionar desarranjos em componentes osmóticos do solo, influenciando o potencial hídrico e, conseqüentemente dificultando a absorção de nutrientes (BAR-YOSEF, 1999).

Considerando o potencial da fertirrigação para alavancar os índices de eficiência, produção e rentabilidade (TIAN et al., 2017; COELHO et al., 2018), ainda é necessário desenvolver pesquisas no cafeeiro em fertirrigação que busque o equilíbrio da composição, quantidade, tempo e modo de entrega de fertilizantes às plantas e ao solo, critérios os quais em grande parte das propriedades rurais capixabas não são consideradas.

As inúmeras lacunas de informações quanto adequação da fertirrigação em virtude das respostas fisiológicas e nutricionais do café conilon, resulta em um campo fértil de desafios a serem vencidos em pesquisas vindouras. Além disto, os padrões de exigência nutricional dos genótipos no atual modelo de cultivo e, o potencial aumento de eficiência no uso da água e nutrientes da fertirrigação devem ser considerados para ajustes nas recomendações. Para este fim, objetivou-se neste trabalho contrastar a produção do cafeeiro conilon cultivado sob sistemas fertirrigados em relação à adubação convencional utilizando diferentes doses de fertilizantes. Em síntese, o trabalho visa contribuir para novos direcionamentos relacionados ao manejo nutricional, contribuindo a geração de bases de conhecimento para uma cafeicultura de alto rendimento no estado do Espírito Santo.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

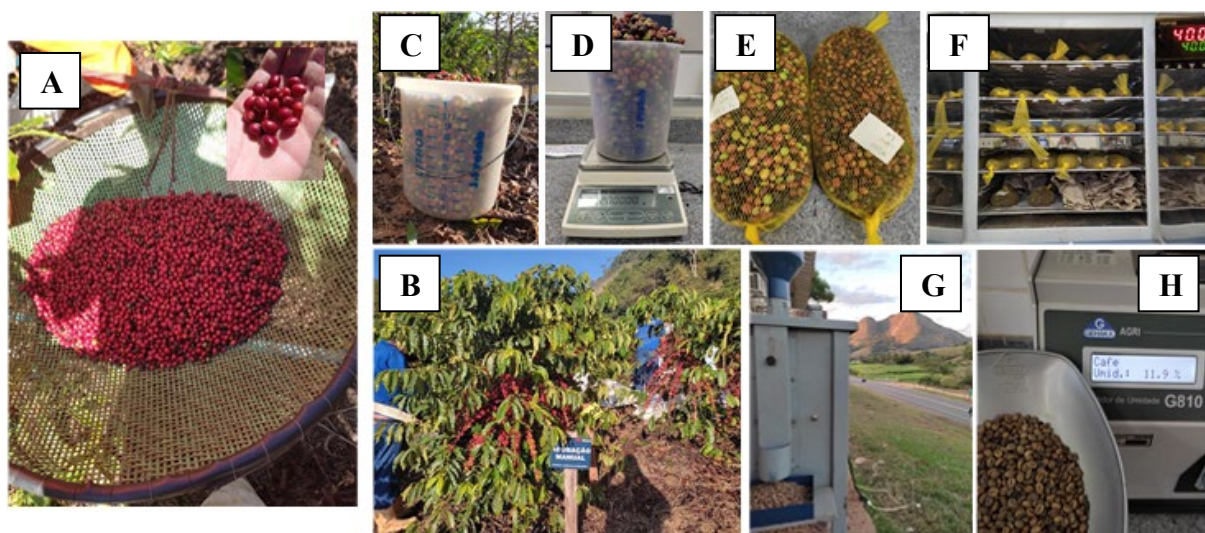
Os procedimentos de experimentação seguem o material e métodos propostos na apresentação deste estudo. Nesta seção serão abordados os procedimentos específicos para obtenção das variáveis relacionadas a produtividade, condutividade elétrica da solução do solo e os métodos de análises estatística explorados.

### **2.1. Colheita, beneficiamento e estimativa da produtividade**

Para comparação da produtividade e rendimento dos grãos entre os tratamentos foram considerados os valores médios obtidos em duas safras produtivas, considerando o ciclo do cafeeiro e sua bianualidade positiva e outra negativa (Figura 9).

A colheita dos frutos foi realizada por derriça manual em peneira (Figura 9A e 9B) nas cinco plantas centrais de cada nível dos fatores em estudo. Devido às características de floração e maturação diferenciada entre os genótipos, e trabalhando sob a hipótese de que os tratamentos

poderiam resultar em retardo ou aceleração do amadurecimento, foi admitido o momento de colheita quando visualizado uma maturação de 80% dos grãos, conforme sugerido por Silva et al. (2017).



**Figura 9.** Processos de colheita e beneficiamento do café.

A: Colheita do café via derriça manual com peneira; B: demonstração do estágio de maturação do café; C: quantificação volumétrica dos grãos colhidos; D e E: pesagem dos grãos e condicionamento para secagem; F: secagem dos grãos em estufa com circulação forçada de ar; G: descascamento do café seco; H: aferição do teor de umidade dos grãos.

Com os grãos colhidos foi possível medir a quantidade de café (kg), que corresponde ao volume total de café produzido, englobando os maduros, verdes e secos. O procedimento de pesagem foi realizado em uma balança eletrônica com capacidade de 25,0 kg, e variação 0,5 g. Para a obtenção do volume em litros foi utilizado um recipiente graduado (Figura 9C).

Uma amostra de 2,0 kg (Figura 9D) foi retirada para obtenção dos valores médios de café beneficiado (kg), que corresponde ao produto final, sendo este o grão processado e comercializado. A amostra foi submetida a secagem em estufa de circulação forçada de ar, com manutenção de temperatura de 40 °C até o teor de umidade médio dos grãos atingirem 13,0%. Durante o procedimento as amostras foram revolvidas três vezes ao dia para garantir a uniformidade da secagem. Para padronização dos resultados efetuou-se a correção do peso em função da umidade remanescente.

O teor médio de umidade foi determinado mediante a leituras com um medidor de umidade, modelo Gehaka G810 (Figura 9H). Após o ponto de secagem, o café foi pilado (Figura 9G). O rendimento de colheita (R) foi estabelecido pela relação entre a quantidade de café recém colhido e a quantidade de café posteriormente beneficiado. Para estimar a produtividade dos

tratamentos, em sacas 60 kg por hectare, foram utilizadas a produção e rendimento médio de cada parcela experimental, utilizando a equação 1.

$$P = \frac{Pd \cdot N}{R \cdot 60} \quad (1)$$

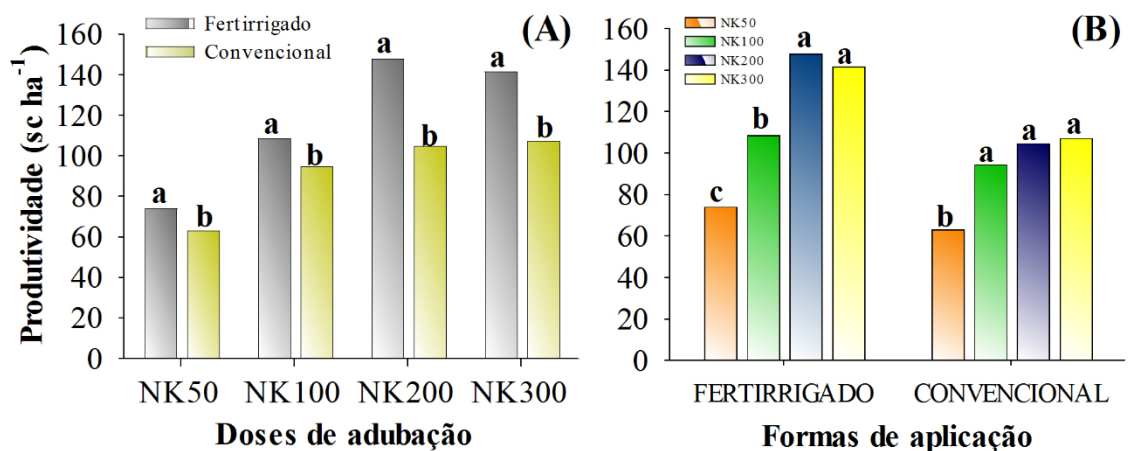
Sendo P - produtividade em sacas por hectare; Pd - produção média por planta; N - número de plantas no hectare; R - Rendimento de colheita.

Para comparação dos resultados, plantas manejadas conforme o padrão da fazenda, foram colhidas aleatoriamente ao redor do experimento. Estas foram fertirrigadas com expectativa de produtividade na faixa de 75 a 90 sc ha<sup>-1</sup>. Essa avaliação foi importante para discriminar as respostas dos tratamentos com o histórico produtivo local, uma vez que todas as plantas eram compostas pelo mesmo material genético, submetidas às mesmas condições ambientais e tratamentos culturais.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Produtividade

Em termos qualitativos, para a variável produtividade (Figura 10), por meio das análises foi possível identificar efeito significativo entre a interação do fator método de aplicação e doses de fertilizantes N e K, procedendo desta forma desdobramento entre os níveis dos tratamentos.



**Figura 10.** Produtividade das parcelas fertirrigadas e convencionais para cada nível do fator doses de fertilizantes (A) e, produtividade das parcelas submetidas a diferentes doses de

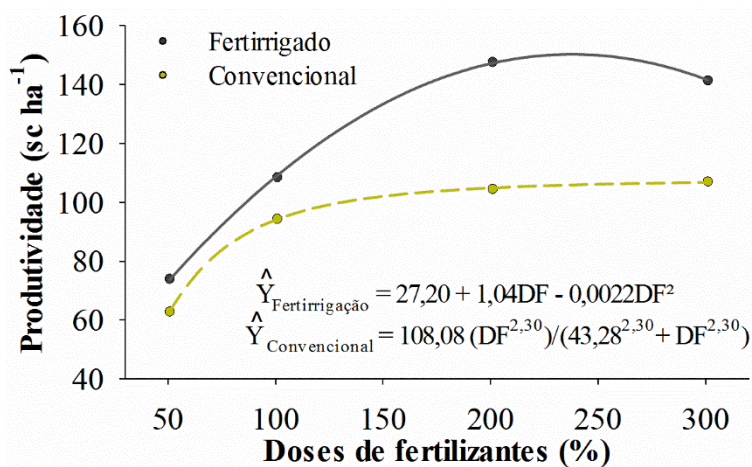
fertilização em função da forma de aplicação. As colunas seguidas por uma mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Neste estudo, para todas as doses testadas, as parcelas fertirrigadas foram estatisticamente superiores em relação as parcelas conduzidas com convencional (Figura 10A). A diferença de produtividade para uma mesma dose de N e K quando contrastada entre as duas formas de aplicação de fertilizantes, resultaram em diferenças de aproximadamente 17,61%; 14,96%; 41,16% e 32,02% para NK50, NK100, NK200 e NK300, respectivamente.

Em relação aos níveis doses de adubação dentro do nível fertirrigado (Figura 10B), NK50 foi estatisticamente o menos responsivo, apresentando média produtiva de 73,96 sc ha<sup>-1</sup>. Incrementos significativos de produtividade foram observados de forma progressiva, obtendo-se em NK100 uma média de 108,55 sc ha<sup>-1</sup> e para NK200 147,64 sc ha<sup>-1</sup>, o qual não diferiu estatisticamente com NK300 (141,41 sc ha<sup>-1</sup>), um importante indicativo para implicações sobre o manejo nutricional das plantas.

Conforme analisado anteriormente, novamente, NK50 foi o menos responsivo em produtividade no nível convencional, com média de 62,89 sc ha<sup>-1</sup>. Neste nível, a partir de NK100, não foram observados incrementos significativos de produtividade de acordo com aumento na dose de fertilizante. A produtividade obtida foi de 94,43 sc ha<sup>-1</sup>; 104,6 e 107,11 sc ha<sup>-1</sup> para NK100, NK200 e NK300.

Para maiores entendimentos foi proposta uma análise quantitativa entre a variável produtividade em função das doses de fertilizantes, as quais estão apresentadas na Figura 11.



**Figura 11.** Produtividade do cafeeiro conilon em função de diferentes doses de fertilizante, para os níveis do fator forma de aplicação: fertirrigação e adubação convencional.



Os modelos de regressão possibilitam realizar uma associação direta entre o incremento produtivo em função do aumento nas doses de fertilizantes tanto para as parcelas fertirrigadas quanto as conduzidas com adubação convencional. Entretanto, esta manifestação é singular e, não tende à linearidade e, por si apresenta maior ímpeto na transição de doses entre 50 a 100%.

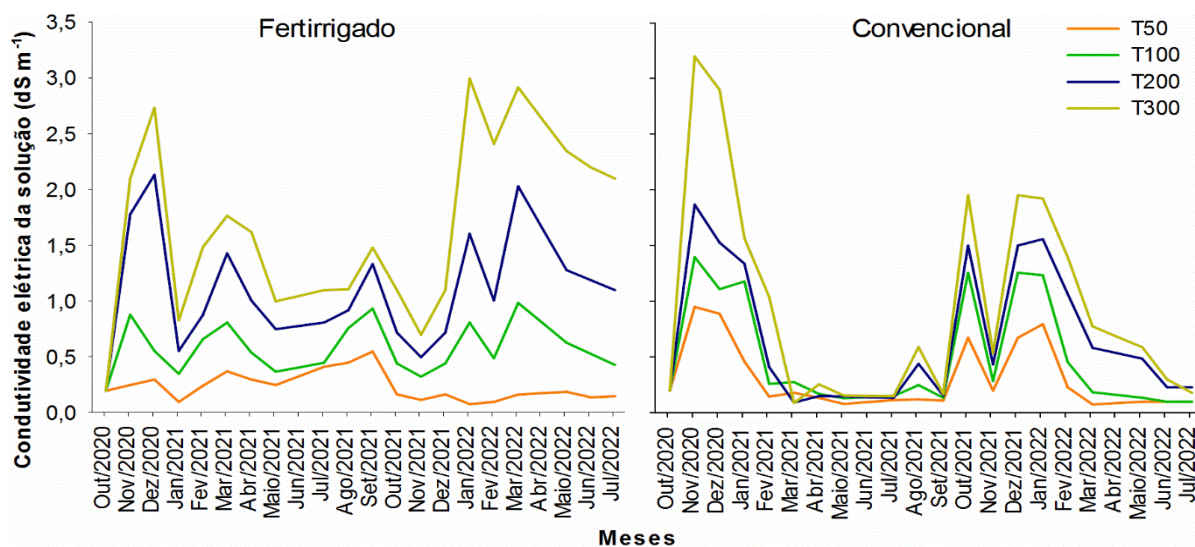
Via fertirrigação é possível observar incrementos progressivos sob a tendência de um modelo polinomial quadrático. Para NK100 e NK200 estima-se ganhos de produtividade na ordem de 46,76% e 99,60%, respectivamente, em relação a NK50. No ponto máximo da curva foi obtido-se por estimativa uma produtividade média de 150, 11 sc ha<sup>-1</sup>, condicionado a dose de 236,5%. Os valores encontrados em NK300 foram 9,43% menores que NK200.

Para o manejo convencional, o modelo matemático ajustado segue uma função sigmoideal, não-linear, onde a variável aumentou exponencialmente na faixa de transição entre a NK50 e NK100, com ganhos de 50,14%. Neste ponto ocorreu a estabilização na inflexão da curva, caracterizando o início da fase de transição, a qual ainda se soma ganhos próximos a 16% e, por fim foi estabelecido uma linearidade consistente, associado a acréscimos menores que 4%, representando assim, uma baixa significância entre os similares tratamentos NK200 e NK300.

O tratamento adotado como referência, NK100 convencional, é recomendado para obtenção de produtividade de 75 sc ha<sup>-1</sup>. De maneira divergente neste experimento, para esta mesma dose e forma de aplicação, observou-se uma produtividade de 94,34 sc ha<sup>-1</sup>, o que supera em 19 sacas a estimativa inicialmente prevista. Quanto à fertirrigação, a produtividade de 108,55 sc ha<sup>-1</sup> expressa uma capacidade produtiva superior de 33 sc ha<sup>-1</sup> em relação ao esperado com base no manual de recomendação de adubação e em 14 sc ha<sup>-1</sup> ao NK100 neste experimento.

### **3.2. Condutividade elétrica da solução do solo**

Foi realizada a caracterização da condutividade elétrica (CE) da solução do solo ao longo do tempo (Figura 12) para explorar os seus efeitos sobre a produtividade do cafeeiro. Neste momento é necessário rememorar que as variações mensais da CE estão condicionadas às condições edafoclimáticas e fisiológicas das plantas e associadas às diferentes partições de nutrientes ao longo do ano, conforme visto na Tabela 4.



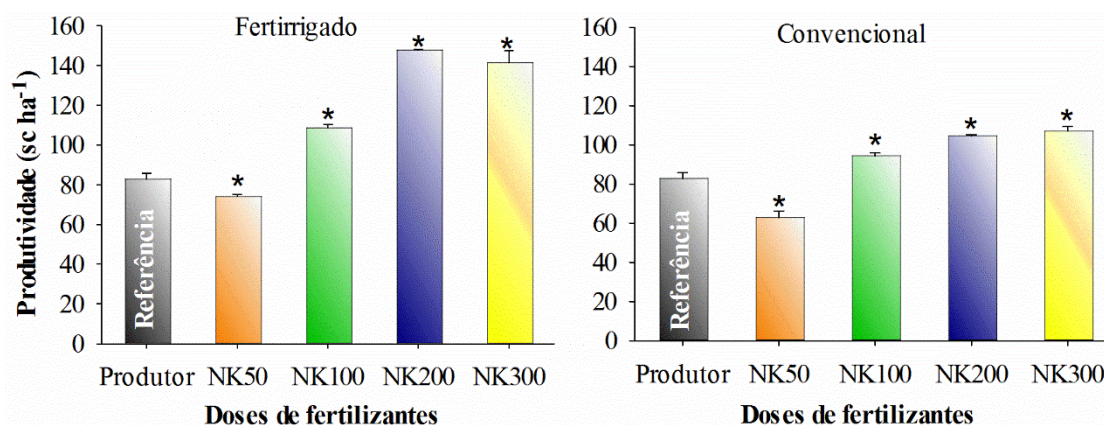
**Figura 12.** Condutividade elétrica da solução do solo ( $\text{dS m}^{-1}$ ) das diferentes doses de fertilizantes para os níveis do fator forma de aplicação de fertilizantes, fertirrigado e adubação convencional.

Nas parcelas conduzidas com adubação convencional, os picos de CE foram obtidos entre os meses de setembro a fevereiro, período que coincide com a estação chuvosa, tradicional momento de adubação do cafeeiro. Conforme esperado, aumentos progressivos da CE foram associados com a intensificação da adubação, visualizado na estação chuvosa. Com término deste período e suspensão das adubações, houve decréscimos na CE, independentemente da dose aplicada de fertilizantes. Neste momento, foi estabelecido um período de 7 meses onde os valores da CE da solução convergiram próximos de  $0,1 \text{ dS m}^{-1}$ , não diferenciando-se entre si. O aumento da CE foi restabelecido com o retorno das adubações durante o período chuvoso.

Em contraste, dado a manutenção das fertilizações, as parcelas fertirrigados estiveram sempre mais condicionados a maiores valores da CE ao longo do ano, tendo escala quantitativa diretamente proporcional à dose utilizada.

### 3.3. Comparação com a produtividade média local

Na Figura 13, foram exploradas as divergências entre as doses aplicadas no sistema fertirrigado e convencional em função da produtividade estimada da propriedade. Pelo teste de Dunnet, foi possível observar que o tratamento do produtor foi significativamente inferior a partir da dose equivalente a 100% para ambos métodos de aplicação.



**Figura 13.** Padrão de manejo nutricional da propriedade em confronto aos níveis do fator doses de adubação, e do fator formas de aplicação de fertilizantes: níveis fertirrigado e adubação convencional. As colunas com asterisco diferem-se em relação ao padrão ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

A produtividade obtida nas parcelas experimentais referentes ao tratamento do produtor foi de 82,81 sc ha<sup>-1</sup>, superando estatisticamente a produtividade da dose 50% para ambos os métodos de aplicação de fertilizantes. Mesmo sob fertirrigação, esta produção foi superada por todos os demais tratamentos aplicados neste estudo, sendo estatisticamente inferior em 12,30% quando comparada a NK100 da adubação convencional.

Em relação as doses de adubação, com exceção a NK50, todas as demais parcelas fertirrigadas neste experimento, apresentaram superioridade produtiva de 25,73; 64,82; 58,59 sc ha<sup>-1</sup>, correspondendo a acréscimos de 23,70%; 43,90 e 41,30% para NK100, NK200 e NK300, respectivamente.

#### 4. DISCUSSÃO

Mudanças nos padrões do agronegócio tem intensificado a competitividade na cafeicultura. Devido ao aumento nos custos de produção, em especial os relacionados a nutrição do cafeeiro, junto a exigência do mercado por bebidas de qualidade, o aumento na eficiência do uso recursos naturais tornou-se uma questão primordial para se manter competitivo. É necessário estabelecer um paralelo entre os resultados obtidos neste experimento com a realidade da cafeicultura capixaba, visando consolidar práticas e tecnologias mais eficazes. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2022) a média de produtividade das lavouras de conilon no Espírito Santo foi de 47,2 sc ha<sup>-1</sup>, valor esse inferior em 36,19% e 24,95% quando utilizado a metade da dose recomendada correspondente a NK50 fertirrigado e convencional,

respectivamente. Estes valores na produtividade são representativos e motivam a busca por respostas mais concretas que explicariam melhor essa dissimilaridade.

Contudo, estas considerações devem ser analisadas cautelosamente, pois de fato o ajuste nas doses de N e K é necessário para elevar a produtividade cafeeira. Entretanto, é equivocado condicionar os ganhos unicamente pela estratégia nutricional empregada, dada a existência de um conjunto de fatores que somam contribuições para as diferentes médias obtidas. De fato, os sistemas de cultivos foram altamente modificados conforme discutido no Capítulo I. Isso estabelece condições bem distintas quando comparados aos sistemas experimentais utilizados para direcionamento das recomendações de adubação a mais de duas décadas.

Desta forma, é crucial propor ajustes que considerem além da estratégia de manejo nutricional, as atuais recomendações de manejo da cultura, manejo da irrigação, uso de fertilizantes com tecnologias aprimoradas e genótipos de alto rendimento adaptados a cada região, além das condições climáticas locais.

#### **4.1. Estratégias de manejo nutricional**

As premissas da nutrição de plantas consistem em suprir a demanda de nutrientes em frequência e quantidade adequada. Aplicação crescente de doses pode, até certo ponto favorecer o aumento na produtividade, desde que sejam ponderadas quanto ao método de aplicação. Haja vista todos os benefícios propostos pela fertirrigação, potenciais benefícios foram estatisticamente validados de forma qualitativa e quantitativa (Figura 10 e 11).

Para fins de discussão e considerando NK100 convencional como referência, podemos detectar que a incorporação direta dos fertilizantes via fertirrigação, em alta frequência e baixo volume, aumentou a eficiência produtiva (SAKAI et al., 2015). Neste experimento, NK100 fertirrigado apresentou incremento de 14,21 sc ha<sup>-1</sup> em relação ao convencional, um acréscimo de 15,06%.

Quando comparado com a estimativa da atual recomendação, foi conferido uma diferença de 33,55 sc ha<sup>-1</sup>, ou seja, é possível considerar a redução de 30% na dose de N e K para sistemas fertirrigados, confirmando desta forma, uma contribuição significativa da técnica sob a eficiência do usos dos nutrientes na produção (SAKAI et al., 2015). Valores aproximados foram encontrados por Sobreira et al. (2011), ao investigar a produção do cafeeiro conilon adensado e cultivado sob manejo da fertirrigação e em cultivo sequeiro. Bruno et al. (2015) também relataram possibilidade na redução de 1/3 da dose N sem comprometer a produção de grãos em café arábica.

A principal fundamentação para este resultado está relacionada a premissa de melhorar a fertilização por meio da fertirrigação. A aplicação equilibrada e a manutenção de teores adequados de nutrientes na solução do solo ao longo do ciclo de cultivo, fornecidos de forma gradativa e com base na taxa de absorção da cultura (DOBERMANN, 2007; ROBERTS, 2008; COELHO et al., 2009), é fundamental para a expressão máxima do potencial genético das plantas. Além disso, ao obter maiores rendimentos por unidade de fertilizante aplicado, contribui para a proteção do meio ambiente.

É necessário entender que flutuações na demanda nutricional ocorrem naturalmente ao longo do ciclo fenológico do cafeeiro, com maior intensidade no período de granação dos frutos. Segundo Rena e Maestri (1985), de fato os frutos são considerados o principal sumidouro de nutrientes durante a fase reprodutiva do cafeeiro.

Na fase de granação, culturalmente, os produtores direcionam esforços a fim de garantir maiores rendimentos dos grãos. Esta prática mostra-se assertiva, pois o suprimento adequado de água e nutrientes favorecem a fotossíntese, aumentando a disponibilidade de fotoassimilados e consequentemente enchimento dos grãos de café (BARROS et al., 1997; SILVA et al., 2020).

Contudo, restrições nutricionais devido a um maior espaçamento entre as fertilizações, conforme apresentado no manejo convencional (Figura 12), resulta numa diminuição progressiva da CE. Neste sentido, espera-se limitações na absorção e redução da concentração dos nutrientes no tecido vegetal, culminando no crescimento lento durante a fase vegetativa e, consequentemente, prejuízos não reversíveis à produção (EPSTEIN et al., 2006). Deste modo, as limitações estariam mais associadas a redução das gemas seriadas, e não devido ao menor rendimento na carga pendente.

Níveis baixos de um determinado elemento resultam em alterações de amplas proporções no metabolismo, porém, quando moderadas podem ser entendidas como “fome oculta”, pois ocorre o retardamento de alguns processos fisiológicos os quais, entretanto não possuem severidade suficiente para ocasionar desarranjo bioquímico ao ponto de haver manifestação visuais de sintomas (EPSTEIN et al., 2006; SALEEM et al., 2023). O baixo estado iônico interno poderia explicar o motivo para que o suprimento do nutriente resultasse em ganhos lineares entre NK50 e NK100, conforme observados na Figura 11 para ambas formas de fertilização. Este comportamento se dá em virtude da absorção facilitada como equacionalmente descrita na teoria de Michaelis-Menten (EPSTEIN et al., 2006).

Para cada incremento adicional de nutriente absorvido pela planta há um aumento correspondente em produção ou crescimento (EPSTEIN et al., 2006). Porém, uma vez restabelecida a concentração ideal do nutriente no tecido, a qual está estreitamente relacionado

a demanda fisiológica da planta, quantidades adicionais disponibilizadas e absorvidas irão aumentar a concentração interna de nutrientes a níveis de consumo exuberante (EPSTEIN et al., 2006). Neste caso, via aplicação convencional é facilmente possível estabelecer-se uma condição temporária de estresse salino, caso haja total incorporação do fertilizante.

Neste entendimento, para a adubação convencional, a estabilização da produção em doses superiores a 100% não foi relacionada à falta de nutrientes durante o período produtivo, mas durante o período vegetativo de crescimento. Desta forma, para adição de doses elevadas de fertilizantes na adubação convencional, é necessário que seja considerado o maior fracionamento ao longo do ano.

Já para fertirrigação, é possível correlacionar uma alta taxa de crescimento e produção estimulada pelo aumento nos teores de N e K do solo, estabelecendo o ponto máximo da curva na dose de 236,5%. Isto consiste num forte indicativo de aumento na taxa metabólica e no consumo de nutrientes, que é governada pela lei dos incrementos decrescentes, a qual segundo Raij (1991), também servirá de base para a definição da dose econômica.

Uma grande preocupação quanto a adubação convencional em regiões tropicais está relacionada a eficiência de aplicação, que também explica, em partes, a menor produtividade obtida quando comparada com o sistema fertirrigado. As adubações concentradas aumentam os riscos de perdas decorrentes das chuvas com alta intensidade, resultando em lixiviação de nutrientes abaixo da zona radicular ou em escoamento superficial, sendo dificilmente contornável.

Para minimizar os problemas com lixiviação de nutrientes, as aplicações frequentemente tentam ser associadas a dias com baixa intensidade de precipitação. Entretanto, perdas expressivas podem decorrer em virtude da volatilização da amônia, sendo fundamental considerar o uso de fertilizantes nitrogenados com tecnologias associadas. Neste trabalho, foram utilizados grânulos de ureia revestida com cobre e boro, metais que inibem momentaneamente a atividade da urease, garantindo que a liberação esteja vinculada a absorção pelas plantas (RIBEIRO et al., 2016). Não foi possível determinar o nível de contribuição, porém acredita-se que o uso adequado dessa tecnologia é uma ferramenta decisiva para que a adubação convencional no presente estudo apresenta-se uma superioridade produtiva de 19,34 sc ha<sup>-1</sup>, um acréscimo de 29% do valor esperado. Proporcionalmente possibilitaria a redução de aproximadamente 20% da dose de fertilizante.

Em contrapartida, cabe ressaltar que a fertilização a lanço pode ter sua eficiência reduzida em lavouras de café conilon conduzidas em sistemas de irrigação localizado. Este fato ocorre devido a restrições na capacidade das plantas de absorver nutrientes fora da área irrigada, essas

limitações são ocasionadas pela concentração diferencial das raízes na região do bulbo molhado (SCHIMIT et al., 2022).

#### **4.2. Manejo da água no bulbo molhado**

O aumento da eficiência produtiva é resultado multifatorial, dado pelo somatório de diversas variáveis relacionadas a aspectos fisiológicos, ambientais e técnicos que resultam em maior eficiência produtiva, do uso da água e dos fertilizantes e serão discutidos no tópico referido. Apesar da dificuldade em elencar o real peso de cada fator, evidências direcionam para uma significativa contribuição quanto ao aspecto hídrico.

Cultivadas sob mesmas condições clima, com os mesmos genótipos, espaçamento de plantio, tratos culturais e frequência de fertirrigação, evidências sugerem que o fator diferencial remanescente para contribuir com esta diferença seja o manejo da água do solo, mais especificamente relacionadas a limitações quanto ao bulbo molhado.

Por critérios comparativos entre os tratamentos e plantas do produtor monitoradas na área, chegou-se o estabelecimento desta condição. Rememorando o preparo da área, foi constada limitações quanto aos componentes do sistema de irrigação, os quais foram reparados para o setor experimental, utilizando gotejadores mais próximos e maior intensidade de aplicação permitindo a formação de uma faixa molhada (BERNARDO et al., 2019). Porém tais mudanças não foram aplicadas nas plantas adjacentes ao experimento, criando casualmente um único fator dissimilar de diferenciação.

Conforme preconizado por Tolentino Júnior et al. (2014) o sistema de irrigação localizada deve molhar um volume suficiente do solo que abranja o sistema radicular efetivo da cultura e que assegure o requerimento de água. Limitações visíveis na área do produtor resultaram em menor produtividade de seus sistemas fertirrigados, até mesmo comparados com a adubação convencional.

De forma geral, antes de fertirrigação os critérios básicos dos sistemas de irrigação devem ser atendidos. Considerando ainda maior eficiência de uso de fertilizantes e área restrita irrigada via gotejamento, é sugerido também considerar uma correção na dose de fertilizante aplicada em função do volume do bulbo molhado, critério amplamente difundido em ajustes de lâminas estimadas por método de evapotranspiração.

## 5. CONCLUSÃO

1. A fertirrigação apresentou superioridade estatística para todas as doses N e K testadas.
2. Na fertirrigação as produtividades médias obtidas foram de 73,65; 108,55; 147,64 e 141,41 sc ha<sup>-1</sup>, enquanto no convencional foi de 62,89; 94,34; 104,60 e 107,11 sc ha<sup>-1</sup> para NK50, NK100, NK200 e NK300, respectivamente.
3. As parcelas fertirrigadas apresentaram produtividade de 17,61; 14,96; 41,16 e 32,02% para NK50, NK100, NK200 e NK300, respectivamente em relação ao convencional.
4. A produtividade máxima na fertirrigação foi obtida utilizando uma dose N e K equivalente a 236,5% do padrão, para uma produtividade de 150,11 sc ha<sup>-1</sup>. Para o manejo convencional não houve significância estatística de incrementos a partir de 100% da dose de N e K.
5. Baixos valores de condutividade elétrica da solução do solo nas parcelas com adubação convencional resultaram em efeito deletério durante o período vegetativo de crescimento do cafeeiro.
6. Com exceção de NK50, todos os demais tratamentos foram estatisticamente superiores ao padrão médio da fazenda, demonstrando clara interferência do bulbo molhado.
7. O manejo adequado fertirrigação para dose de NK 100 resultaram em ganhos de 44,73% na produtividade em relação ao valor esperado.
8. Para o manejo convencional a utilização de fertilizantes com tecnologia de revestimento, junto à adequação de aplicação resultou em aumentos de 25,90% na produtividade esperada.
9. Para uma produção equivalente ao preconizado no manual de recomendação de adubação e calagem para o estado do Espírito Santo, é possível reduzir a dose aplicada em aproximadamente 30% na fertirrigação e 20% na adubação convencional.



## REFERÊNCIAS

- ASHRAFI, M. R.; RAJ, M.; SHAMIM, S.; LAL, K.; KUMAR, G. Effect of fertigation on crop productivity and nutrient use efficiency. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 9, n. 5, p. 2937-2942, 2020.
- BARROS, R. S.; MOTA, J. W. S.; DAMATTA, F. M.; MAESTRI, M. Decline of vegetative growth in *Coffea arabica* L. in relation to leaf temperature, water potential and stomatal conductance. **Field Crops Res.** v. 54, n. 1, p. 65–72, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00045-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00045-2)
- BAR-YOSEF, B. Advances in fertigation. **Advances in agronomy**, v. 65, p. 1-77, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60910-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60910-4)
- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de irrigação**. 9º ed. Viçosa-MG, Brasil.: Editora: UFV, 2019.
- BRUNO, I. P.; REICHARDT, K.; BORTOLOTTI, R. P.; PINTO, V. M.; BACCHI, O. O. S.; DOURADO-NETO, D.; UNKOVICH, M. J. Nitrogen balance and fertigation use efficiency in a field coffee crop. **Journal of Plant Nutrition**, v. 38, n. 13, p. 2055-2076, 2015. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.958168>
- COELHO, G.; SILVA, A. M; REZENDE, F. C.; SILVA, R. A.; CUSTÓDIO, A. A. P. Efeito de épocas de irrigação e de parcelamentos de adubação sobre a produtividade do cafeeiro ‘Catuaí’. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 67-73, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542009000100009>
- COELHO, V. P. M.; ROSA, K. M.; PAIVA, P. E. B.; MOREIRA, É. F. A.; CARVALHO, M. Fertigation and growth regulator on coffee seedling production in tubes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, n. 4, p. 350–357, 2018. <https://doi.org/10.1590/1983-40632018v4852148>
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento safra brasileira de café, Brasília - DF, v. 9 – Safra 2022, n. 3 - Terceiro levantamento, p. 1-65, 2022. <http://www.conab.gov.br/>
- COSTA, B. D. R. **Brazilian specialty coffee scenario**. In: Coffee Consumption and Industry Strategies in Brazil. Elsevier, p. 51–64, 2020. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814721-4.00003-2>
- DOBERMANN, A. **Nutrient use efficiency measurement and management**. In: IFIA. Fertilizer best management practices. International Fertilizer Industry Association, Paris, p. 1–28, 2007.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. Nutrição mineral de plantas, princípios e perspectivas. 2ª. Ed. Londrina, Editora Planta. 403p, 2006.
- HEJNA, A. Potential applications of by-products from the coffee industry in polymer technology – Current state and perspectives. **Waste Manag**, v. 121, p. 296–330, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.12.018>

ICO, 2020. **The value of coffee: Sustainability, Inclusiveness and Resilience of the Coffee Global Value Chain.** Int. Coffee Organ. 108.

JAT, R. A.; WANI, S. P.; SAHRAWAT, K. L.; SINGH, P.; DHAKA, P. L. Fertigation in vegetable crops for higher productivity and resource use efficiency. **Indian Journal of fertilizers**, v. 3, n. 2, p. 22-37, 2011. <https://doi.org/10.3390/horticulturae3020037>

MACHADO FILHO, J. A.; RODRIGUES, W. P.; BARONI, D. F.; PIREDAS, S.; CAMPBELL, G.; SOUZA, G. A. R.; VERDIN FILHO, A. C.; ARANTES, S. D.; OLIVEIRA, L. A.; CUNHA, M.; GAMBETTA, G. A.; RAKOCEVIC, M.; RAMALHO, J. C.; CAMPOSTRINI, E. Linking root and stem hydraulic traits to leaf physiological parameters in *Coffea canephora* clones with contrasting drought tolerance. **J. Plant Physiol.** v. 258–259, p. 153355, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2020.153355>

MARINO, S.; ARIA, M.; BASSO, B.; LEONE, A.P.; ALVINO, A. Use of soil and vegetation spectroradiometry to investigate crop water use efficiency of a drip irrigated tomato. **European Journal of Agronomy**, v. 59, p. 67–77, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.05.012>

PARAMESHA, V.; RAJANNA, G. A.; KUMAR, P.; SANNAGOUDAR, M. S.; HALLI, H. M. Drip fertigation for enhancing crop yield, nutrient uptake, nutrient, and water use efficiency. **Sustainable Agriculture Systems and Technologies**, p. 267-278, 2022. <https://doi.org/10.1002/9781119808565.ch12>

PARTELLI, F. L.; GOLYNSKI, A.; FERREIRA, A.; MARTINS, M. Q.; MAURI, A. L.; RAMALHO, J. C.; VIEIRA, H. D. Andina - primeira cultivar clonal de café conilon de altitude. **Melhoramento de Culturas e Biotecnologia Aplicada**, v. 19, n. 4, 2019. <https://doi.org/10.1590/1984-70332019v19n4c68>

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

RENA, A. B.; MAESTRI, M. **Fisiologia do cafeeiro.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 11, n. 126, p. 26-40, 1985.

RIBEIRO, H. M.; RIBEIRO, H. R.; OLIVEIRA, R. S.; W. R. RIBEIRO.; SOTERO, A. J. Eficiência da adubação nitrogenada com FH nitromais em comparação à fertilizantes com inibidor da urease e convencionais. **42º Congresso de pesquisas cafeeiras**, Serra Negra-SP, 2016.

RIBEIRO, W. R.; VENANCIO, L. P.; REIS, E. F. **Gestão da agricultura irrigada: o manejo da irrigação.** In: Seagro: Ciência e tecnologia inovando o campo, ed. 1, UFES, Alegre, p. 5-30, 2019.

ROBERTS, T. L. Improving nutrients use efficiency. **Turk. J. Agric. For.** v. 32, p. 177–182. 2008.

SAKAI, E.; BARBOSA, E. A. A.; SILVEIRA, J. M. DE C.; PIRES, R. C. M. Coffee productivity and root systems in cultivation schemes with different population arrangements and with and without drip irrigation. **Agricultural Water Management**, 148, 16–23. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.08.020>

SCHMIDT, R.; SILVA, L. O. E.; FERREIRA, A.; GONTIJO, I.; GUIMARÃES, R. J.; RAMALHO, J. C.; PARTELLI, F. L. Variability of Root System Size and Distribution among *Coffea canephora* Genotypes. **Agronomy**, v. 12, n. 3, p. 647, 2022. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030647>

SILVA, F. J.; ASSIS, G. A.; CARVALHO, F. J.; VIEIRA, B. S.; SANTOS, L. C. Adubação nitrogenada e potássica e sua relação com a incidência de cercosporiose e ferrugem em cafeeiro fertirrigado. **Ciência Agrícola**, v. 18, n. 3, p. 29-35, 2020. <https://doi.org/10.28998/rca.v18i3.10322>

SOBREIRA, F. M.; GUIMARÃES, R. J.; COLOMBO, A.; SCALCO, M. S.; CARVALHO, J. G. Nitrogen and potassium fertigation in coffee at the formation phase, with high plant density. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n.1, p. 9–16. 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000100002>

SALEEM, S.; MUSHTAQ, N. U.; RASOOL, A.; SHAH, W. H.; TAHIR, I.; REHMAN, R. U. **Plant nutrition and soil fertility: physiological and molecular avenues for crop improvement**. In: Sustainable Plant Nutrition. Academic Press, p. 23-49, 2023. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18675-2.00009-2>

SURESHKUMAR, P.; GEETHA, P.; KUTTY, M. N.; KUTTY, C. N.; PRADEEPKUMAR, T. Fertigation-the key component of precision farming. **Journal of Tropical Agriculture**, v. 54, n. 2, p. 103, 2017.

TAN, Q.; ZHANG, S.; LI, R. Optimal use of agricultural water and land resources through reconfiguring crop planting structure under socioeconomic and ecological objectives. **Water**, v. 9, n. 7, p. 488, 2017. <https://doi.org/10.3390/w9070488>

TIAN, D.; ZHANG, Y.; MU, Y.; ZHOU, Y.; ZHANG, C.; LIU, J. The effect of drip irrigation and drip fertigation on N<sub>2</sub>O and NO emissions, water saving and grain yields in a maize field in the North China Plain. **Science of the Total Environment**, v. 575, p. 1034–1040, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.166>

TOLENTINO JÚNIOR, J. B.; MARINHO, L. B., SOUZA, C. F.; FRIZZONE, J. A. Desenvolvimento de um modelo numérico para modelagem do bulbo molhado em irrigação por gotejamento. **Irriga**, v. 1 n. 1, p. 11-20, 2014.

### CAPÍTULO III

## MODIFICAÇÕES DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM FUNÇÃO DE ESTRATÉGIAS NUTRICIONAIS

### RESUMO

O manejo nutricional é um dos grandes pilares da cafeicultura moderna. A fertirrigação é uma técnica elementar em lavouras cafeeiras de alto rendimento, auxiliando no fornecimento de nutrientes de forma gradual e eficiente. Porém, ainda há muitas lacunas relacionadas sobre a extração, balanço e dinâmica dos nutrientes no solo neste nível tecnológico de cultivo. Objetivou-se neste trabalho discriminar a dinâmica temporal dos atributos químicos do solo cultivado com cafeeiro conilon submetido a diferentes doses de adubação, fertilizados via sistemas fertirrigação e adubação convencional. Para este fim, foi instalado um experimento com a cultura do cafeeiro conilon (*Coffea canephora*), em uma fazenda localizada no município de Muniz Freire, região sul do estado do Espírito Santo, a 550 m de altitude. O estudo foi conduzido em um esquema de parcelas subdivididas 2 x 4, sendo adotado nas parcelas o fator forma de aplicação de fertilizante em dois níveis (Fertirrigado e Convencional), o fator doses de adubação com N e K<sub>2</sub>O em quatro níveis (NK50 = 50%; NK100 = 100%; NK200 = 200%; e NK300 = 300% da dose recomendada para produtividade esperada de 75 sc ha<sup>-1</sup>), conduzidos em um delineamento em blocos casualizados, com três repetições. As análises visaram explorar os efeitos dos tratamentos com base no manejo nutricional durante o período de dois anos. Os resultados demonstram a formação de um ambiente estatisticamente mais dinâmico quanto a alterações dos atributos químicos do solo para o sistema fertirrigado. Nesta forma de aplicação houve uma clara tendência de redução do pH, CTC efetiva (t), saturação de bases (V%), soma de bases trocáveis (SB), e aumento das características ácidas do solo (Al<sup>3+</sup> e m%). Estas alterações foram atribuídas à maior concentração de N disponível como consequência da maior eficiência de adubação. A maior concentração de nutrientes, disponibilizadas de forma gradual pela fertirrigação, contribui para intensificação do processo de absorção iônica, a qual foi proporcional com aumento de doses. Esta dissimilaridade de resposta foi testada pelo método de análise de componentes principais (ACP) e as variáveis investigadas estiveram altamente correlacionadas entre si. Concluiu-se que existem claras limitações no uso de recomendações convencionais de adubação para uso em fertirrigação. Torna-se indispensável o monitoramento periódico da fertilidade e dos atributos químicos do solo para manter a viabilidade do processo.

**Palavras-chave:** fertirrigação, manejo da fertilidade, *Coffea canephora*

## 1. INTRODUÇÃO

Com os avanços no melhoramento genético a variedade conilon vem alcançando elevado potencial produtivo, ademais, os parâmetros genéticos estão relativamente bem estabelecidos para as principais características de interesse econômico (ROSADO et al., 2021). Contudo, esforços devem ser concentrados no manejo nutricional, para que restabeleça a fertilidade do solo proporcionalmente ao balanço de nutrientes necessários ao metabolismo destes materiais, condicionando a expressarem seu valor máximo de rendimento (GOMES et al., 2016; PARTELLI et al., 2016; MAGIERO et al., 2017; HAVLIN, 2020).

Quanto aos fertilizantes, o café conilon é muito responsivo à adubação nitrogenada e potássica, uma vez que estes estão entre os nutrientes mais absorvidos e acumulados nos tecidos, e são os principais nutrientes relacionados ao crescimento vegetativo e reprodutivo (BRAGANÇA et al., 2008; COVRE et al., 2013; PARTELLI et al., 2014). O N é o nutriente aplicado em maior quantidade, sendo encontrados aumentos na produtividade em doses acima de 800 kg ha<sup>-1</sup> (BUSATO et al., 2016). Já o potássio é indispensável para obter a produtividade máxima econômica (ANJOS et al., 2015), devido a sua participação no processo de enchimento de grãos. Para o fornecimento destes nutrientes, geralmente, utiliza-se via fertirrigação a ureia (46% N) e o cloreto de potássio branco (60% K<sub>2</sub>O), pois são fontes utilizadas de fácil acesso, apresentam solubilidade satisfatória (MAGIERO et al., 2017) e bom custo benefício.

No entanto, os solos brasileiros, normalmente, são de baixa fertilidade, o que impacta negativamente a absorção e transporte dos nutrientes (RODRIGUES et al., 2016). Técnicas como a fertirrigação, que utiliza eficientemente os insumos e recursos, em especial a água e os fertilizantes, podem otimizar a cadeia produtiva e, contribuir para cultivos mais produtivos (MARTINEZ et al., 2003).

O plano de manejo nutricional de uma cultura deve atender as necessidades da fase vegetativa e reprodutiva, em quantidade e disponibilidade adequada na solução do solo e garantir maior absorção pelas raízes (ANJOS et al., 2015; COVRE et al., 2018). Para este fim, deve-se detalhar tecnicamente sobre a capacidade de suprimento de nutrientes do solo, determinar a taxa ideal de aplicação, as fontes apropriadas, o método e a eficiência de aplicação (HAVLIN, 2020).

Contudo, devido à escassez destas informações, as recomendações de adubação para fertirrigação, em sua grande parte, têm sido baseadas em boletins de adubação convencional (MAGIERO et al., 2017). Esta prática, entretanto, é tecnicamente inadequada, visto que estudos já confirmam que as recomendações de adubação associada a fertirrigação se diferem devido,

principalmente, aos ganhos de eficiência (MAGIERO et al., 2017). Neste contexto, cita-se investigações conduzidas por Sobreira et al. (2011) em cafeeiros fertirrigados em plantio adensado, que confirmam um aumento na eficiência da adubação via fertirrigação que possibilitou reduzir em até 30% a dose de N e K<sub>2</sub>O.

Elucidações a este paradigma devem ser exploradas, pois quando aplicada de forma indevida a maior quantidade de fertilizante, junto a fonte utilizada pode ocasionar modificações químicas no solo. Em alguns casos, conforme descrito por Villas Bôas et al. (1999), eventos de acidificação advindos do uso da fertirrigação em solos tropicais resultam em aumento da toxicidade por alumínio e pela baixa saturação por bases (FAGERIA; BALIGAR, 2008), o que pode comprometer a sustentabilidade dos agroecossistemas (SOUZA et al., 2006). Esta situação é recorrente em Latossolos e Argissolos, que representam 58% dos solos brasileiros (SANTOS et al., 2018). Normalmente estes solos apresentam baixa fertilidade, alta acidez, alta saturação de Al e baixo teor de Ca, Mg, K e P (MAR et al., 2022). Um agravamento desta condição é estabelecido quando as adubações ocorrem de maneira concentrada na região do bulbo molhado do gotejamento (LAURINDO, 2005).

O manejo inadequado da fertirrigação pode ocasionar perdas de nutrientes, contaminação do solo e água, desequilíbrio na CTC do solo, acelerar os processos de salinização além de aumentar os custos de produção, visto que a adubação é correlacionada aos maiores custos de produção no cafeeiro. Buscando minimizar estes impactos, objetivou-se acompanhar a dinâmica temporal dos atributos químicos do solo e elaborar novos direcionamentos de práticas que contribuam para otimizar o manejo e uso da fertirrigação no cafeeiro conilon promovendo, maior eficiência e sustentabilidade do cultivo.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

Os procedimentos de experimentação seguem o material e métodos propostos na apresentação deste estudo. Nesta seção serão abordados apenas os procedimentos específicos para obtenção das variáveis relacionadas aos atributos químicos do solo e métodos de análise estatística explorados.

### **2.1. Preparo das amostras e determinação dos atributos químicos do solo**

Para monitorar quaisquer alterações nos atributos químicos do solo, a cada quatro meses foram realizadas coletas na profundidade de 0 a 20 cm. Para formação de uma amostra

composta, foram realizadas coletas em três pontos distintos de cada parcela experimental, sempre na região do bulbo molhado, próximo ao gotejador. O solo foi encaminhado ao laboratório de solos do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Procedeu-se com o preparo das amostras e leitura dos atributos seguindo os respectivos métodos pressupostos por Teixeira et al. (2017), conforme visto na Figura 14.



**Figura 14.** Preparo das amostras e métodos aplicados para extração dos atributos químicos do solo.

A e B: secagem e destorroamento para obtenção da TFSA (< 2mm); C: quantificação do volume do solo utilizando cachimbo e deposição em erlenmeyers; D: coleta do sobrenadante após um período de 12h de repouso da agitação horizontal circular; E: filtragem da solução; F: determinação dos teores de K em espectrofotometria de chama e G: determinação de Ca e Mg espectrometria de absorção atômica.

Foram determinados os atributos de pH, teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e sódio (Na), alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ), acidez potencial (H+Al). Os demais atributos como soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (t), capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T), saturação por bases (V%); saturação de alumínio (m); e as relações entre as bases Ca:Mg, Ca:K, Mg:K e suas respectivas ocupações (%) na CTC, foram obtidas por meio das relações matemáticas estabelecidas em Prezotti et al. (2007). Os resultados da avaliação inicial estão dispostos na Tabela 5.

**Tabela 5.** Caracterização química e física do Latossolo Vermelho amarelo distrófico na camada de 0-20 cm.

Característica	Método	Valores
pH	Relação 1:2,5 H <sub>2</sub> O	5,25
P (mg/dm <sup>3</sup> )	Extrator Mehlich-1	15,21
K (mg/dm <sup>3</sup> )		91,11
Ca (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	Extrator KCL – mol L <sup>-1</sup>	1,13
Mg (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )		0,31
Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )		0,12
H+Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	SMP	2,50
S.B (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )		1,67
CTC (t) (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )		1,79
CTC (T) (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )		4,17
V (%)		40,05
m (%)		6,70
% K CTC		5,59
% Ca CTC		27,10
% Mg CTC		7,43
% Al CTC		2,88
% H CTC		57,07
MO (dag/Kg)	Colorimetria	0,96
P-rem (mg/L)		30,66
Areia (%)		57,50
Silte (%)	Método da pipeta	10,90
Argila (%)		31,60
Densidade do solo (kg/dm <sup>3</sup> )	Método da proveta	1,33

Para explorar a significância dos tratamentos, utilizou-se as amostras de solo coletadas no mês de novembro 2022, de acordo com as recomendações de França Neto (2016) e Embrapa (2022). Neste período os grãos estão na fase de chumbinhos, marcando o início da granação, uma das fases críticas na fenologia do cafeeiro.

## 2.2. Análise estatística

Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância ( $p \leq 0,05$ ) em esquema de parcela subdividida, testando a significância da interação entre os níveis do fator doses de adubação e formas de aplicação de fertilizantes. Quando significativo o teste F, foi utilizado o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) para comparação de médias dos fatores qualitativos. Para o fator quantitativo foi utilizado análise de regressão. Os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t de Student, ao nível de 5% de probabilidade e pelo coeficiente de determinação, utilizando-se o Software SAEG, versão 9.1.



Posteriormente, com os atributos químicos do solo aplicou-se estimativas de correlação pelo método de Pearson, com teste t para avaliar a significância em nível de 5% (\*) de probabilidade. Para verificar a dispersão destas variáveis e suas associações com os tratamentos foi realizada uma análise de componentes principais (ACP).

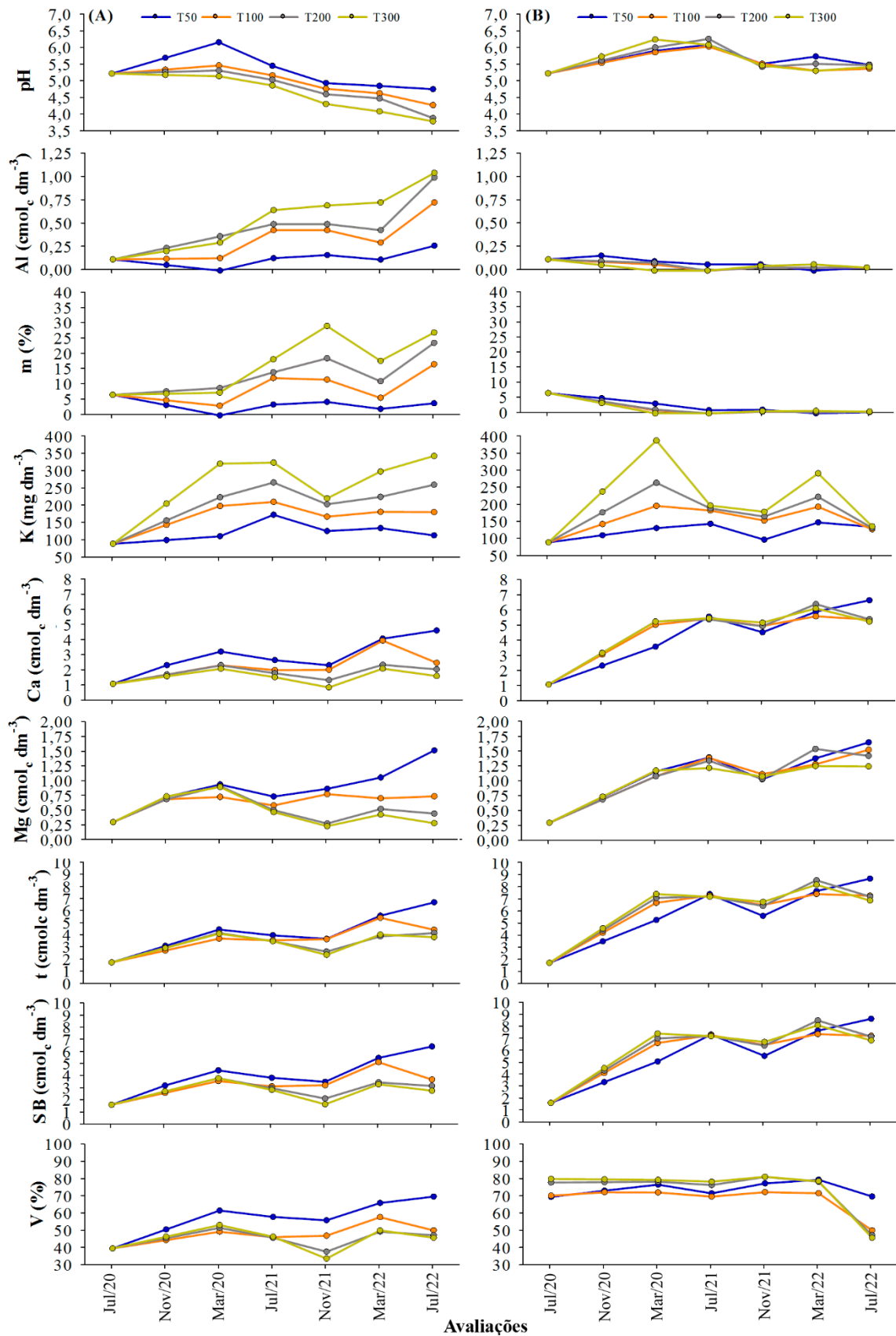
### **3. RESULTADOS**

#### **3.1. Modificações dos atributos químicos do solo ao longo do tempo**

Os gráficos contidos na Figura 16 representam o comportamento dos atributos químicos do solo ao longo do tempo para o fator formas de aplicação de fertilizantes, sendo na Figura 16A o nível fertirrigado e Figura 16B o nível adubação convencional, para os fatores doses de adubação. A primeira coleta de dados foi efetuada no dia 01/07/2020, marcando o início do primeiro ciclo produtivo, com posteriores avaliações equidistantes em 120 dias, sendo por seguinte, o início do segundo ciclo produtivo na quarta avaliação dia 01/08/2021.

Ocorreram flutuações na concentração de nutrientes no solo ao longo do ano, as quais foram associadas, principalmente, a fatores relacionados à demanda nutricional do cafeeiro e, distribuição das doses de fertilizantes. A análise ao longo do tempo permitiu caracterizar comportamentos resultantes do efeito dos tratamentos (Figura 15).

Os resultados permitiram estabelecer alguns padrões associados principalmente a forma de aplicação de fertilizantes, contudo as doses de modo direto ou indireto também resultaram em modificações na dinâmica dos atributos do solo.



**Figura 15.** Variabilidade dos atributos químicos do solo ao longo do tempo, conduzidos sob diferentes doses de adubação e formas de aplicação de fertilizantes.

A e B: representação das parcelas fertirrigadas e com adubação convencional, respectivamente.

No fator formas de aplicação, houve uma tendência de acidificação do solo nas parcelas fertirrigadas (Figura 15A), resultado estreitamente associado ao aumento na concentração de  $\text{Al}^{3+}$  e m (%), sendo a intensidade dessa resposta proporcional ao aumento das doses de fertilizantes. De acordo com aumento das doses também ocorreram decréscimos nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , com conseqüente redução da SB, V% e t. Em contraste, de forma prevista, os níveis de  $\text{K}^+$  apresentaram aumento proporcional a intensificação das doses de fertilizantes.

Com exceção do  $\text{K}^+$ , que seguiu uma tendência proporcional a dose utilizada, as demais variáveis anteriormente citadas não apresentaram modificações relevantes ao longo do tempo nas parcelas com adubação convencional (Figura 15B). Leves alterações ocorreram na fase final, onde houve aumento dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  para NK50 e NK100, e nos componentes de base.

### 3.2. Efeito dos tratamentos sobre os atributos químicos do solo

Houve interação significativa entre os fatores para todas as variáveis em estudo (Tabela 6), possibilitando o estudo dos níveis dos efeitos dos fatores entre si.

**Tabela 6.** Comparação de médias entre os níveis do fator formas de aplicação e níveis do fator doses de adubação com N e  $\text{K}_2\text{O}$  para os atributos químicos do solo.

Variáveis	Método de aplicação	Doses de NK			
		NK50	NK100	NK200	NK300
pH	Fertirrigado	4,96 aB	4,79 abB	4,62 bB	4,33 bB
	Convencional	5,54 aA	5,54 aA	5,45 aA	5,49 aA
Al	Fertirrigado	0,16 cA	0,43 bA	0,50 bA	0,70 aA
	Convencional	0,06 aA	0,03 aB	0,03 aB	0,05 aB
K	Fertirrigado	127,65 cA	169,33 bA	205,53 aA	222,53 aA
	Convencional	98,54 bB	154,90 aA	166,86 aB	180,72 aB
Ca	Fertirrigado	2,37 aB	2,06 aB	1,37 bB	0,90 bB
	Convencional	4,59 aA	5,01 aA	4,99 aA	5,23 aA
Mg	Fertirrigado	0,87 aB	0,78 aB	0,29 bB	0,24 bB
	Convencional	1,04 aA	1,13 aA	1,05 aA	1,08 aA
SB	Fertirrigado	3,57 aB	3,28 aB	2,19 bB	1,71 bB
	Convencional	5,62 bA	6,64 aA	6,47 aA	6,79 aA
t	Fertirrigado	3,73 aB	3,71 aB	2,69 bB	2,41 bB
	Convencional	5,68 bA	6,57 aA	6,51 aA	6,84 aA
V	Fertirrigado	56,36 aB	47,49 bB	38,23 cB	34,16 cB
	Convencional	72,06 bA	70,17 bA	76,86 aA	78,34 aA

As médias seguidas por uma mesma letra minúscula na linha e maiúscula entre colunas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Estatisticamente, podemos inferir que as parcelas submetidas a fertirrigação obtiveram menores valores de pH e CTC efetiva e maiores de alumínio quando comparado a adubação convencional. Além disso, as parcelas fertirrigadas também apresentaram menores valores de SB e V%, as quais foram diretamente associadas à redução na concentração de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ . Significativamente a fertirrigação condicionou acúmulos progressivos de  $\text{K}^+$ .

Proporcionalmente este padrão também se aplica entre as doses nas parcelas fertirrigadas. Em função da aplicação de maiores doses de fertilizantes, observou-se uma redução do pH,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , SB, t e saturação de bases, enquanto houve aumentos nos teores de  $\text{Al}^{3+}$  e proporcionalmente de  $\text{K}^+$ . Para a adubação convencional houve uma diferença estatística de NK50 relacionada ao  $\text{K}^+$ , com alterações subsequentes na SB, t e V%. Para as demais características não houve diferença estatística.

### 3.3 Modelos ajustados de regressão

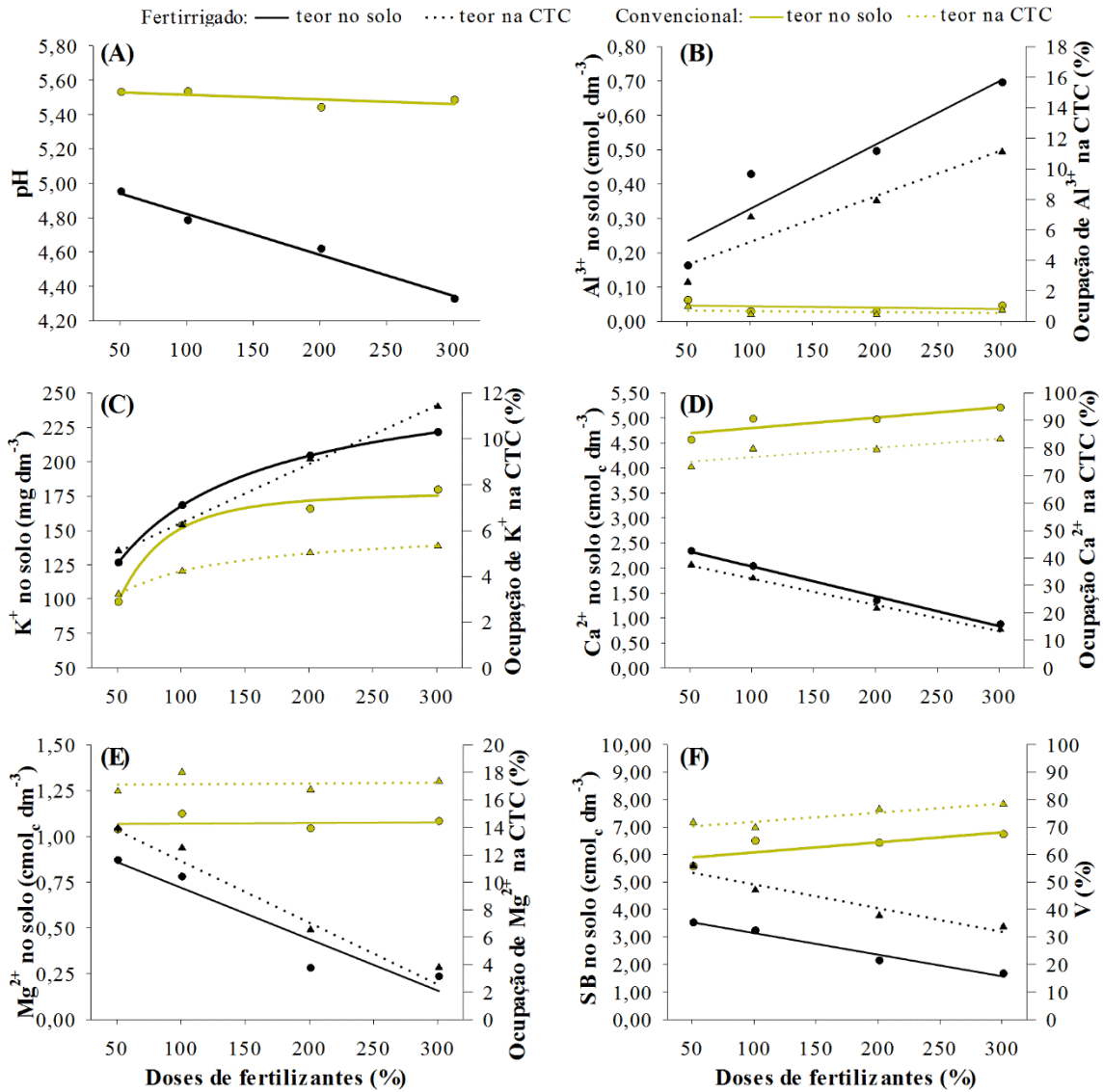
As modificações dos atributos no solo resultante dos métodos de aplicação podem ser explicadas em termos quantitativos por análise de regressão. Nesta investigação, as parcelas fertirrigadas apresentam respostas significativas quanto ao uso das doses de fertilizantes. Já o método de aplicação convencional não apresentou efeito significativo (Tabela 7).

**Tabela 7.** Modelo de regressão dos atributos químicos do solo submetidos a diferentes formas de aplicação de fertilizantes e doses de adubação com N e  $\text{K}_2\text{O}$ .

Atributos		Fertirrigado	Convencional
pH		$\hat{Y} = 2,64 - 0,006\text{DF}; R^2 = 0,99$	$\hat{Y} = \bar{Y}$
$\text{Al}^{3+}$	Solo ( $\text{cmolc dm}^{-3}$ )	$\hat{Y} = 0,14 - 0,001\text{DF}; R^2 = 0,94$	$\hat{Y} = \bar{Y}$
	CTC (%)	$\hat{Y} = 2,32 - 0,03\text{DF}; R^2 = 0,94$	$\hat{Y} = \bar{Y}$
$\text{Ca}^{2+}$	Solo ( $\text{cmolc dm}^{-3}$ )	$\hat{Y} = 2,64 - 0,006\text{DF}; R^2 = 0,99$	$\hat{Y} = \bar{Y}$
	CTC (%)	$\hat{Y} = 4,62 + 0,002\text{DF}; R^2 = 0,86$	$\hat{Y} = \bar{Y}$
$\text{Mg}^{2+}$	Solo ( $\text{cmolc dm}^{-3}$ )	$\hat{Y} = 1,00 - 0,003\text{DF}; R^2 = 0,94$	$\hat{Y} = \bar{Y}$
	CTC (%)	$\hat{Y} = 16,07 - 0,03\text{DF}; R^2 = 0,94$	$\hat{Y} = \bar{Y}$
SB		$\hat{Y} = 3,96 - 0,007\text{DF}; R^2 = 0,98$	$\hat{Y} = \bar{Y}$
V%		$\hat{Y} = 58,06 - 0,08\text{DF}; R^2 = 0,98$	$\hat{Y} = \bar{Y}$

Na fertirrigação o pH do solo teve decréscimo linear em função do aumento das doses, partindo de um valor de 4,96 em NK50 e atingindo 4,33 em NK300, uma redução próxima a 13% (Figura 16A). Inversamente, o processo de acidificação resultou em acréscimo linear do  $\text{Al}^{3+}$ , (Figura 16B) partindo de  $0,16 \text{ cmolc dm}^{-3}$  (NK50) até  $0,7 \text{ cmolc dm}^{-3}$  (NK300), saturando

a CTC em até 11,90%. Em relação ao método de aplicação convencional não houve significância dos coeficientes de regressão para estas variáveis.



**Figura 16.** Comportamento dos atributos químicos no solo e na CTC em função de diferentes doses de fertilizantes de N e K<sub>2</sub>O e formas de aplicação, fertirrigado e convencional.

Em relação ao K<sup>+</sup> (Figura 16C), incrementos positivos, porém não lineares foram ajustados a um modelo sigmoidal, para ambos os métodos de aplicação de fertilizantes. Conforme a explicação logística do modelo, verificou-se a existência de uma fase inicial onde ocorreram aumentos exponenciais do nutriente no solo (NK50 e NK100). A partir de NK100 iniciou-se uma fase de transição e a partir de NK200, foi estabelecido um comportamento de linearidade onde os ganhos não são significantes. Vale ressaltar que a fertirrigação apresentou resultados superiores em até 28% em relação a NK100 convencional. Esta significância é ainda mais

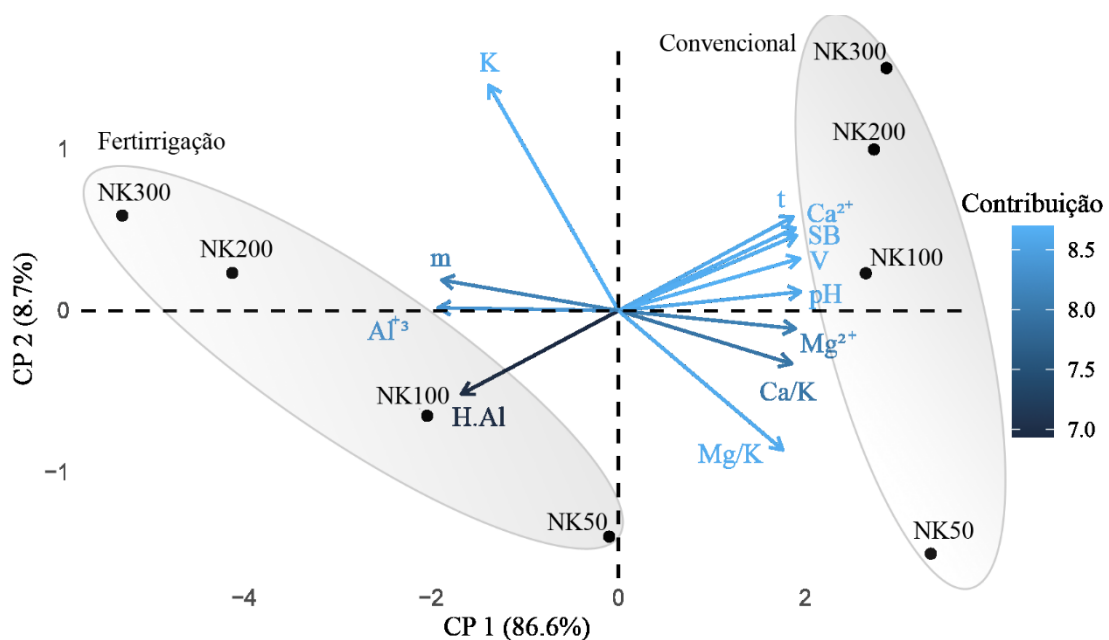
expressiva na ocupação da CTC, onde desenvolveu-se um aspecto linear, cabendo ressaltar que a manutenção deste comportamento poderia ocasionar alterações na dinâmica e equilíbrio de demais nutrientes componentes das bases no sistema.

Em relação a dinâmica do  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , SB e V% (Figura 16C, 16D e 16E respectivamente), ocorreu decréscimo linear das variáveis de acordo com o aumento das doses de N e  $\text{K}_2\text{O}$ . A concentração inicial de  $\text{Ca}^{2+}$  na CTC foi de 37,88%, reduzindo linearmente para 32,98, 21,97 e 14,37% em NK100, NK200, NK300 respectivamente.

Para o  $\text{Mg}^{2+}$  houve uma redução de até 72,30% do valor inicial ( $0,87 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  em NK50 para  $0,24 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  em NK300). Consequentemente, estes comportamentos impactaram a dinâmica da SB provocando um decréscimo linear de 3,57 para 1,71%; e em V% de 56,35 para 34,16% para NK50 até N300, respectivamente.

### 3.4. Análise de componentes principais e correlação das variáveis

Na Figura 17 são apresentados os *biplots* da análise de componentes principais e a associação entre as características químicas do solo testadas e os tratamentos aplicados. Os dois primeiros componentes permitem explicar 95,3% da variabilidade, logo, por explicar grande parte da variação total dos dados, é possível gerar conclusões seguras sobre o comportamento das variáveis (FERREIRA, 2018).



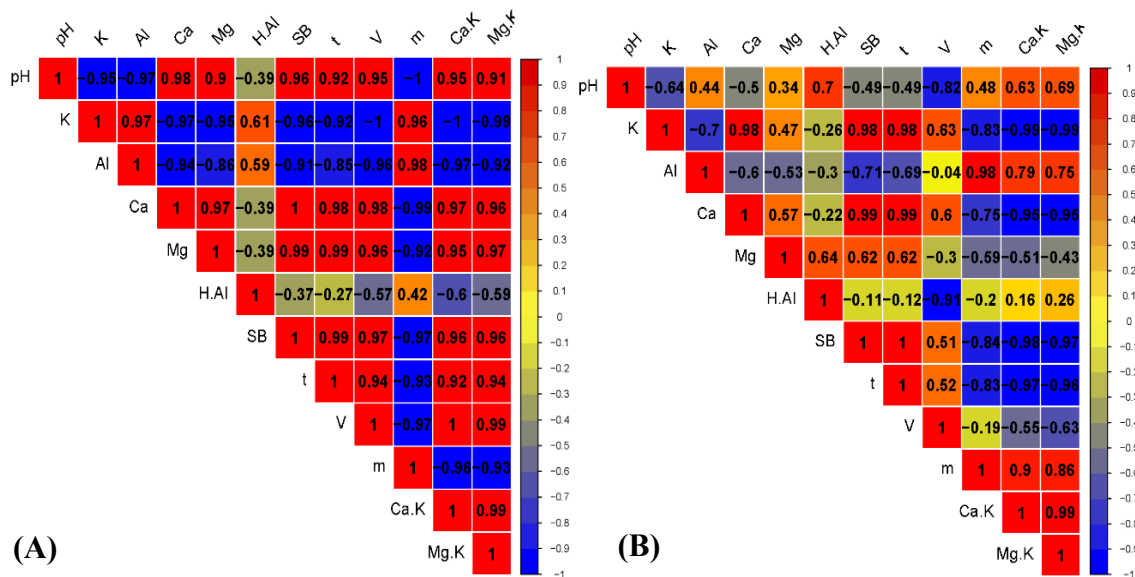
**Figura 17.** Análise de componentes principais utilizando as características químicas do solo com projeção das variáveis dos tratamentos em estudo.

Os tratamentos apresentaram comportamentos dissimilares, os quais variaram principalmente em função dos métodos de fertilização. Foi possível discriminar dois grandes grupos inversamente correlacionados.

O primeiro agrupamento foi composto pelas parcelas fertirrigadas NK50, NK100, NK200 e NK300. De forma positiva, todos os níveis foram diretamente associados à variável  $K^+$ , mostrando uma tendência de maior eficiência do uso do cloreto de potássio. Contudo, todas as parcelas fertirrigadas também apresentaram uma associação com características de acidez, tais como  $Al^{3+}$ , H+Al e m. Este fato pode ser facilmente compreendido dada a associação inversa entre o pH e os componentes de bases do solo conforme foi apresentado também na Figura 17. Esta tendência segue de acordo com aumento na dose de fertilizante utilizada.

O segundo agrupamento foi composto pelas parcelas submetidas à adubação convencional, também compreendendo as doses NK50, NK100, NK200 e NK300. Este agrupamento apresentou um comportamento inversamente proporcional ao grupo anterior, em que ocorreu uma baixa associação com os atributos de acidez do solo. Consequentemente houve maior grau de correlação com pH, t, SB, Mg, Ca, V% e as relações Ca/K e Mg/K. Neste agrupamento, as doses estiveram proximamente associadas entre si.

Devido a estreita associação entre as variáveis, procedeu-se estimativas de correlação de Pearson, apresentadas na Figura 18. O grau de correlação foi representado com escala de cor e a significância foi verificada pelo teste t ao nível de 5% probabilidade (\*).



**Figura 18.** Correlação de Pearson dos atributos químicos do solo para as parcelas fertirrigadas (A) e para as parcelas conduzidas com adubação convencional (B), seguidas pelo nível de correlação entre as variáveis.

Para ambas as formas de aplicação o  $\text{Al}^{3+}$  apresentou correlação negativa com saturação de bases (-0,96\*) e relação Ca/Mg (-0,97\*).

Entretanto, comportamentos dissimilares podem ser explorados para os métodos de fertilização empregados. Nas parcelas fertirrigadas (Figura 18A), o pH foi correlacionado negativamente com o  $\text{Al}^{3+}$  (-0,97\*), com a m (-1,0\*) e a concentração de  $\text{K}^+$  (-0,98\*). Inversamente, houve uma associação positiva com o  $\text{Ca}^{2+}$  (0,98\*), a SB (0,96\*) e V% (0,95\*) respectivamente. Para as parcelas manejadas com adubação convencional não ocorreram correlações estatisticamente significativas para as variáveis descritas (Figura 18B).

De fato, as parcelas fertirrigadas estão submetidas a alterações significativas na dinâmica das bases no solo. Com intensificação da adubação, aumentou-se a disponibilidade de  $\text{K}^+$ , processo que levou a uma correlação positiva com  $\text{Al}^{3+}$  e m (0,97\* e 0,96\*), e correlação negativa para as bases do solo e relações Ca/K e Mg/K (-0,96\* a -1,0\*). Em contraste nas parcelas adubadas convencionalmente ocorreram correlações positivas com os componentes de base, porém negativa para as relações Ca/K e Mg/K.

Para os íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  nas parcelas fertirrigadas além da correlação direta entre si (0,97\*), ambos foram positivamente relacionados as variáveis SB; V%, t, Ca/K, Mg/K (entre 0,96\* a 0,99\*) e inversamente a m (-0,99\*). Na adubação convencional, o  $\text{Mg}^{2+}$  não apresentou correlações significativas, apenas o  $\text{Ca}^{2+}$  foi associado positivamente à SB e t (0,99\*) e, inversamente a Ca/K (-0,95\*).

Esta dinâmica nas bases dos solos fertirrigados é novamente confirmada com correlações positivas da SB com t (0,99\*), V% (0,97\*), Ca/K e Mg/K (0,96\*) e, negativa para m (-0,97\*). O comportamento da SB nas parcelas convencionais seguiu uma correlação positiva em t (1,0\*), entretanto, inversamente correlacionada com as relações Ca/K e Mg/K (-0,98 e -0,97\*).

Por fim, a CTC efetiva (t) apresentou significância apenas na correlação negativa com Ca/K e Mg/K (-0,98\* e -0,97\*), nas parcelas convencionais. Nas fertirrigadas, somente a V% foi correlacionada negativamente com a m (-0,97\*) e positivamente com as relações de Ca/K (1,0\*) e Mg/K em (0,99\*).

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1. Modificações nos atributos químicos do solo ao longo do tempo

Analisando as variáveis ilustradas na Figura 16 foi possível observar flutuações sazonais na concentração das características químicas. Estas variações são resultantes da alta dinâmica



temporal do espaço agrícola, estreitamente associado com clima, com a cultura e, de modo peculiar neste experimento, com a adoção de diferentes estratégias nutricionais.

Nota-se que o método de aplicação de fertilizantes induziu alterações marcantes sobre o comportamento das propriedades químicas do solo. Os sistemas fertirrigados apresentaram maior capacidade de promover um ambiente de alta volatilidade quanto aos atributos químicos, uma resposta associada, principalmente pela rápida e contínua incorporação dos fertilizantes. De fato, é esperado maior eficiência no uso dos insumos, porém, interferências frequentes na concentração, constituição e equilíbrio nutricional da solução do solo facultam a geração de ambiente altamente dinâmico. Ademais, o potencial produtivo entre os tratamentos surge como um fator marcante nesta flutuação.

Para ambos os métodos de aplicação a elevação do pH e dos parâmetros químicos inerentes às bases trocáveis no solo (Ca, Mg, SB e, V%) ocorreram devido a ação efetiva da calagem (CAIRES et al., 2005) realizada no início do experimento. A prática aumenta a concentração e a atividade de íons OH em solução, precipitando  $Al^{3+}$  (ALLEONI et al., 2010), proporcionando incrementos da CTC efetiva (t), que diretamente aumentam a retenção de cátions como  $K^+$ , de forma proporcional a dose disponibilizada.

É importante ressaltar que o calcário tem velocidade de reação progressiva, a qual dependente da disponibilidade de água (SOUZA et al., 2007), da combinação de atributos químico-físicos da rocha (JONES; MALLARINO, 2018; SORATTO et al., 2018), quantidade e tempo de reação (CAIRES et al., 2000; MELLO et al., 2003). Desta maneira, ao longo do intervalo entre primeira e segunda avaliação, 120 dias, foi possível observar diferentes magnitudes de respostas provenientes da interação entre o efeito da calagem e as doses de adubação. Dentre estas, ressalta-se o padrão inversamente proporcional para o manejo fertirrigado, na qual houve maior redução do pH,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , SB, V em função do aumento doses de adubação, que por consequência, proporcionalmente diferiram na saturação e concentração de  $Al^{3+}$ .

A quarta avaliação marcou o início do segundo ciclo produtivo. Nesta fase, foi perceptível a consolidação no padrão de resposta das variáveis entre os métodos de aplicação, assim como as modificações decorrentes do uso de diferentes doses. O novo aumento dos componentes de bases, concentração de  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  e da CTC efetiva entre a quarta e quinta avaliação é decorrente do processo de calagem. Contudo, é evidente que o corretivo não atende, em termos quantitativos, às necessidades de todos os tratamentos, sobretudo aqueles que apresentaram maiores índices de produtividade, como os tratamentos de NK100, NK200 e NK300 fertirrigados.

Em contraste, as variáveis do solo apresentaram menor dinâmica ou até mesmo ausência de diferença dos atributos entre si em função das doses, quando adotado o manejo convencional (Figura 16B). Para uma mesma dosagem a calagem foi satisfatoriamente eficiente, promovendo efetiva neutralização dos efeitos tóxicos do  $Al^{3+}$  e manutenção em valores adequados de pH. Como resposta imediata, houve aumento crescente nas concentrações disponíveis de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  e, proporcionalmente, de  $K^+$ . As diferenciações, quando aferidas, discriminaram uma leve redução das bases, seguidas ao aumento das características relacionadas a acidez, nas maiores doses dos fertilizantes (NK200 e NK300).

Efetivamente, cultivos fertirrigados favorecem o pleno desenvolvimento e produção das plantas, dessarte maiores produtividades são esperadas. Assim como é de amplo entendimento que a fertirrigação acelera o ciclo dos nutrientes, pois diferente do método convencional, independe de chuvas e demais fatores climáticos que afetam a eficiência de aplicação dos fertilizantes (COELHO et al., 2011). Além disso, o aporte gradual e contínuo de nutrientes com base em sua taxa de absorção (DOBERMANN, 2007) aumenta a disponibilidade e eficiência no uso dos fertilizantes, resultando em maiores taxas de crescimento e de produtividade.

Logo, as alterações dos atributos químicos do solo podem ser pautadas pela correlação direta entre o potencial produtivo das plantas resultante da estratégia nutricional que serão discutidas em detalhes no tópico subsequente.

#### **4.2 Avaliação qualitativa e quantitativa dos atributos químicos no período de enchimento de grãos**

A investigação na dinâmica dos nutrientes no solo na fase de granação de frutos (Tabela 06) revela características marcantes sobre as estratégias nutricionais. Na comparação entre os níveis do fator método de aplicação, todos os atributos relacionados a acidez do solo, como pH,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , SB, V% e t foram estatisticamente menores nas parcelas fertirrigadas, facilitando a ocupação das cargas negativas por cátions ácidos ( $H^+$  e  $Al^{3+}$ ) e íon  $K^+$  pela alta concentração em solução (PREZZOTTI et al., 2017).

Esta resposta possibilita confirmar que o manejo via fertirrigação condiciona o solo a um processo de acidificação. Esta estreita relação está vinculada ao potencial produtivo dos tratamentos fertirrigados, hipótese que corrobora com investigações conduzidas por França Neto (2016) para café conilon, onde foram encontrados valores menores de pH nos tratamentos com maiores médias de produção.

Fisiologicamente, um grande fator inerente ao processo de acidificação parece estar relacionado com o metabolismo da planta. Os grãos de café são fortes drenos, esta parte reprodutiva demanda uma alocação muito superior quando comparada a parte de crescimento vegetativo (VAAST et al., 2005; DAMATTA et al., 2008). O elevado consumo de fotossintetizados estimula o vegetal a maiores taxas fotossintéticas e conseqüentemente potencializando a absorção de nutrientes (VAAST et al., 2006).

O processo de acidificação é resultante proporcional da capacidade de remoção dos cátions básicos como  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  (PREZZOTTI et al., 2017). Conseqüentemente, cultivos agrícolas de alto rendimento demandam maior quantidade de nutrientes para suprir suas demandas metabólicas, assim como a elevada exigência requerida na exportação para os frutos pré-colheita (SOUZA et al., 2007).

Em termos de metabolismo, e interação solo-planta, o processo de acidificação ocorre a fim de manter o balanço na absorção iônica, o qual é resultante da maior remoção de cátions básicos. Desta forma, espera-se que a maior extrusão de prótons ( $H^+$ ) pelas raízes aumente a acidez do solo (PREZZOTTI et al., 2017) e nas formas trocáveis de  $H^+$  e  $Al^{3+}$  no complexo sortivo, favorecendo aumento destes íons na solução (SOUZA et al., 2007).

Esta argumentação consolida-se pela mesma tendência de acidificação do solo e remoção de bases em função do aumento das doses utilizadas em fertirrigação, diferindo-se estatisticamente entre si. Neste aspecto devemos pautar a maior demanda fisiológica como uma resposta positiva dos tratamentos fertirrigados ao aumento das doses de adubação, neste primeiro momento a alta disponibilidade de nitrogênio no solo.

O cafeeiro conilon apresenta um grande potencial produtivo, conseqüentemente, possui alta exigência nutricional (ROSADO et al., 2020). Dentre os nutrientes, o nitrogênio, é o mais exigido e o mais limitante para expansão foliar e crescimento vegetativo (MARTINS et al., 2015), existindo uma conhecida correlação positiva dos caracteres vegetativos e a produtividade do cafeeiro (CARVALHO et al., 2010).

O cafeeiro conilon apresenta baixo crescimento devido à ausência de N, sendo um dos principais fatores também limitantes a produtividade dos cafezais brasileiros (CLEMENTE et al., 2013; COLODETTI et al., 2014). O nutriente tem importância em diversos níveis e funções do metabolismo celular pois é essencial na síntese de diversas biomoléculas como aminoácidos, proteínas, ácidos nucléicos, clorofila, trifosfato de adenosina, ácido indol acético, coenzimas como NAD e NADP e vitaminas B (TAIZ et al., 2017). Sua ausência rapidamente inibe o crescimento vegetal, principalmente devido às limitações diretas no processo fotossintético (REIS et al., 2006).

Fisiologicamente as inflorescências do cafeeiro são formadas nas axilas das folhas dos ramos plagiotrópicos crescidos na estação anterior e produzem apenas uma única vez (RENA; MAESTRI, 1985). Portanto, quanto maior o crescimento dos ramos primários, maior será o potencial produtivo no ano seguinte (SOUZA et al., 2013). Assim, estabelece-se uma clara relação fisiológica onde a disponibilidade de N aumenta a força dos drenos.

Além dos efeitos induzidos pela maior produtividade, a tendência de acidificação e remoção de bases também está relacionada às características do fertilizante do manejo nitrogenado (TKACZYK et al., 2020). A ureia é o fertilizante sólido mais comercializado no mundo (CANTARELLA, 2007), e possui dentre outras características um ótimo custo por unidade de N e alta solubilidade. Apesar disto, perdas de nitrogênio por volatilização da amônia ao se aplicar ureia convencional tem sido relatada em grau de 50 a 70% (TASCA et al., 2011; NAZ e SULAIMAN, 2016). Já pensando na incorporação dos fertilizantes, segundo Fullin e Torezani (2007), é possível atingir aproveitamentos superiores a 80% na adubação com N e K via fertirrigação.

Após sua incorporação ao solo a ureia sofre hidrólise, onde há formação de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) (CASCALDI, 2017), o qual pode ser imediatamente absorvido por um sistema que requer a extrusão de  $\text{H}^+$  para manter o equilíbrio eletroquímico ou sofrer nitrificação, levando a formação de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e íons de hidrogênio ( $\text{H}^+$ ) como produtos finais da reação (KRAJEWSKA, 2017). Como pode-se observar em ambos os casos haverá aumento na concentração de prótons  $\text{H}^+$  na solução do solo, tendendo assim um processo contínuo de acidificação do meio proporcional a quantidade disponível da forma química. Já com relação à presença do potássio, pouca influência pode lhe ser atribuída na modificação dos níveis de pH do solo (SOUZA et al., 2007).

Em contrapartida, a eficiência da adubação convencional é dependente de fatores ambientais. Sua aplicação é preditadamente realizada antes de chuvas, sob superfície e sem incorporação. Devido sua dinâmica no solo os fertilizantes aplicados por este método estão diretamente sujeitos a perdas por volatilização, lixiviação, desnitrificação e erosão (ROSADO et al., 2021). As características como a alta solubilidade e o caráter não iônico e a fracamente adsorção aos colóides contribuem para o processo (RESENDE, 2002).

Conforme também observado por Magiero et al. (2017), o uso da fertirrigação permite maior incorporação e aproveitamento de N pelas plantas quando comparado ao manejo convencional. Esta intensificação do manejo nitrogenado proporciona uma condição para maiores rendimentos, atribui a ureia uma excelente opção para uso em fertirrigação, porém, existe um

grande potencial de acidificação é alto para culturas que recebem altas doses de N em adubações localizadas (SOUZA et al., 2007), além da alta remoção de bases.

Não é possível afirmar de forma exata o grau de eficiência das adubações convencionais, porém, aplicações de doses mais concentradas estão mais sujeitas a perdas. Além disto, as plantas deste tratamento permanecem por longos períodos sem fertilização, onde espera-se concentrações baixa de nutrientes no tecido durante a fase vegetativa, o que resultará em crescimento lento e prejuízos não reversíveis a produção (EPSTEIN et al., 2006).

Consequentemente, espera-se entre estes tratamentos menores taxas de remoção de bases e estabilidade do pH no tratamento convencional quando comparado com a fertirrigação. As modificações não são significativas ao ponto de provocar alterações nestes atributos, muito relacionado à produção similar entre os tratamentos. As práticas de calagem mesmo em único volume, foi suficiente para suprimir os níveis tóxicos de alumínio, fornece quantidades adequadas de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , resultando em uma maior SB, V% e t.

Este conceito é marcante para o cafeeiro. A exigência vai além de uma necessidade quantitativa, mas também deve ser considerada um emprego qualitativo, relativo à fonte utilizada e, principalmente, o parcelamento da adubação. Guimarães et al. (2010) demonstraram que o maior parcelamento ao longo do ciclo condicionou maior crescimento dos ramos produtivos do cafeeiro conilon. Sobreira et al. (2011) avaliaram diferentes doses de nitrogênio e potássio aplicados via fertirrigação e verificaram que o parcelamento em doze aplicações resultou em ganhos de 10 a 30% no crescimento. Magiero et al. (2017) relatam a necessidade de maiores parcelamentos conforme o aumento da dose de adubo aplicada, demonstrando que o maior crescimento para a dose de 60% foi obtida com 9 parcelamentos, enquanto para dose de 115% o maior crescimento é atingido com 15 parcelamentos, devido principalmente ao aumento na eficiência de utilização dos adubos pela cultura.

O potássio tem implicações fundamentais para a produção de grãos de café, especialmente na regulação da perda de água e enchimento e amadurecimento dos grãos (MARTINS et al., 2015). Neste aspecto, observa-se declínio nas curvas nas épocas de enchimentos, porém, de forma proporcional a dose utilizada no tratamento fertirrigado houve manutenção na concentração deste nutriente no solo, diferentemente do método convencional, onde ao final do experimento observou-se valores baixos do respectivo nutriente no solo.

De forma marcante mesmo com a redução das bases, foi observado aumento estatisticamente superior  $\text{K}^+$  no solo em relação ao convencional. Segundo Teixeira et al. (2001), existe uma possibilidade de relação entre o aumento progressivo de adubação potássica poder ocasionar redução das bases  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  no complexo de troca catiônica no solo. Entretanto, não é

possível estabelecer à proporção que possa ter decorrida por este processo, uma vez que a maior produção dos tratamentos fertirrigados também demandam doses expressivas destas bases. Novamente, não foi observada significância para aplicação via sistema convencional.

### 4.3. Análise de componentes principais e correlação

A soma dos cátions básicos, os valores de saturação por bases e acidez hidrolítica do solo refletem as interações entre as doses de fertilizante NK aplicadas (TKACZYK et al., 2020). A maior dinâmica nutricional no solo, resultante do uso de sistemas fertirrigado, exige a necessidade de um acompanhamento mais detalhado da concentração dos nutrientes, e suas relações no solo.

Algumas relações devem ser estabelecidas para elucidação dos resultados. Na Figura 19, o acúmulo de  $K^+$  positivamente está correlacionado a características de acidez. A fonte utilizada não apresenta tal característica, na verdade, o processo de acidificação está mais relacionado às doses de N. Segundo estudos conduzidos por Schroder et al. (2011), adubação nitrogenada reduz significativamente o pH do solo, os cátions de base trocáveis ( $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ ) e, inversamente, aumenta as concentrações de  $Al^{3+}$ . Estas correlações também foram discutidas em investigações conduzidas por Teixeira et al. (2001).

Por uma associação direta, entende-se que devido a maior eficiência da adubação nitrogenada, os sistemas fertirrigados apresentam maior teor de ureia utilizável e, assim, maior capacidade de acidificação do solo conforme associado na análise de componentes principais (Figura 18). De qualquer forma, a acidificação do meio, e a remoção de bases não podem causar redução na saturações por bases em valores abaixo de 60% (PREZOTTI et al., 2007), pois representa um risco à manutenção de produtividades elevadas no decorrer do tempo (TEIXEIRA et al., 2001).

Constata-se que o cafeeiro exige suprimento adequado de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , especialmente em áreas fertilizadas via fertirrigação, sendo a calagem insuficiente para atendimento da demanda gerada. Assim a perenidade produtiva pode ser comprometida em consequência do esgotamento das reservas de nutrientes ao longo do tempo (TEIXEIRA et al., 2001).

## 5. CONCLUSÕES

A fertilização via sistemas de fertirrigação condiciona um ambiente altamente dinâmico quanto ao comportamento dos atributos químicos do solo, indicando a necessidade de monitoramento periódico, visando à manutenção de condições satisfatórias para a produção.

Sistemas fertirrigados tendem a apresentar maior eficiência no uso de fertilizantes, aumentando satisfatoriamente o teor de K em função das doses aplicadas.

É esperado maior produtividade das parcelas fertirrigadas quando comparado ao método tradicional, o que resulta em maior remoção das bases e aumento na acidificação do solo.

O aumento das doses de fertilizantes no sistema convencional não resultou em aumento da produtividade entre NK100 e NK300. Já em fertirrigação as maiores doses promoveram incrementos significativos na produtividade, entretanto ocorreu aumento na acidez do solo, diminuição soma e saturação por bases, e da CTC efetiva.

## REFERÊNCIAS

- ALLEONI L. R. F.; CAMBRI MA, C. E. F.; GARBUIO F. J. Acidity and aluminum speciation as affected by surface liming in tropical no-till soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 74, n. 3, p. 1010-1017. 2010. <https://doi.org/10.2136/sssaj2009.0254>
- ANJOS, D. C.; HERNANDEZ, F. F. F.; COSTA, J. M. C.; CABALLERO, S. S. U.; MOREIRA, V. O. G. Fertilidade do solo, crescimento e qualidade de frutos do mamoeiro Tainung sob fertirrigação com potássio. **Revista Ciência Agronômica**. v. 46, n. 4, p. 774-785, 2015. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20150065>
- COVRE, A. M.; PARTELLI, F. L.; BONOMO, R.; TOMAZ, M. A.; RAMALHO, J. C. Impacts of water availability on macronutrients in fruit and leaves of conilon coffee. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 9, p. 1025-1037, 2018. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018000900006.20150065>
- BRAGANÇA, S. M.; PRIETO MARTINEZ, H. E.; LEITE, H. G.; SANTOS, L. P.; SEDIYAMA, C. S.; ALVAREZ V. V. H.; LANI, J. A. Accumulation of macronutrients for the conilon coffee tree. **Journal Plant Nutrition**, v. 3, n. 1, p. 103-120, 2008. <https://doi.org/10.1080/01904160701741990>
- CAIRES E. F.; ALLEONI L. R. F.; CAMBRI M. A.; BARTH G. Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. **Agronomy Journal**, v. 97, n. 3, p. 791-798, 2005. <https://doi.org/10.2134/agronj2004.0207>
- CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 161-169, 2000.
- COLODETTI, T. V.; RODRIGUES, W. N.; MARTINS, L. D.; TOMAZ, M. A. Tolerância diferencial entre genótipos de café conilon (*Coffea canephora*) à baixa disponibilidade de nitrogênio no solo. **Australian Journal of Crop Science**, v. 8, n. 12, p. 1648-1657. 2014.
- 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. Fertilidade do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.
- CLEMENTE, J. A.; MARTINEZ, H. E. P.; ALVES, L. C.; LARA, M. C. R. Effect of N and K doses in nutritive solution on growth, production and coffee bean size. **Revista Ceres**, v. 60, n. 2, p. 279-285, 2013.
- COVRE, A. M.; PARTELLI, F. L.; MAURI, A. L.; DIAS, M. A. Crescimento e desenvolvimento inicial de genótipos de café Conilon. **Revista Agro@ambiente**, v. 7, n. 2, p. 193-202, 2013
- DAMATTA, F. M.; CUNHA, R. L.; ANTUNES, W. C.; MARTINS, S. C.; ARAUJO, W. L.; FERNIE, A. R.; MORAES, G. A. In field-grown coffee trees source–sink manipulation alters photosynthetic rates, independently of carbon metabolism, via alterations in stomatal function. **New Phytologist**, v. 178, n. 2, p. 348-357, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02367.x>



FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. **Ameliorating soil acidity of tropical Oxisols by liming for sustainable crop production**. In: *Advances in Agronomy*, Elsevier, v. 99, p. 345-399. 2008. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)00407-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)00407-0)

FULLIN, E. A.; TOREZANI, E. G. **Fertirrigação**. In: *Manual de recomendação e calagem para o estado do Espírito Santo - 5º Aproximação*. Vitória-ES: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. p. 305p.

HAVLIN J. L. Soil: Fertility and Nutrient Management. Chaper 31, pg15. In: **Landscape and Land Capacity**, 2nd Edition, 56, 2020. Boca Raton, Taylor & Francis group. <https://doi.org/10.1201/9780429445552>

JONES, J. D.; MALLARINO, A. P. Influence of Source and Particle Size on Agricultural Limestone Efficiency at Increasing Soil pH. **Soil Science Society of America Journal**, v. 82, n. 1, 271–282, 2018. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.06.0207>

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. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2005.

MARTINS, L. D.; MACHADO, L. D. S.; TOMAZ, M. A., AMARAL, J. F. T. The nutritional efficiency of *Coffea spp*: A review. **African Journal of Biotechnology**, v. 14, n.9, p. 728-734. 2015. <https://doi.org/10.5897/AJB2014.14254>

MELLO, J. C. A.; VILLAS BÔAS, R. L.; LIMA, E. V.; CRUSCIOL, C. A. C.; BÜLL, L. T. Alterações nos atributos químicos de um latossolo distroférico decorrentes da granulometria e das doses de calcário em sistema plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 553-561, 2003.

NAZ, M. Y.; SULAIMAN, S. A. Slow release coating remedy for nitrogen loss from conventional urea: a review. **Journal of Controlled Release**, v. 225, n.1, p. 109-120, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jconrel.2016.01.037>

NOETZOLD, R.; SILVA, L.M.; SCHONINGER, E. L.; TOMÉ, P. C. D.; ALVES, M. C. Variabilidade espacial e temporal de atributos químicos do solo durante cinco safras. **Revista Brasileira de Geomática**, Curitiba, v. 6, n. 4, p. 328-345, 2018.

PARTELLI, F. L.; ESPINDULA, M. C.; MARRÉ, W. B.; VIEIRA, H. D. Dry matter and macronutrient accumulation in fruits of Conilon coffee with different ripening cycles. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 214- 222, 2014.

REIS, A. R.; FURLANI JUNIOR, E.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M. Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, 65:1. 2006. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052006000100021>

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; FERNANDES, A. M.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; VITTI, G. C. Reactivity of sedimentary and metamorphic limestones of different particle sizes under controlled conditions. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 1–10. 2019. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1566920>

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; Almeida J. A. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** (5th ed., p. 187). Rio de Janeiro: Embrapa. 2018.

SCHRODER, J. L.; ZHANG, H.; GIRMA, K.; RAUN, W. R.; PENN, C. J.; PAYTON, M. E. Soil acidification from long-term use of nitrogen fertilizers on winter wheat. **Soil Science Society of America Journal**, v. 75, n. 3, p. 957, 2011. <https://doi.org/10.2136/sssaj2010.0187>

SOBREIRA, F. M.; GUIMARÃES, R. J.; COLOMBO, A.; SCALCO, M. S.; CARVALHO, J. G. Adubação nitrogenada e potássica de cafeeiro fertirrigado na fase de formação, em plantio adensado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 1, p. 9-16, 2011.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; FERNANDES, A. M.; CANTARELLA, H., QUAGGIO, J. A.; VITTI, G. C. Reactivity of sedimentary and metamorphic limestones of different particle sizes under controlled conditions. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 1–10.2019. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1566920>

SOUZA, T. R. 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.

TAIZ, L.; ZEIGER, I.M.; MOLLER E.; A. MURPHY. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6ª ed. Sunderland: Sinauer Associates. 2017.

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**. 35:493-502, 2011.

TEIXEIRA, L. A. J.; NATALE, W.; RUGGIERO, C. Alterações em alguns atributos químicos do solo decorrentes da irrigação e adubação nitrogenada e potássica em bananeira após dois ciclos de cultivo. **Revista Brasileira de Fruticultura**. 2001, v. 23, n. 3 pp. 684-689.2001 <https://doi.org/10.1590/S0100-29452001000300048>

TKACZYK, P.; MOCEK-PLÓCINIĄK, A.; SKOWROŃSKA, M.; BEDNAREK, W.; KUSMIERZ, S.; ZAWIERUCHA, E. The Mineral Fertilizer-Dependent Chemical Parameters of Soil Acidification under Field Conditions. **Sustentabilidade**. 2020, 12, 7165. <https://doi.org/10.3390/su12177165>

VAAST, P.; ANGRAND, J.; FRANCK, N.; DAUZAT, J.; GÉNARD, M. Fruit load and branch ring-barking affect carbon allocation and photosynthesis of leaf and fruit of *Coffea arabica* in the field. **Tree physiology**, v. 25, n. 6, p. 753-760, 2005. <https://doi.org/10.1093/treephys/25.6.753>

VAAST, P.; BERTRAND, B.; PERRIOT, J. J.; GUYOT, B.; GENARD, M. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, n. 2, p. 197-204, 2006. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2338>

VILLAS BÔAS, R. L.; BÜLL, L. T.; FERNANDES, D. **Fertilizantes em fertirrigação**. In: FOLEGATTI, M.V. (coord.). WORKSHOP DE FERTIRRIGAÇÃO, 1, 1999. Piracicaba. Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças. Guaíba: ed. Agropecuária, 1999, p 293-320.