

**GUSTAVO HENRIQUE DA SILVA**

**FERTIRRIGAÇÃO POTÁSSICA POR GOTEJAMENTO NO CULTIVO DA  
BATATA**

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

Orientador: Fernando França da Cunha  
Coorientador: Edson Marcio Mattiello

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S586f  
2022  
Silva, Gustavo Henrique da, 1993-  
Fertirrigação potássica por gotejamento no cultivo da batata  
/ Gustavo Henrique da Silva. – Viçosa, MG, 2022.  
1 tese eletrônica (70 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Fernando França da Cunha.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Engenharia Agrícola, 2022.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.423>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Fertirrigação. 2. Batata - Irrigação - Efeito do cloreto de potássio. 3. Irrigação por gotejamento. 4. *Solanum tuberosum*.  
I. Cunha, Fernando França da, 1980-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. III. Título.

CDD 22. ed. 631.587

Bibliotecário(a) responsável: Bruna Silva CRB6/2552

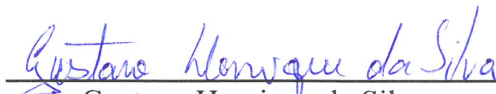
**GUSTAVO HENRIQUE DA SILVA**

**FERTIRRIGAÇÃO POTÁSSICA POR GOTEJAMENTO NO CULTIVO DA  
BATATA**

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

APROVADA: 23 de maio de 2022.

Assentimento:

  
Gustavo Henrique da Silva  
Autor

  
Fernando França da Cunha  
Orientador

Aos meus pais Vandis Virissimo da Silva  
e Luciene de Moraes Silva, aos meus irmãos  
Guilherme Henrique da Silva e Gabriel Vitor da  
Silva e ao Silvio Bueno Pereira.

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

A Deus por ter criado a vida.

À Universidade Federal de Viçosa, ao Departamento de Engenharia Agrícola, ao Departamento de Agronomia e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela excelência e qualidade de ensino, disponibilidade de infraestrutura e oportunidades oferecidas.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos, processo 164662/2018-9.

Ao meu orientador Professor Fernando França da Cunha pela amizade, confiança, auxílio nas dúvidas, dicas, soluções de problemas e oportunidades.

Ao meu coorientador Professor Edson Marcio Mattiello pelo auxílio nas dúvidas, dicas, soluções de problemas.

Ao professor Silvio Bueno Pereira (*in memoriam*) por ter sido meu orientador na iniciação científica, coorientador no mestrado e pelo incentivo a ingressar no doutorado. Saudades eterna!

Ao estudante de iniciação científica Leticia Fonseca pela ajuda e parceria na montagem e coleta de dados dos experimentos.

Aos estudantes de pós-graduação Elis Freitas, Joslanny Vieira, Bianca Bueno, Adelaide Cristielle, Fernanda Araujo e Professor João Pedro pela ajuda na instalação e coleta de dados dos experimentos.

Ao Alécio Pereira pela amizade, colaboração, conselhos e ajuda na coleta de dados com o equipamento IRGA.

Aos amigos do Grupo de Estudo e Soluções para Agricultura Irrigada (GESAI) Lucas Borges, Rodrigo Dal-Sasso, Santos Dias, Daniel Althoff, Robson Argolo, Igor Bonisenha, Luan Peroni, Roberto Filgueiras, Lucas Maltoni, Thallita Ferreira, Francisco Cássio, Diego Bispo, Jannaylton Santos, Silas Souza, Elvis Alves, Professora Catariny Aleman e Professor Everardo Mantovani pela amizade, conselhos e auxílio em dúvidas.

Aos funcionários da Universidade Federal de Viçosa, Antônio Ferreira zelador da Área de Irrigação e Drenagem, Vicente Firmino tratorista do Departamento em Engenharia Agrícola e Francisco Duarte técnico do Departamento de Agronomia amizade, colaboração, conselhos, auxílio e assistência na condução dos experimentos.

## **BIOGRAFIA**

Gustavo Henrique da Silva, filho de Vandis Virissimo da Silva e Luciene de Moraes Silva, nascido na cidade de Janaúba, no estado de Minas Gerais em 04 de agosto de 1993. Em 2010 concluiu o curso profissionalizante de Técnico em Agropecuária Integrado ao Ensino Médio no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais, IFNMG, Janaúba, MG. Em julho de 2016 graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG. Em julho de 2018 graduou-se em Mestre em Engenharia Agrícola na área de concentração em Recursos Hídricos e Ambientais também pela UFV. Em agosto de 2018 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em nível de Doutorado na área de concentração em Recursos Hídricos e Ambientais também pela UFV, submetendo-se à defesa de Tese em maio de 2022.

## RESUMO

SILVA, Gustavo Henrique da, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2022. **Fertirrigação potássica por gotejamento no cultivo da batata.** Orientador: Fernando França da Cunha. Coorientador: Edson Marcio Mattiello.

Água e nutrientes são recursos naturais de grande importância para a produção agrícola. A adoção conjunta de práticas e técnicas agronômicas tem sido frequentemente adotada visando maximizar a eficiência dos insumos de produção. Diante disso, este trabalho foi dividido em três experimentos em condições de campo descritos em três capítulos. No capítulo 1, objetivo foi verificar a utilização do tempo de avanço como um critério técnico para determinação da duração do tempo de injeção e do tempo de limpeza que proporciona uma uniformidade de distribuição espacial do fertilizante satisfatória em fertirrigação por gotejamento. No capítulo 2, objetivo foi avaliar o efeito de formas de fracionamento da fertilização potássica entre plantio e cobertura e de frequências de fertirrigação da fertilização de cobertura no crescimento de planta, rendimento e qualidade de tubérculos de batata. No capítulo 3, o objetivo foi avaliar o efeito da frequência de irrigação e da fertilização profunda no crescimento de plantas, rendimento e qualidade dos tubérculos da batata cultivada com solo corrigido com gessagem e subsolagem. No Experimento 1, o tempo de avanço foi um critério técnico útil para determinar os tempos da fertirrigação. O aumento do tempo de injeção da fertirrigação melhorou significativamente a uniformidade de distribuição espacial do fertilizante. No capítulo 2, a ausência de fertilização com K no plantio prejudicou o crescimento das plantas e a produtividade de tubérculos em uma safra. A frequência de fertirrigação impactou no crescimento e massa de tubérculos média em uma safra. Os tratamentos forneceram muitos resultados semelhantes nas condições experimentais deste estudo. No capítulo 3, os turnos de rega impactaram significativamente no consumo hídrico, crescimento das plantas e qualidade de tubérculos. A flutuação da umidade do solo aumentou com a diminuição da frequência de irrigação. Os resultados, em geral, indicaram que a determinação do tempo de injeção e do tempo de limpeza com base no tempo de avanço foi útil para maximizar a uniformidade de distribuição do fertilizante na área. Um programa de fertilização com algum K aplicado plantio e fertirrigação frequente fazem sentido lógico com base neste trabalho e pesquisas anteriores. A frequência de irrigação menor promove menor crescimento de plantas e melhoria da produtividade de água sem impactar no rendimento de tubérculos e aumenta a matéria seca dos tubérculos.

**Palavras-chave:** Tempo de avanço. Turno de rega. *Solanum tuberosum*. Adubação profunda.

## ABSTRACT

SILVA, Gustavo Henrique da, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May, 2022. **Potassium fertilization by drip fertigation in potato crop**. Advisor: Fernando França da Cunha. Co-advisor: Edson Marcio Mattiello.

Water and nutrients are natural resources of great importance for agricultural production. The joint adoption of agronomic practices and techniques has often been adopted in order to maximize the efficiency of production inputs. Therefore, this work was divided into three experiments under field conditions described in three chapters. In chapter 1, the objective was to verify the use of advance time as a technical criterion for determining the duration of injection time and cleaning time that provides a satisfactory uniformity of spatial distribution of the fertilizer in drip fertigation. In chapter 2, the objective was to evaluate the effect of fractionation forms of potassium fertilization between planting and topdressing and of fertigation frequencies of topdressing fertilization on plant growth, yield and quality of potato tubers. In chapter 3, the objective was to evaluate the effect of irrigation frequency and deep fertilization on plant growth, yield and tuber quality of potato cultivated with soil corrected with gypsum and subsoiling. In Experiment 1, advance time was a useful technical criterion for determining fertigation times. Increasing the fertigation injection time significantly improved the uniformity of fertilizer spatial distribution. In chapter 2, the absence of K fertilization at planting impaired plant growth and tuber yield in one season. The frequency of fertigation impacted the growth and average tuber mass in a season. The treatments provided many similar results under the experimental conditions of this study. In chapter 3, irrigation shifts significantly impacted water consumption, plant growth and tuber quality. Soil moisture fluctuation increased with decreasing irrigation frequency. The results, in general, indicated that the determination of the injection time and the cleaning time based on the advance time was useful to maximize the uniformity of fertilizer distribution in the area. A fertilization program with some K applied planting and frequent fertigation makes logical sense based on this work and previous research. Lower irrigation frequency promotes lower plant growth and improved water productivity without impacting tuber yield and increasing tuber dry matter.

**Keywords:** Advance time. Irrigation intervals. *Solanum tuberosum*. Deep fertilization.

## SUMÁRIO

HIPÓTESES E OBJETIVOS .....	9
Hipóteses.....	9
Objetivo Geral.....	9
Objetivos Específicos .....	9
REVISÃO DE LITERATURA .....	10
Irrigação .....	10
Métodos e sistemas de irrigação .....	10
Quimigação .....	11
Injetores para quimigação.....	12
Demanda hídrica das culturas agrícolas.....	13
Demanda nutricional da cultura .....	15
Importância da cultura da batata .....	15
Necessidade nutricional da batata “Ágata” .....	16
Referências.....	16
CAPÍTULO I	
DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE INJEÇÃO E DO TEMPO DE LIMPEZA EM FERTIRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO .....	19
Resumo .....	19
Introdução .....	20
Material e métodos.....	21
Resultados .....	25
Discussão .....	29
Conclusão.....	32
Referências.....	32
CAPÍTULO II	
FRACIONAMENTO DA FERTILIZAÇÃO POTÁSSICA NO CULTIVO DA BATATA... 35	
Resumo .....	35
Introdução .....	36
Material e métodos.....	37
Resultados .....	43
Discussão .....	45
Conclusão.....	47
Referências.....	47
CAPÍTULO III	
TURNO DE REGA E PROFUNDIDADE DA FERTILIZAÇÃO DE PLANTIO NO CULTIVO DA BATATA IRRIGADA .....	52
Resumo .....	52
Introdução .....	52
Material e métodos.....	54
Resultados .....	60
Discussão .....	65
Conclusão.....	66
Referências.....	66
CONCLUSÕES GERAIS .....	70

## HIPÓTESES E OBJETIVOS

### Hipóteses

- I. O tempo de avanço, como característica hidráulica intrínseca de cada unidade de irrigação, possibilita determinar de forma mais técnica o tempo de injeção e o tempo de limpeza em sistemas de irrigação por gotejamento.
- II. O parcelamento da fertilização potássica através da fertirrigação permite aumentar o crescimento das plantas, a produtividade e a qualidade de tubérculos de batata.
- III. O ajuste do turno de rega permite maximizar o crescimento das plantas, a produtividade e a qualidade de tubérculos de batata e aumentar a eficiência no uso da água.
- IV. A profundidade da fertilização de plantio melhora a absorção dos nutrientes e aumenta a eficiência da fertilização.

### Objetivo Geral

Avaliar o tempo de avanço como critério técnico para determinação do tempo de injeção e do tempo de limpeza em fertirrigação em gotejamento e avaliar o efeito de formas de fracionamento da fertilização potássica, frequências de irrigação e profundidades de fertilização de plantio no crescimento das plantas, produtividade e a qualidade de tubérculos do cultivo da batata.

### Objetivos Específicos

- I. Verificar a utilização do tempo de avanço como um critério técnico para determinação da duração do tempo de injeção e do tempo de limpeza que proporciona uma uniformidade de distribuição espacial do fertilizante satisfatória em fertirrigação por gotejamento.
- II. Avaliar o efeito de formas de fracionamento da fertilização potássica entre plantio e cobertura e de frequências de fertirrigação da fertilização de cobertura no crescimento de planta, rendimento e qualidade de tubérculos de batata.
- III. Avaliar o efeito da frequência de irrigação e da fertilização profunda no crescimento de plantas, rendimento e qualidade dos tubérculos da batata cultivada com solo corrigido com gessagem e subsolagem.

## REVISÃO DE LITERATURA

### Irrigação

A irrigação pode ser definida como as técnicas, formas ou meios de fornecimento de água para as culturas para atender a demanda hídrica e propiciar uma produção satisfatória (TESTEZLAF, 2017). A irrigação foi importante para o desenvolvimento e prosperidade de muitas civilizações antigas (BERNARDO et al., 2019). Atualmente, a irrigação é responsável por produzir mais de 44% dos alimentos do mundo, utilizando 18% da área cultivada (FAO, 2020). Para o futuro, provavelmente, a irrigação vai ter um papel ainda mais importante para aumentar a produção de alimentos diante das incertezas de um cenário de mudanças climáticas que atinge todo o mundo.

O Brasil aparece na sexta posição dentre os países com maior área irrigada do mundo (FAO, 2020). Em um estudo recente foi estimada uma área irrigada potencial de 55,85 milhões de hectares no Brasil, sendo a área de 13,7 milhões de hectares com potencial efetivo de curto e médio prazo (BRASIL, 2021). Vale ressaltar que, essa expansão considera basicamente áreas já exploradas com agricultura de sequeiro e pastagens. Sem dúvidas, o Brasil terá um grande papel na produção de alimentos, fibra e agroenergia para o mundo.

A área irrigada do Brasil estimada em 2019 foi cerca de 8,2 milhões de hectares, sendo 2,9 milhões de hectares (35,5%) referentes a irrigação com água residuária, com destaque para a cultura da cana de açúcar fertirrigada com vinhaça (subproduto da indústria sucroalcooleira); 1,3 milhões de hectares (15,9%) com a cultura do arroz; 0,75 milhões de hectares (9,1%) com cana de açúcar; 0,45 milhões de hectares (5,5%) com café; 1,45 milhões de hectares com demais culturas irrigadas com pivô central e 1,35 milhões de hectares (16,4%) com demais culturas irrigadas com os demais sistemas de irrigação (BRASIL, 2021).

### Métodos e sistemas de irrigação

Os métodos de irrigação podem ser divididos pela forma em que a água é aplicada à cultura em quatro categorias: aspersão, superfície, localizada e subsuperfície. Em aspersão, a água é aspergida sobre o solo e cultura. Em superfície, a água é conduzida pela superfície total ou parcial do solo da área irrigada pela ação da gravidade. Em localizada, a água é aplicada em uma fração da área, geralmente sob a projeção do dossel da cultura. Em subsuperfície, a água é

aplicada abaixo da superfície do solo, dentro da camada de solo explorado pelas raízes (TESTEZLAF, 2017).

Os sistemas de irrigação são divididos em relação a associação conjunta e organizada dos equipamentos, componentes, acessórios, formas de operação e manejo para realizar o fornecimento de água às culturas (TESTEZLAF, 2017). Dentre os sistemas disponíveis, gotejamento superficial, gotejamento subterrâneo, pivô central e aspersão fixa apresentam capacidade de aplicar água de forma eficiente e precisa para as culturas. Além disso, esses sistemas podem entregar uma alta uniformidade de distribuição de água, o que favorece a realização da quimigação.

## **Quimigação**

O termo quimigação é amplamente utilizado em todo o mundo como aplicação de produtos de uso agrícola, como inseticidas, fungicidas, herbicidas, agentes de controle biológico, águas residuárias, reguladores de crescimentos, fertilizantes, entre outros via água de irrigação para as culturas. No entanto, devido à aplicação frequente de fertilizantes minerais utilizando a água de irrigação como veículo, o termo fertirrigação é comumente adotado na prática (BAR-YOSEF, 1999; COSTA; VIEIRA; VIANA, 1994).

A história está repleta de fatos de que a ideia de utilizar a água de irrigação para aplicar produtos às culturas é bastante antiga. Por exemplo, a aplicação de esterco animal em canais de irrigação para fertilizar as culturas era praticada pelos agricultores das civilizações antigas. No entanto, o termo quimigação começou a ser usado a partir da década de 1930, com o desenvolvimento e expansão dos primeiros sistemas de irrigação pressurizados (COSTA; VIEIRA; VIANA, 1994).

Em irrigação por gotejamento, a fertirrigação tem apresentado resultados inquestionáveis nas últimas décadas, como incremento de rendimento das culturas, da produtividade de água e da eficiência no uso de fertilizantes (LI et al., 2021). A fertirrigação é uma técnica de uso generalizada em muitos países desenvolvidos e que precisa ser mais bem desenvolvida no Brasil.

As principais vantagens da fertirrigação são parcelamento da dose dos fertilizantes em função da demanda da planta; redução do tráfego de máquinas e, conseqüente, redução da compactação do solo e de danos à cultura; aplicação eficiente de baixa quantidade de fertilizantes (micronutrientes); facilidade de automação da injeção; redução da quantidade de

mão de obra; e potencial de redução da dose de nutrientes por meio do aumento da eficiência no uso dos fertilizantes (COSTA; VIEIRA; VIANA, 1994).

Estudos prévios mostraram que vários fatores como layout lateral (FAN et al., 2017; TANG et al., 2018), tipo de injetor (BRACY; PARISH; ROSENDALE, 2003; FAN et al., 2017; LI; MENG; LI, 2007), pressão (BORSSOI et al., 2012; FAN et al., 2017), distância entre ponto de injeção e linha principal (BOMFIM et al., 2014), comprimento da linha de gotejamento (KUMAR; RAJPUT; PATEL, 2014), concentração de fertilizantes (TANG et al., 2018), tempo de injeção (OLIVEIRA et al., 2003) e tempo de limpeza (SOUSA; FOLEGATTI; FRIZZONE, 2003) afetam potencialmente a uniformidade de distribuição espacial de água e de fertilizantes. Entretanto, nesses estudos ficou evidenciado que a uniformidade melhorou quando o tratamento adotado, diretamente ou indiretamente, proporcionou um tempo de injeção maior.

Para realização da fertirrigação, em geral, os fertilizantes são previamente solubilizados em reservatórios e a solução preparada é injetada dentro da tubulação do sistema de irrigação por meio de um equipamento injetor. Para uma distribuição uniforme do fertilizante na área é necessário a definição correta das seguintes variáveis equipamento injetor, volume da solução, vazão de injeção e tempo de injeção. Sendo, o tempo de injeção da solução no sistema de irrigação raramente deve ser menor que 30 minutos em condições de campo (USDA, 2016). O volume de solução depende basicamente dos fatores área, dose e solubilidade dos fertilizantes. E por fim, há muitos equipamentos injetores disponíveis que permite uma fertirrigação eficiente, desde que corretamente dimensionado para o sistema de irrigação considerando suas características intrínsecas.

Uma fertirrigação eficiente exige ainda um adequado manejo da irrigação pois a água do solo é fundamental para permitir o movimento dos nutrientes em direção às raízes (PRADO, 2020). Por outro lado, o excesso de água de irrigação favorece a lixiviação de nutrientes (AZAD et al., 2020). Por isso, determinar a quantidade de água de irrigação requerida pela cultura é fundamental para garantir a absorção dos nutrientes.

### **Injetores para quimigação**

O injetor deve ter como característica principal promover a taxa de injeção constante para manter a concentração da solução com fertilizante na água de irrigação constante. As características hidráulicas do injetor devem ser compatíveis com as características hidráulicas do sistema de irrigação. As principais variáveis que define o tipo, tamanho e taxa de injeção do injetor são tempo de injeção e volume da solução com fertilizante.

O tempo de injeção deve ser definido de acordo com as características do sistema de irrigação, como tamanho, comprimento das linhas laterais, desenho, entre outros. Sendo que para gotejamento, o tempo de injeção deve ser raramente menor que 30 minutos (USDA, 2016). Entretanto, não uma metodologia bem definida para estabelecimento do tempo de injeção.

O volume da solução depende basicamente da quantidade do fertilizante e da solubilidade. A solubilidade é uma característica intrínseca do fertilizante que depende da temperatura, pH do solvente água e misturas. A quantidade do fertilizante depende da dose e tamanho da área irrigada. A dose do fertilizante é definida com base em recomendações agronômicas (COSTA; VIEIRA; VIANA, 1994).

Os injetores disponíveis são classificados em quatro métodos, classificados como bombas centrífugas, bombas de deslocamento positivo, injetores venturi e por diferença de pressão (HAMAN; ZAZUETA, 2021). As bombas de deslocamento positivo possuem vários tipos, como bombas recíprocas (bombas de pistão, diafragma e pistão-diafragma), bombas rotativas (bombas de engrenagem e lóbulos) e bombas peristálticas. O método por diferença de pressão é dividido em injeção da linha de sucção e injeção na linha de descarga (tanques de mistura proporcional e pressurizado).

O método por diferença de pressão é o mais barato e demanda equipamentos simples. A bomba peristáltica possui taxa de injeção bastante baixa. A bomba centrífuga e bombas de deslocamento positivo são amplamente utilizadas na quimigação. A bomba centrífuga é frequentemente associada com injetor venturi (HAMAN; ZAZUETA, 2021).

### **Demanda hídrica das culturas agrícolas**

A demanda hídrica de uma determinada cultura leva em consideração os processos biofísicos de transpiração da superfície vegetal e de evaporação de água da superfície do solo. A transpiração é um processo fisiológico crucial para as plantas, pelo qual as folhas perdem água em forma de vapor para a atmosfera através dos estômatos, possibilitando absorção de CO<sub>2</sub> e regulação da temperatura das folhas, simultaneamente. A evaporação é o processo físico pelo qual a água da camada superficial do solo passa do estado líquido para o estado gasoso (THORNTHWAITE, 1948; ALLEN et al., 1998).

Na prática, a demanda de água de irrigação ou evapotranspiração da cultura é determinada em função do clima por meio da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e coeficientes do solo e da cultura. Para ajuste e aferição, as informações diretas ou indiretas de umidade do solo e informações da fisiologia da planta como temperatura, trocas gasosas e fluxo do xilema são

utilizadas. No manejo da irrigação, a demanda de água da cultura é um dos dados de entrada para o balanço de água no solo, conforme detalhado por ALLEN et al. (1998).

A evapotranspiração de uma cultura é determinada com base na  $ET_0$ , definida por ALLEN et al. (1998) como a evapotranspiração de uma cultura hipotética, assemelhando a grama. Essa cultura hipotética seria aquela que cobre uma superfície extensa, verde e uniforme com altura entre 0,08 e 0,15 m, valor de albedo de 0,23, resistência de dossel fixa ( $70 \text{ s m}^{-1}$ ), crescendo ativamente, sombreando completamente o solo e sem restrição hídrica no solo.

O método de determinação de  $ET_0$  mais aceito é pela equação de Penman-Monteith, que requer dados climáticos de entrada, horário ou diário, como radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento, ambos medidos por uma estação meteorológica. Em seguida, a  $ET_0$  é multiplicada por coeficientes relacionados à cultura, ao sistema de irrigação e ao solo para determinação da  $ET_c$  conforme a Equação 1 (ALLEN et al., 1998).

$$ET_c = ET_0(K_{cb}K_s + K_e) \quad (1)$$

Em que,  $ET_c$  é a evapotranspiração da cultura ( $\text{mm d}^{-1}$ );  $ET_0$  é a evapotranspiração de referência ( $\text{mm d}^{-1}$ );  $K_{cb}$  é coeficiente de cultura basal (adimensional);  $K_s$  é o coeficiente de estresse (adimensional);  $K_e$  é o coeficiente de evaporação (adimensional).

Esses coeficientes precisam ser determinados localmente para algumas culturas devido à forte interação entre genótipo, solo e clima para ajuste do modelo, objetivando uma maior precisão na determinação da demanda de água de irrigação (OLIVEIRA et al., 2020; SHRESTHA; SHUKLA, 2014). O manejo da irrigação adequado exige uma determinação precisa da capacidade de retenção de água do solo. Para isso, amostras da camada de solo explorada pela cultura são analisadas, sendo o método mais reconhecido denominado de câmara de Richards (RICHARDS, 1965).

Em trabalhos científicos, a demanda de água de irrigação é determinada por meio da umidade do solo monitorada sistematicamente de forma indireta ou direta (SILVA et al., 2020; SOUZA et al., 2020). Os principais métodos de determinação da umidade do solo são gravimétrico, tensiometria, sonda de nêutrons, sonda time-domain reflectometry (TDR) e sensores capacitivos.

O manejo da irrigação tem adotado estratégias que visam maximizar a transpiração e reduzir a evaporação, pois a água evaporada é pouco útil para o aumento de produtividade. Uma estratégia que tem sido adotada é a diminuição da Turno de rega, com aplicação de lâminas

maiores por irrigação (FARA et al., 2019). Essa estratégia tem aumentado bastante o crescimento radicular e, conseqüentemente, exploração do solo, principalmente quando associado a formação de perfil do solo. Nessas condições, as trocas gasosas são mais eficientes e a planta melhora a eficiência no uso da água.

### **Demanda nutricional da cultura**

Os nutrientes são elementos químicos que exercem alguma função metabólica, fisiológica ou estrutural imprescindível para a planta completar seu ciclo de vida. Além disso, esses elementos químicos são insubstituíveis. Os nutrientes são divididos em orgânicos e minerais. Os nutrientes orgânicos são carbono, oxigênio e hidrogênio, representado cerca de 92% da matéria seca das plantas (PRADO, 2020).

Os nutrientes minerais são classificados em função da quantidade requerida como macronutrientes e micronutrientes. Os macronutrientes são nitrogênio, potássio, fosforo, cálcio, magnésio e enxofre. Os micronutrientes são cobre, zinco, ferro, manganês, boro, cloro, molibdênio e níquel. Os nutrientes minerais representam cerca de 8% da matéria seca das plantas, sendo 7% macronutrientes e 1% micronutrientes (PRADO, 2020).

O conceito da fertilização é baseado na exigência nutricional da planta, disponibilidade no solo e eficiência dos fertilizantes. A partir desse conceito, diversos métodos foram desenvolvidos e diversos manuais de fertilização foram publicados. No Brasil, os manuais de fertilização mais comuns são conhecidos como “5ª aproximação” (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999) e “Boletim 100” (RAIJ et al., 1997).

No entanto, a abordagem desses boletins não considera alguns fatores que podem alterar a demanda nutricional da cultura como época do ano, alto potencial produtivo, cultivar, capacidade tampão do solo, sazonalidade das safras e eficiência dos fertilizantes. O cultivo fertirrigado permite adotar estratégias de fertilização e fornecer a dose dos nutrientes na quantidade certa e no momento oportuno, aumentando a eficiência dos fertilizantes. No entanto, há uma necessidade de mais pesquisas sobre fertirrigação.

### **Importância da cultura da batata**

A batata (*Solanum tuberosum*) é mundialmente uma das hortaliças de maior importância econômica. Os tubérculos são uma importante fonte de carboidratos. A produção de tubérculos em 2019 foi cerca de 465 milhões de toneladas no mundo (FAO, 2019). No Brasil, a produção

de tubérculos foi de 3,77 milhões de toneladas e a produtividade de tubérculos média foi de 32,13 Mg ha<sup>-1</sup> em 2020 (IBGE, 2020).

O Estado de Minas Gerais lidera a produção de tubérculos de batata, sendo responsável por cerca de 34% da produção nacional. Na sequência, os Estados São Paulo e Paraná estão na segunda e terceira posição, respectivamente, como maiores produtores de batata. Em geral, 65% da produção de batata é destinada ao consumo *in natura*, 27% para industrialização e 8% para batata-semente. As principais cultivares de batata para o mercado fresco são Ágata, Asterix e Orquestra (ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI&FRUTI, 2021).

### **Necessidade nutricional da batata “Ágata”**

A planta de batata cultivar Ágata absorve 90, 14, 166, 34, 8 e 7 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre considerando uma produtividade de 37 ton ha<sup>-1</sup> de tubérculos. Cada tonelada de tubérculos exporta 2,72 kg de potássio. E o acúmulo máximo de potássio na planta ocorre aos 45 dias após o plantio (FERNANDES; SORATTO; SILVA, 2011). O potássio é exigido em grande quantidade pela batata. Os principais fertilizantes são cloreto e sulfato de potássio. Sendo o cloreto de potássio usualmente adotado devido ao menor custo (TORABIAN et al., 2021).

### **Referências**

- ALLEN, R. G. et al. **Crop Evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO Irrigation e Drainage, 1998. v. 56
- ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI&FRUTI. **Anuário brasileiro de Horti&Fruti**. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2021.
- AZAD, N. et al. An analysis of optimal fertigation implications in different soils on reducing environmental impacts of agricultural nitrate leaching. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 7797, 8 maio 2020.
- BAR-YOSEF, B. Advances in Fertigation. In: SPARKS, D. L. (Ed.). **Advances in Agronomy**. [s.l.] Academic Press, 1999. v. 65p. 1–77.
- BERNARDO, S. et al. **Manual de Irrigação**. 9. ed. Viçosa: Editora UFV, 2019.
- BOMFIM, G. V. DO et al. Potassium distribution in drip irrigation with fertigation for different injection distances in the main line. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 6, p. 1150–1161, 2014.

- BORSSOI, A. L. et al. Water application uniformity e fertigation in a dripping irrigation set. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 4, p. 718–726, ago. 2012.
- BRACY, R. P.; PARISH, R. L.; ROSENDALE, R. M. Fertigation Uniformity Affected by Injector Type. **HortTechnology**, v. 13, n. 1, p. 103–105, 2003.
- BRASIL (ED.). **Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. 2. ed. Brasília: ANA, 2021.
- COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília, DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa de Milho e Sorgo: EMBRAPA-SPI, 1994.
- FAN, J. et al. Evaluation of Drip Fertigation Uniformity Affected by Injector Type, Pressure Difference e Lateral Layout. **Irrigation e Drainage**, v. 66, n. 4, p. 520–529, 2017.
- FAO. **FAO (Food e Agriculture Organization of the United Nations)**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 11 maio. 2021.
- FAO. **The State of Food e Agriculture 2020. Overcoming water challenges in agriculture**. Rome: FAO, 2020.
- FARA, S. J. et al. Stomata opening e productiveness response of fresh market tomato under different irrigation intervals. **Scientia Horticulturae**, v. 255, p. 86–95, 2019.
- FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P.; SILVA, B. L. Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: I - macronutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, p. 2039–2056, 2011.
- HAMAN, D. Z.; ZAZUETA, F. S. **Chemical Injection Methods for Irrigation**. Department of Agricultural e Biological Engineering, 2021.
- IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**.
- KUMAR, M.; RAJPUT, T. B. S.; PATEL, N. Water e Nitrogen Distribution Uniformity for Different Drip-lengths under Drip Irrigation System. **Journal of Agricultural Engineering**, v. 51, n. 1, p. 37–43, 2014.
- LI, J.; MENG, Y.; LI, B. Field evaluation of fertigation uniformity as affected by injector type e manufacturing variability of emitters. **Irrigation Science**, v. 25, p. 117–125, 2007.
- OLIVEIRA et al. Uniformidade de distribuição de potássio num sistema de irrigação por gotejamento quando aplicado por diferentes injetores. **Irriga**, v. 8, n. 3, p. 234–241, 2003.
- OLIVEIRA, R. M. DE et al. Evapotranspiration e crop coefficients of Italian zucchini cultivated with recycled paper as mulch. **Plos One**, v. 15, n. 5, p. e0232554, 6 maio 2020.
- PRADO, R. DE M. **Nutrição de Plantas**. 2. ed. São Paulo: Editora Unesp, 2020.

- RAIJ, B. V. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1997.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. v. 5 ed.
- RICHARDS, L. A. Physical conditions of water in soil. In: BLACK, C.A., EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; CLARK, F.E. (ed.) *Methods of soil analysis - physical e mineralogical properties, including statistics of measurements e sampling*. In: Madison: ASASSSA, 1965. p. 128–152.
- SHRESTHA, N. K.; SHUKLA, S. Basal crop coefficients for vine e erect crops with plastic mulch in a sub-tropical region. **Agricultural Water Management**, v. 143, p. 29–37, 2014.
- SILVA, G. H. DA et al. Mulching materials e wetted soil percentages on zucchini cultivation. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44, p. 1–11, 2020.
- SOUSA, V. F. et al. Distribuição de fertilizantes em um sistema de fertigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 186–189, 2003.
- SOUZA, S. A. et al. Impact of Irrigation Frequency e Planting Density on Bean's Morpho-Physiological e Productive Traits. **Water**, v. 12, n. 9, p. 2468–2481, 2020.
- TANG, P. et al. Effect of manifold layout e fertilizer solution concentration on fertilization e flushing times e uniformity of drip irrigation systems. **Agricultural Water Management**, v. 200, p. 71–79, 2018.
- TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. Campinas: Unicamp/FEAGRI, 2017.
- THORNTHWAITE, C. W. An Approach toward a Rational Classification of Climate. **Geographical Review**, v. 38, n. 1, p. 55, jan. 1948.
- TORABIAN, S. et al. Potassium: A Vital Macronutrient in Potato Production—A Review. **Agronomy**, v. 11, n. 3, p. 543, 2021.
- USDA. National Engineering Handbook. In: **Sprinkler Irrigation**. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, 2016. p. 236.

## CAPÍTULO I

### DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE INJEÇÃO E DO TEMPO DE LIMPEZA EM FERTIRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

#### **Resumo**

A fertirrigação em gotejamento apresentou benefícios inquestionáveis nas últimas décadas comparado com práticas tradicionais de adubação dos agricultores. Entretanto, o fertilizante dissolvido na água de irrigação deve ser distribuído uniformemente na área fertirrigada. Características do sistema de irrigação e do sistema de fertirrigação e o manejo operacional afetam potencialmente a uniformidade de distribuição do fertilizante e da água. Até o momento, o tempo de avanço (TA), que é uma característica intrínseca e determinável do sistema de irrigação, não foi verificado como um critério técnico útil para gerenciar a uniformidade de distribuição do fertilizante em fertirrigação por gotejamento. O objetivo deste estudo foi verificar a utilização do tempo de avanço como um critério técnico para determinação da duração do tempo de injeção e do tempo de limpeza que proporciona uma uniformidade de distribuição espacial do fertilizante satisfatória em fertirrigação por gotejamento. Portanto, a uniformidade de distribuição do fertilizante cloreto de potássio (KCl) e da água foi avaliada com seis tempos de injeção, equivalentes a 25, 50, 75, 100, 150, 200% do TA, e dois tempos de limpeza, equivalentes a 100 e 200% do TA, por meio do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e da uniformidade de distribuição (UD). O sistema de irrigação por gotejamento utilizado tinha 10 fitas gotejadoras com 12,5 m de comprimentos, vazão de 1,40 L h<sup>-1</sup> por gotejador e TA de 12,5 minutos. A solução injeta foi preparada com 40 g L<sup>-1</sup> de KCl. Os resultados indicaram que a uniformidade de distribuição do KCl melhorou significativamente com o aumento do tempo de injeção. O tempo de injeção de 200% do TA proporcionou a maior uniformidade de distribuição do KCl com CUC de 0,977 e CUD de 0,962. O tempo de limpeza de 100% do TA foi suficiente para enxague do sistema de irrigação e proporcionou uma uniformidade de distribuição espacial satisfatória com CUC de 0,983. Em ambos os ensaios a uniformidade de distribuição da água de irrigação foi satisfatória, como CUC de 0,988 e CUD de 0,982 (média). O tempo de avanço é uma característica intrínseca do sistema de irrigação útil na determinação da duração do tempo de injeção e do tempo de limpeza de forma mais técnica para a fertirrigação por gotejamento com uniformidade de distribuição espacial do fertilizante satisfatória.

**Palavras-chave:** tempo de avanço, uniformidade de distribuição, fertilizante, Christiansen.

## Introdução

A fertirrigação consiste na aplicação de fertilizantes hidrossolúveis para as culturas agrícolas utilizando a água de irrigação (BAR-YOSEF, 1999). Quando corretamente empregada, essa técnica pode ser praticada em qualquer sistema de irrigação. Em gotejamento, a fertirrigação apresentou benefícios inquestionáveis nas últimas décadas comparado com práticas tradicionais de aplicação de fertilizantes dos agricultores. Estudos mostraram incremento de rendimento das culturas, produtividade de água e eficiência no uso de fertilizantes (LI et al., 2021), minimização dos danos ambientais pela redução da emissão de  $N_2O$  e da lixiviação de nitrato (ZHAO et al., 2021). A fertirrigação por gotejamento é bastante promissora para uma produção mais sustentável de alimentos. Entretanto, o fertilizante dissolvido na água de irrigação deve ser distribuído uniformemente na área fertirrigada.

A fertirrigação eficiente e com uniformidade de distribuição do fertilizante adequada deve possuir três intervalos cronometrados e contínuos: 1) tempo de pré-injeção: período que inicia com o acionamento da irrigação para encher as tubulações com água até uma completa estabilização da vazão e da pressão de operação dos gotejadores e, também, para umedecer a superfície do solo (e folhas); 2) tempo de injeção: período de injeção da solução, contendo o fertilizante, no sistema de irrigação que deve ser iniciado após estabilização da vazão e da pressão e, raramente, deve ser menor que 30 minutos; 3) tempo de limpeza: período que inicia imediatamente após o fim do tempo de injeção que deve ter duração longa suficiente para enxaguar a tubulação, remover fertilizantes das folhas, incorporar o fertilizante na zona radicular da cultura e completar a lâmina de irrigação (OLIVEIRA, 2006; USDA, 2016).

Além do tempo, vários outros fatores como layout lateral (FAN et al., 2017; TANG et al., 2018), tipo de injetor (BRACY; PARISH; ROSENDALE, 2003; FAN et al., 2017; LI; MENG; LI, 2007), pressão (BORSSOI et al., 2012; FAN et al., 2017), distância entre ponto de injeção e linha principal (BOMFIM et al., 2014), comprimento da linha de gotejamento (KUMAR; RAJPUT; PATEL, 2014), concentração de fertilizantes (TANG et al., 2018), tempo de injeção (OLIVEIRA et al., 2003) e tempo de limpeza (SOUSA et al., 2003) afetam potencialmente a uniformidade de distribuição espacial de água e de fertilizantes. Entretanto, analisando esses estudos, há evidências de que a uniformidade de distribuição do fertilizante melhorou quando, diretamente ou indiretamente, o tempo de injeção ou o tempo de limpeza foram relativamente longos.

A variabilidade das características dos sistemas de irrigação como layout, tamanho, vazão, pressão, espaçamento e gotejadores dificulta estabelecer critérios técnicos para

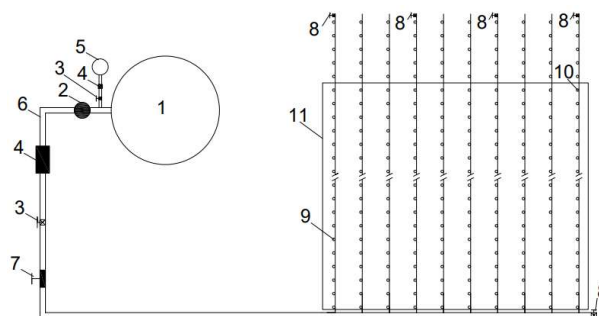
dimensionamento do sistema de fertirrigação. No entanto, o tempo de avanço, que é uma característica intrínseca e determinável do sistema ou unidade de irrigação, foi um critério útil no gerenciamento da fertirrigação em sistema de irrigação centralizado com vários setores (JIMENEZ-BELLO et al., 2011). O tempo de avanço corresponde ao tempo de viagem que o fertilizante leva após, ser injetado, para chegar em um determinado trecho ou gotejador selecionado (OLIVEIRA, 2006). Entretanto, não há estudos que examinaram a utilização do tempo de avanço para determinação do tempo de injeção e do tempo de limpeza em irrigação por gotejamento bem como a duração ideal para promover uma uniformidade de distribuição do fertilizante adequada.

O objetivo deste estudo foi verificar a utilização do tempo de avanço como um critério técnico para determinação da duração do tempo de injeção e do tempo de limpeza que proporciona uma uniformidade de distribuição espacial do fertilizante satisfatória em fertirrigação por gotejamento.

## **Material e métodos**

### **Área de estudo e sistema de irrigação por gotejamento**

Os ensaios foram realizados durante outubro e novembro de 2021 em um sistema de irrigação por gotejamento (Figura 1) instalado uma área plana e gramada localizado na Área Experimental de Irrigação e Drenagem, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, sudeste do Brasil (20°46' S, 42°51' W, 651 m). O sistema de irrigação por gotejamento tinha dez fitas gotejadoras (Toro, CHI) de 12,5 m comprimento, diâmetro nominal de 16 mm, espessura de parede de 0,6 mm, com gotejadores adesivos embutidos internamente espaçados de 30 cm (41 gotejadores por fita gotejadora) e uma vazão média de 1,4 L h<sup>-1</sup> por gotejador com uma pressão de operação de 0,1 MPa mantida constante pela válvula reguladora de pressão. As fitas gotejadoras estavam espaçadas de 1,0 m e conectadas a um tubo de PCV com diâmetro de 50 mm. A água de irrigação estava armazenada em um reservatório de 15 m<sup>3</sup> e apresentava pH de 6,7 e condutividade elétrica de 68 µS cm<sup>-1</sup>. Para a pressurização do sistema de irrigação foi usada uma bomba centrífuga. Filtros de discos de 120 mesh foram usados para reter impurezas e evitar entupimentos de gotejadores. Nas extremidades da fita e do tubo, registros foram inseridos para limpeza por arraste após cada fertirrigação para enxaguar completamente a tubulação e evitar contaminação nos testes seguintes (Figura 1). Detalhes do layout são mostrados na Figura 1.1.



**Figura 1.1.** Diagrama esquemático do sistema de irrigação por gotejamento usado para avaliar a uniformidade de distribuição espacial do fertilizante e da água. 1. reservatório de água; 2. bomba; 3. registro; 4. filtro; 5. reservatório de solução de fertilizante; 6. tubo de PVC 50 mm; 7. válvula reguladora de pressão; 8. registro para limpeza por arraste; 9. emissor; 10. emissor ideal para determinar o tempo de avanço em gotejamento; 11. área monitorada.

### Injeção de fertilizante e tempo de avanço

A solução injeta foi preparada com  $40 \text{ g L}^{-1}$  de cloreto de potássio (KCl). O método de injeção foi por diferença de pressão usando a pressão negativa da bomba de irrigação (HAMAN; ZAZUETA, 2021). A taxa de injeção foi de  $60 \text{ L h}^{-1}$ , equivalente a 10,5% da vazão do sistema de irrigação ( $574 \text{ L h}^{-1}$ ).

O tempo de avanço foi determinado para o 36º gotejador da 10ª fita gotejadora (Figura 1). Neste teste, desconsiderou-se o trecho dos cinco últimos gotejadores devido à baixa velocidade de água e à pequena área irrigada. O tempo de viagem foi cronometrado a partir do início da injeção até a detecção da salinidade na água de irrigação descarregada pelo gotejador selecionado por meio do medidor de CE (Lutron, CD-4303). O tempo de avanço foi de 12,5 minutos.

### Tratamentos

Os tratamentos foram tempo de injeção e tempo de limpeza avaliados em dois ensaios (Tabela 1.1). No ensaio 1, a fertirrigação foi realizada com seis tempos de injeção equivalentes a 25, 50, 75, 100, 150 e 200% do tempo de avanço (TA), tempo de pré-injeção de 4,0 min e tempo de limpeza de 200% do TA. No ensaio 2, a fertirrigação foi realizada com dois tempos de limpeza equivalentes a 100 e 200% do TA, tempo de pré-injeção de 4,0 min e tempo de injeção de 200% do TA. O arranjo experimental foi simples e o delineamento foi inteiramente casualizado com quatro repetições. Em testes prévios, o valor de CE da água de irrigação descarregada pelo gotejador selecionado após o tempo de limpeza de 200% de TA foi igual ao valor de CE da água do reservatório, o que indicou enxague completo das tubulações.

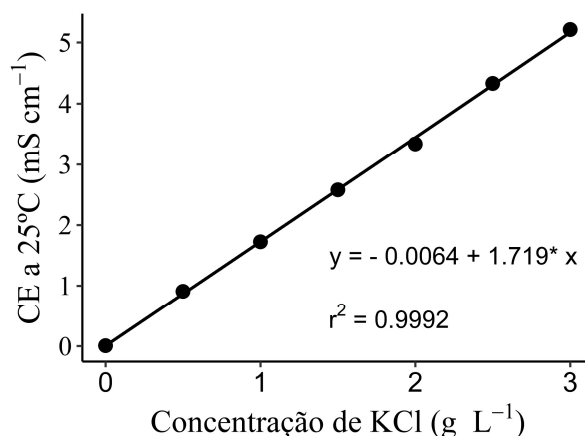
**Tabela 1.1.** Tempo de pre-injeção (TPI), tempo de injeção (TI) e tempo de limpeza (TL) proporcionalmente ao tempo de avanço (TA) para cada tratamentos dos dois experimentos na fertirrigação por gotejamento. TA foi de 12,50 minutos.

Experimento	TPI	TI	TL
	min	% do TA (min)	% do TA (min)
1	4,0	200% (25,00) <sup>1</sup>	200% (25,00) <sup>1</sup>
	4,0	150% (18,75)	200% (25,00)
	4,0	100% (12,50)	200% (25,00)
	4,0	75% (9,38)	200% (25,00)
	4,0	50% (6,25)	200% (25,00)
	4,0	25% (3,13)	200% (25,00)
	2	4,0	200% (25,00)
4,0		200% (25,00)	200% (25,00)

<sup>1</sup> valor entre parênteses em minutos.

### Medição da performance da fertirrigação

Para quantificar a uniformidade de distribuição espacial do fertilizante e da água, 24 coletores com volume de 4 L foram distribuídos sistematicamente na área fertirrigada sob seis gotejadores (1º, 8º, 15º, 22º, 29º e 36º gotejador) em quatro fitas gotejadoras (1ª, 4ª, 7ª e 10ª fita gotejadora) para coletar a água descarregada pelo gotejador após a fertirrigação completa. Após cada evento de fertirrigação, CE compensada à 25° C ( $\text{mS cm}^{-1}$ ) e volume de água descarregada (L) foram medidos em cada coletor com auxílio de um medidor de EC portátil (LUTRON, CD4303) e uma proveta, respectivamente. A concentração de KCl ( $\text{g L}^{-1}$ ) foi determinada por meio da curva CE compensada à 25° C versus concentração de KCl (Figura 2 e Equação 1) determinada previamente. Em seguida, a quantidade de KCl descarregado pelo gotejador (g por gotejador) foi obtida multiplicando a concentração de KCl ( $\text{g L}^{-1}$ ) pelo volume de água de irrigação coletado (L) (MAGALHÃES, 1996).



**Figura 1.2.** Correlação entre condutividade elétrica (CE) compensada à 25 °C e concentração de cloreto de potássio (KCl) na solução.

$$CE_{25} = - 0.0064 + 1.719 C \quad (1)$$

Em que,  $CE_{25}$  é o valor de condutividade elétrica compensada a 25 °C ( $mS\ cm^{-1}$ ) e  $C$  é a concentração de KCl na solução ( $g\ L^{-1}$ ). O coeficiente de determinação da Equação 1 foi 0.9992, que indica uma equação bem ajustada que pode ser usada para calcular a concentração do fertilizante KCl na água descarregada pelo gotejador.

A performance da uniformidade de distribuição espacial do fertilizante e da água de irrigação foi mensurada pelo coeficiente de uniformidade de Christiansen (CHRISTIANSEN, 1942), descrito na Equação 2, e pela uniformidade de distribuição (KELLER; BLIESNER, 1990), descrito na Equação 3. Essas definições matemáticas são comumente utilizadas em estudos para quantificar performance da fertirrigação (FAN et al., 2017; TANG et al., 2018).

$$CUC = 1 - \frac{\sum |X_i - X_m|}{\sum X_i} \quad (2)$$

$$CUD = \frac{X_{1q}}{X_m} \quad (3)$$

Em que: CUC é o coeficiente de uniformidade de Christiansen, em decimal;  $X_i$  é a medida da quantidade de KCl (g por gotejador) ou do volume de água (L por gotejador) no  $i$ -ésimo coletor;  $X_m$  é o valor médio da quantidade de KCl (g por gotejador) ou do volume de água (L por gotejador); CUD é a uniformidade de distribuição, em decimal; e  $X_{1q}$  é o valor médio da quantidade de KCl (g por gotejador) ou do volume de água (L por gotejador) do menor quartil.

### Análises dos dados

Os dados coletados foram analisados por análise de variância e análise de regressão. O modelo de regressão foi selecionado com base na significância dos coeficientes da regressão

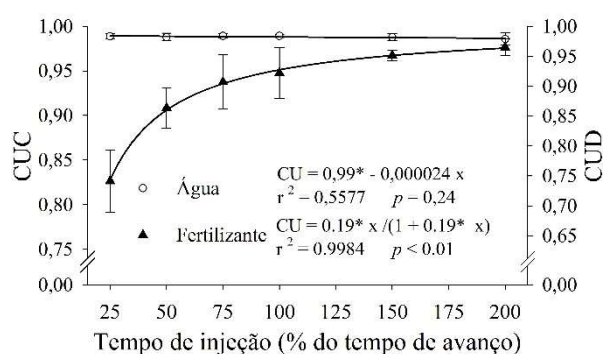
pelo teste t ( $p < 0,01$ ), no coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e no fenômeno biosistêmico. Para execução das análises estatísticas foi utilizado o software R (R CORE TEAM, 2021).

Mapas de contorno foram elaborados com os dados de distribuição espacial de KCl (g por gotejador) e de água (L por gotejador), utilizando o pacote “ggplot2” do software R (R CORE TEAM, 2021). Devido ao tempo total da fertirrigação apresentar diferenças entre os níveis dos tratamentos e, conseqüentemente, quantidade diferentes de KCl ou de água por emissor, os valores foram padronizados dividindo o i-ésimo valor pela média.

## Resultados

### Ensaio 1 - Uniformidade de distribuição espacial de KCl e de água em função do tempo de injeção

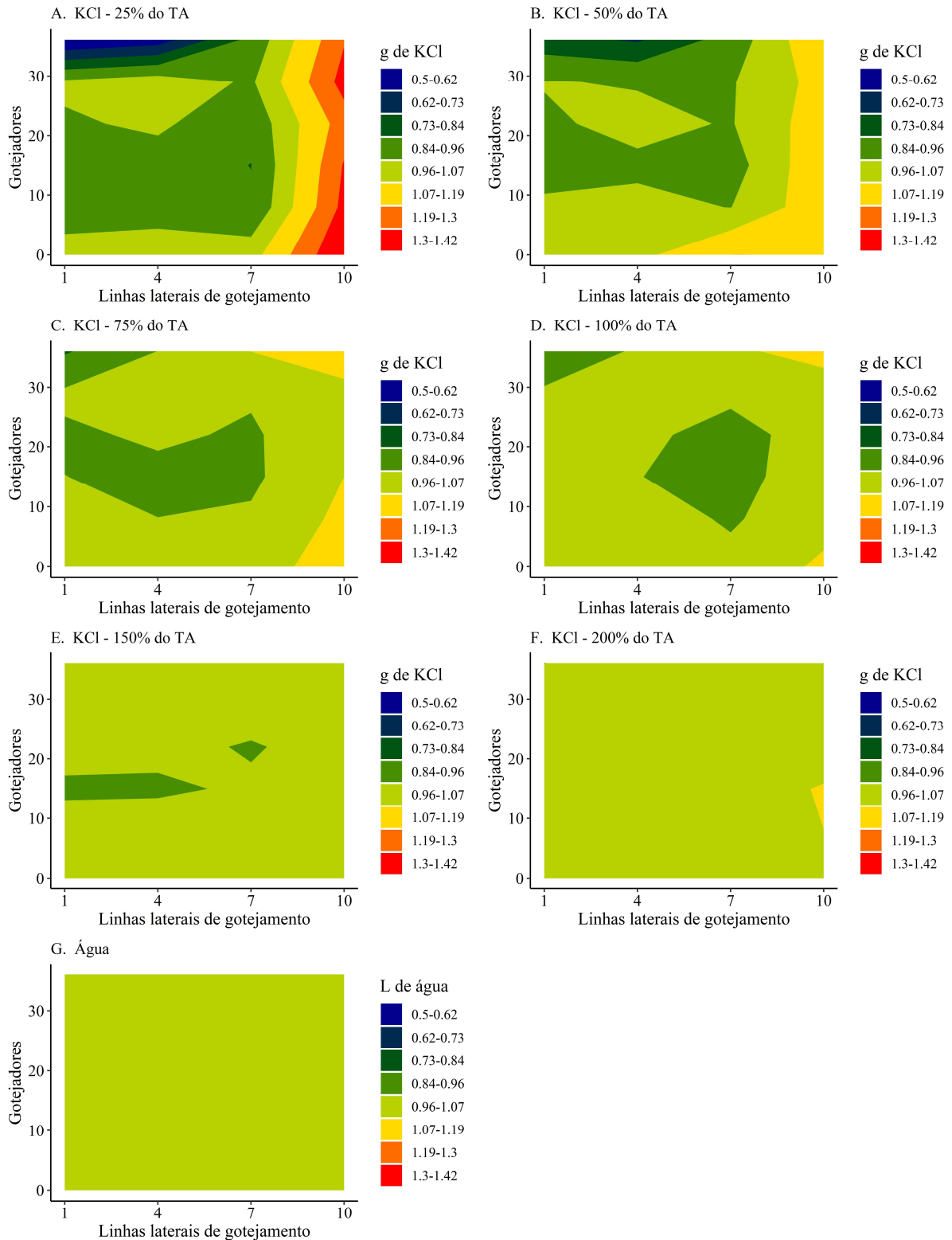
O tempo de injeção não teve efeito significativo na uniformidade de distribuição de água, com CUC médio de 0,988 e CUD médio de 0,982 (Figura 1.3). O tempo de injeção teve um efeito significativo na uniformidade de distribuição do KCl. Os valores de CUC e CUD decresceram significativamente com a diminuição do tempo de injeção. O tempo de injeção mais longo (200% do TA) proporcionou uma uniformidade de distribuição satisfatória, com CUC de 0,977 e CUD de 0,962, valores bem próximos dos valores para a água de irrigação. O menor tempo de injeção (25% de TA) resultou em uma uniformidade de distribuição do KCl insatisfatória, com CUC de 0,826 e CUD de 0,741. A variabilidade dos valores de CUC (desvio padrão) foi menor para os tempos de injeção mais longos (150 e 200% do TA).



**Figura 1.3.** Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e uniformidade distribuição (CUD) do fertilizante e da água em função do tempo de injeção (% do tempo de avanço). Barra de erro indica o desvio padrão. \* indica coeficiente significativo pelo teste t ( $p < 0,01$ ).

O tempo de injeção impactou a uniformidade de distribuição espacial do KCl, de acordo com os gráficos de contorno (Figura 1.4). Nos tempos de injeção mais curtos (Figura 1.4A e

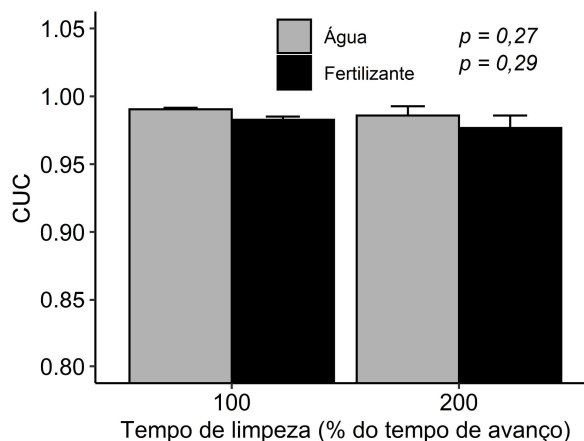
1.4B), a distribuição espacial do KCl apresentou área com déficit na parte final das linhas laterais de gotejamento iniciais (1ª a 5ª) e área com excesso nas linhas laterais de gotejamento finais (7ª a 10ª). Nos tempos de injeção intermediários (Figura 1.4C e 1.4D), a distribuição espacial do KCl apresentou área com déficit na parte central e na parte final das primeiras linhas laterais (1ª a 3ª) e áreas relativamente pequenas com excesso nas partes inicial e final das últimas linhas laterais (8ª a 10ª) da área fertirrigada. Nos tempos de injeção mais longos (Figura 1.4E e 1.4F), a distribuição espacial do KCl foi mais homogênea com áreas relativamente pequenas com déficit ou excesso. A distribuição espacial do KCl com tempo de injeção equivalente a 200% do TA apresentou homogeneidade mais similar à distribuição espacial da água. A distribuição espacial de água de irrigação foi bastante homogênea (Figura 1.4G).



**Figura 1.4.** Distribuição espacial do KCl (g por gotejador) nos tempos de injeção equivalente a 25% (A), 50% (B), 75% (C), 100% (D), 150% (E) e 200% (F) do tempo de avanço e da água de irrigação média (L por gotejador). Dados transformados ( $X_i/\bar{X}$ ). Fitas gotejadoras na horizontal e gotejador na vertical.

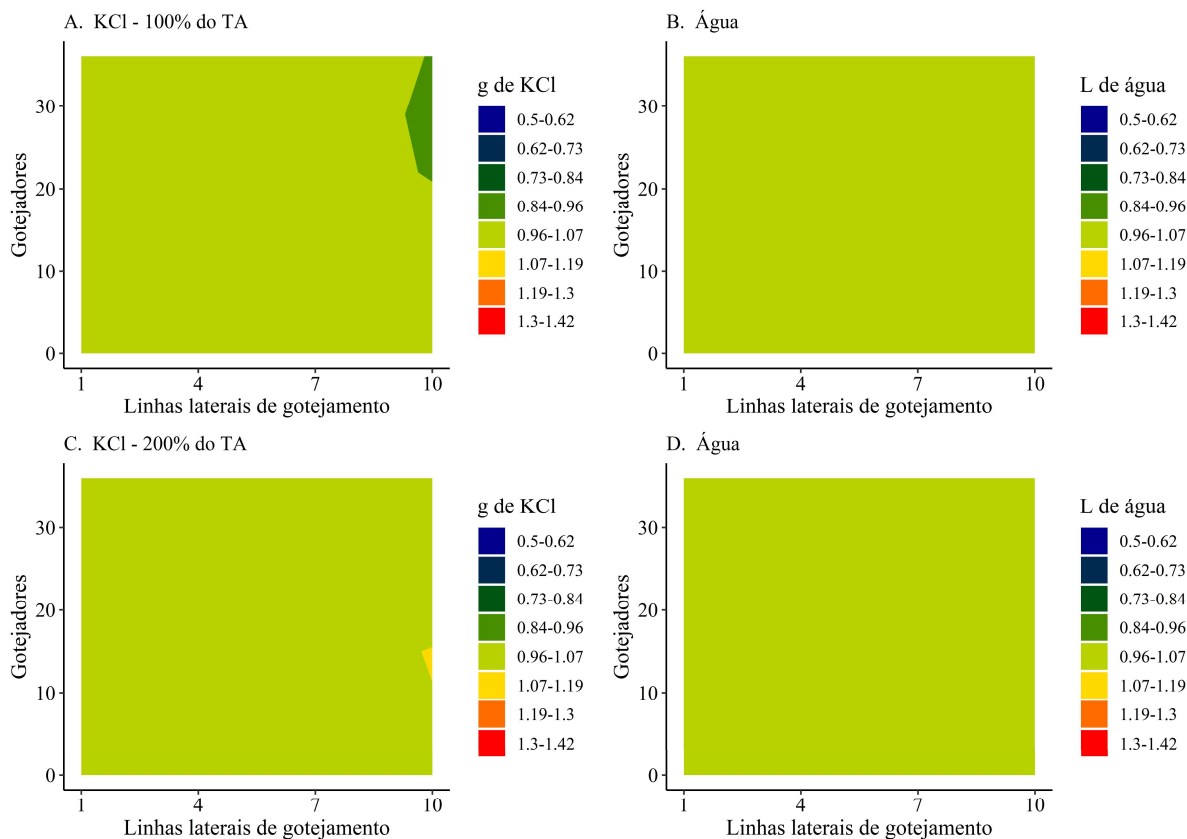
## Ensaio 2 - Uniformidade de distribuição de KCl e de água em função do tempo de limpeza

O tempo de limpeza não teve efeito significativo na uniformidade de distribuição espacial do KCl ( $p=0,29$ ) e da água ( $p=0,27$ ) (Figura 1.5). Em geral, os tempos de limpeza, equivalentes a 100% e 200% do tempo de avanço, foram suficientes para limpeza do sistema de irrigação e proporcionaram uma uniformidade de distribuição satisfatória com CUC de 0,983 e 0,977 para o KCl e 0,990 e 0,986 para a água de irrigação.



**Figura 1.5.** Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) do KCl e da água para dois tempos de limpeza (100 e 200% do tempo de avanço). Barrinha representa o desvio padrão.

Em geral, os tempos de limpeza proporcionaram uma uniformidade de distribuição espacial do fertilizante KCl e da água satisfatórios, de acordo com o gráfico de contorno (Figura 1.6). A distribuição espacial do KCl apresentou uma área relativamente pequena com déficit no final da 10ª linha lateral para o tempo de limpeza de 100% do TA (Figura 1.6B) e com excesso no meio da 10ª linha lateral para o tempo de limpeza de 200% do TA (Figura 1.6A). A distribuição espacial do KCl com tempo de limpeza equivalente a 200% do TA apresentou homogeneidade mais similar à distribuição espacial da água. A distribuição espacial de água de irrigação foi bastante homogênea (Figura 1.6B e 1.6D).



**Figura 1.6.** Distribuição espacial do KCl (g por gotejador) e da água de irrigação (L por gotejador) nos tempos de limpeza de 100% (A e B) e 200% (C e D) do tempo de avanço no ensaio 2. Dados transformados ( $X_i/\bar{X}$ ). Fitas gotejadoras na horizontal e gotejadores na vertical.

## Discussão

O propósito deste estudo foi verificar ao impacto do tempo de injeção e do tempo de limpeza, ambos calculados com base no tempo de avanço, na uniformidade de distribuição espacial do fertilizante e da água fertirrigação por gotejamento. Portanto, a uniformidade de distribuição espacial do cloreto de potássio (KCl) e da água foi quantificada por meio de coeficientes de uniformidade em seis tempos de injeção (ensaio 1) e em dois tempos de limpeza (ensaio 2).

Os resultados deste estudo demonstraram que o tempo de avanço do sistema de irrigação por gotejamento foi um critério técnico útil na determinação do tempo de injeção e do tempo de limpeza. O tempo de injeção equivalente a 200% do tempo de avanço proporcionou uma uniformidade de distribuição espacial do KCl satisfatória. Os tempos de limpeza equivalentes a 100% ou 200% do tempo de avanço proporcionaram uma uniformidade de distribuição espacial de KCl satisfatória.

Na fertirrigação, a distribuição do fertilizante está condicionada a distribuição da água (BOMFIM et al., 2014; FAN et al., 2017; LI; MENG; LI, 2007; TANG et al., 2018). Portanto, o sistema de irrigação deve ser projetado adequadamente para promover uma alta uniformidade de distribuição de água, com CUD superior a 0,90 (MERRIAM; KELLER, 1978). A pressão e comprimento da fita gotejadora são fatores importantes na etapa de dimensionamento, principalmente para gotejadores que não compensam a pressão (KUMAR et al., 2017). No presente estudo, o sistema de irrigação utilizado apresentava condição hidráulica satisfatória, como comprimento da linha lateral curto e grande diâmetro de tubos, o que reduziu bastante a perda de carga. Por isso, o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUC) foi de 0,988, sendo um valor bastante alto comparado com condições reais de campo (WANG et al., 2021).

A uniformidade de distribuição espacial do fertilizante e da água é influenciada por diversas características do sistema de fertirrigação, do sistema de irrigação e do manejo operacional (BOMFIM et al., 2014; FAN et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2003; TANG et al., 2018). Muitas características dificultam o dimensionamento e calibração do sistema de fertirrigação para cada sistema (ou setor) de irrigação. Portanto, a busca por uma característica principal é fundamental para tornar mais simples o dimensionamento e calibração do sistema de fertirrigação.

A variável tempo mostrou-se importante em diversos estudos sobre a uniformidade de distribuição em fertirrigação (JIMENEZ-BELLO et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2003; SOUSA et al., 2003). Uma fertirrigação uniforme possui três tempos bem definidos denominados de tempo de pré-injeção, tempo de injeção e tempo de limpeza (USDA, 2016). O tempo de avanço, como uma característica intrínseca e determinável do sistema de irrigação, pode ser útil na determinação dos tempos da fertirrigação para qualquer sistema de irrigação por gotejamento. O tempo de injeção equivalente a 200% do tempo de avanço foi ideal neste estudo. No entanto, mais pesquisas devem ser feitas com diferentes características de layout, manifold, vazão, pressão, tamanho e com outros sistemas de irrigação.

O tempo de avanço é definido como o tempo de viagem que o fertilizante, após ser injetado, leva para chegar em um determinado trecho (ou gotejador) do sistema de irrigação (OLIVEIRA, 2006). A obtenção do tempo de viagem pode ser por estimativa com base no comprimento, diâmetro e vazão de cada trecho (JIMENEZ-BELLO et al., 2011; OLIVEIRA, 2006) ou por medição *in situ*, como realizada neste estudo. Neste caso, o tempo de viagem inicia no momento da injeção de uma solução com fertilizante ou com corante azul e finaliza com a detecção da salinidade com um medidor de CE ou com a visualização da coloração azulada, respectivamente, da água irrigação.

Na prática este estudo pode ser útil para auxiliar técnicos e agricultores no dimensionamento e na calibração do injetor por meio da definição da taxa de injeção com base no tempo de injeção e no volume da solução, que depende da quantidade e da solubilidade do fertilizante. Vale ressaltar que, o tipo de injetor pode influenciar na uniformidade de distribuição espacial do fertilizante. O injetor ideal deve ter taxa de injeção e proporcionar concentração da solução injetada constantes (FAN et al., 2017; LI; MENG; LI, 2007). Estas condições foram garantidas neste estudo com a taxa de injeção constante e concentração de KCl na solução fixo.

O método de injeção por diferença de pressão foi adotado neste estudo utilizando a pressão negativa ou sucção da bomba (HAMAN; ZAZUETA, 2021). Vale ressaltar que este método de injeção possui algumas limitações. O contato do fertilizante com a parte interna da bomba de irrigação pode causar corrosão e, assim, diminuir a vida útil. Há riscos de contaminação da água no ponto de captação em caso de refluxo que pode causar sérios danos ambientais. Portanto, o uso deste método é restrito e deve estar associado ao uso de válvula de retenção, instalada antes do ponto de injeção.

Um sistema de irrigação com várias subunidades com fertirrigação centralizada pode causar excesso de água quando o tempo total da fertirrigação é maior que o tempo de irrigação necessário para suprir a demanda de água da cultura (USDA, 2016). Neste caso, uma possível solução seria mudar o ponto de injeção para mais próximo da subunidade de irrigação (BOMFIM et al., 2014) e assim reduzir o tempo de avanço e, conseqüentemente, o tempo de injeção e tempo de limpeza.

No tempo de injeção menor (25% do TA), a distribuição espacial do KCl foi bastante heterogênea. Isto é consequência da passagem rápida da água de irrigação com o fertilizante dissolvido pelo tubo da linha de derivação. O que diminuiu a entrada de KCl nas fitas gotejadoras iniciais e, conseqüentemente, aumentou a entrada de KCl nas fitas gotejadoras finais, formando áreas com déficit e excesso, respectivamente. Além disso, o KCl foi descarregado principalmente nos gotejadores iniciais das fitas gotejadoras iniciais.

Após o fim do tempo de injeção, o fertilizante dissolvido na água de irrigação permanece dentro do sistema de irrigação. Logo, um tempo de funcionamento (tempo de limpeza) é necessário para enxague das tubulações e, assim, descarregar o fertilizante pelos gotejadores. A permanência de fertilizantes nas tubulações pode causar entupimento dos gotejadores, o que reduz a uniformidade de distribuição do sistema de irrigação (TAYEL; PIBARS; MANSOUR, 2013). Neste estudo, o tempo de limpeza igual ou maior que o tempo avanço foi suficiente, corroborando com outros estudos (MAGALHÃES, 1996; OLIVEIRA, 2006).

A compreensão do tempo total da fertirrigação é importante para definir o momento da fertirrigação durante o tempo de irrigação devido a dinâmica do nutriente no solo. A fertirrigação feita na segunda metade do tempo de irrigação incorpora menos o fertilizante no perfil do solo, o que promove maior perda por volatilização de nitrogênio (amônia) (LI et al., 2018) mas, por outro lado, pode diminuir o movimento descendente de nitrato (LI et al., 2018), potássio e enxofre (Satpute e Singh, 2017), minimizando a lixiviação desses nutrientes e, conseqüentemente, redução da contaminação de água subterrânea.

Os achados deste estudo podem auxiliar técnicos e agricultores na definição do tempo de injeção e do tempo de limpeza a partir do tempo de avanço de forma mais assertiva para a fertirrigação em sistema de irrigação por gotejamento para garantir uma uniformidade de distribuição espacial do fertilizante satisfatória.

## **Conclusão**

O tempo de avanço é um critério técnico útil para determinação da duração do tempo de injeção e do tempo de limpeza para alcançar uma uniformidade de distribuição espacial do fertilizante satisfatória em fertirrigação por gotejamento.

## **Referências**

- BAR-YOSEF, B. Advances in Fertigation. Em: SPARKS, D. L. (Ed.). **Advances in Agronomy**. [s.l.] Academic Press, 1999. v. 65p. 1–77.
- BOMFIM, G. V. DO et al. Potassium distribution in drip irrigation with fertigation for different injection distances in the main line. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 6, p. 1150–1161, 2014.
- BORSSOI, A. L. et al. Water application uniformity e fertigation in a dripping irrigation set. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 4, p. 718–726, ago. 2012.
- BRACY, R. P.; PARISH, R. L.; ROSENDALE, R. M. Fertigation Uniformity Affected by Injector Type. **HortTechnology**, v. 13, n. 1, p. 103–105, 2003.
- CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. California: University of California, 1942.
- FAN, J. et al. Evaluation of Drip Fertigation Uniformity Affected by Injector Type, Pressure Difference e Lateral Layout. **Irrigation e Drainage**, v. 66, n. 4, p. 520–529, 2017.
- HAMAN, D. Z.; ZAZUETA, F. S. **Chemical Injection Methods for Irrigation**. Department of Agricultural e Biological Engineering, 2021.

- JIMENEZ-BELLO, M. A. et al. Analysis, assessment, e improvement of fertilizer distribution in pressure irrigation systems. **Irrigation Science**, v. 29, n. 1, p. 45–53, 1 jan. 2011.
- KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkler e trickle irrigation**. New York: Avi Book, 1990.
- KUMAR, M. et al. Efficient Design of Drip Irrigation System using Water e Fertilizer Application Uniformity at Different Operating Pressures in a Semi-Arid Region of India. **Irrigation e Drainage**, v. 66, n. 3, p. 316–326, 2017.
- KUMAR, M.; RAJPUT, T. B. S.; PATEL, N. Water e Nitrogen Distribution Uniformity for Different Drip-lengths under Drip Irrigation System. **Journal of Agricultural Engineering**, v. 51, n. 1, p. 37–43, 2014.
- LI, H. et al. Drip fertigation significantly increased crop yield, water productivity e nitrogen use efficiency with respect to traditional irrigation e fertilization practices: A meta-analysis in China. **Agricultural Water Management**, v. 244, p. 1–10, fev. 2021.
- LI, J. et al. Effects of fertigation strategies on water e nitrogen distribution under water storage pit irrigation for orchards. **International Journal of Agricultural e Biological Engineering**, v. 11, n. 1, p. 165–171, 2018.
- LI, J.; MENG, Y.; LI, B. Field evaluation of fertigation uniformity as affected by injector type e manufacturing variability of emitters. **Irrigation Science**, v. 25, p. 117–125, 2007.
- MAGALHÃES, M. I. **Uniformidade da fertirrigação em um sistema de irrigação por gotejamento**. Dissertação de Mestrado—Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 1996.
- MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm Irrigation System Evaluation: A Guide for Management**. 3. ed. [s.l.] Department of Agricultural e Irrigation Engineering Utah State University, 1978.
- OLIVEIRA et al. Uniformidade de distribuição de potássio num sistema de irrigação por gotejamento quando aplicado por diferentes injetores. **Irriga**, v. 8, n. 3, p. 234–241, 2003.
- OLIVEIRA, M. V. A. M. DE. **Modelo matemático para estimativa do tempo de fertirrigação**. Tese de Doutorado—Botucatu: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO” FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS, 2006.
- R CORE TEAM. **R: A Language e Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2021.
- SATPUTE, S. T.; SINGH, M. Potassium e sulfur dynamics under surface drip fertigated onion crop. **Journal of Soil Salinity e Water Quality**, v. 9, n. 2, p. 226–236, 2017.

- SOUSA, V. F. et al. Distribuição de fertilizantes em um sistema de fertigaç o por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 186–189, 2003.
- TANG, P. et al. Effect of manifold layout e fertilizer solution concentration on fertilization e flushing times e uniformity of drip irrigation systems. **Agricultural Water Management**, v. 200, p. 71–79, 2018.
- TAYEL, M. Y.; PIBARS, S. K.; MANSOUR, H. A.-G. Effect of drip irrigation method, nitrogen source, e flushing schedule on emitter clogging. **Agricultural Sciences**, v. 04, n. 03, p. 131–137, 2013.
- USDA. National Engineering Handbook. Em: **Sprinkler Irrigation**. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, 2016. p. 236.
- WANG, Z. et al. Field evaluation of fertigation performance for a drip irrigation system with different lateral layouts under low operation pressures. **Irrigation Science**, 8 nov. 2021.
- ZHAO, Y. et al. Drip fertigation with straw incorporation significantly reduces N<sub>2</sub>O emission e N leaching while maintaining high vegetable yields in solar greenhouse production. **Environmental Pollution**, v. 273, p. 1–10, 2021.

## CAPÍTULO II

### FRACIONAMENTO DA FERTILIZAÇÃO POTÁSSICA NO CULTIVO DA BATATA

#### Resumo

O potássio (K) é o nutriente requerido em maior quantidade pela batata (*Solanum tuberosum*). O fracionamento da fertilização potássica permite dividir a dose de K em função da marcha de absorção da batata utilizando técnicas de fertirrigação. A fertirrigação por gotejamento é bastante promissora para uma produção mais sustentável de tubérculos de batata. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de formas de fracionamento da fertilização potássica entre plantio e cobertura e de frequências de fertirrigação da fertilização de cobertura no crescimento de planta, rendimento e qualidade de tubérculos de batata. Para isso, quatro formas de fracionamento de K e três frequências de fertirrigação foram estudados em batata durante os anos 2019 e 2021. As formas de fracionamento de K foram: 100% de K na fertirrigação ( $K_{0-100}$ ), 15% no plantio e 85% em fertirrigação ( $K_{15-85}$ ), 30% no plantio e 70% em fertirrigação ( $K_{30-70}$ ), 45% no plantio e 55% em fertirrigação ( $K_{45-55}$ ). As frequências de fertirrigação foram intervalos entre fertirrigações de 3 (FF3), 6 (FF6) e 9 (FF9) dias. Todos os tratamentos receberam a mesma quantidade de K ( $220 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ ). Variáveis relacionadas ao crescimento das plantas, rendimento e qualidade de tubérculos foram mensuradas. A interação entre as formas de fracionamento de K e as frequências de fertirrigação não foi significativa para as variáveis mensuradas. A ausência de fertilização potássica de plantio ( $K_{0-100}$ ) prejudicou o crescimento de plantas e rendimento de tubérculos em uma temporada. A frequência de fertirrigação FF6 melhorou o crescimento e massa de tubérculos média em uma safra. Os tratamentos não impactaram significativamente na qualidade de tubérculos de batata em qualquer época. Os tratamentos forneceram muitos resultados semelhantes nas condições experimentais deste estudo. Um programa de fertilização com algum K aplicado plantio e fertirrigação frequente, como o tratamento  $K_{30-70}$  e a frequência FF3, fazem sentido lógico com base neste trabalho e pesquisas anteriores. Pesquisas adicionais sob uma série de condições experimentais podem ajudar a refinar ainda mais as recomendações de fertirrigação K para batata.

**Palavras-chave:** fertirrigação; gotejamento, cloreto de potássico, irrigação, *Solanum tuberosum*.

## Introdução

A batata (*Solanum tuberosum*) é uma hortaliça amplamente cultivada em todo o mundo. Os tubérculos da batata são fonte rica em carboidratos. A produção mundial de tubérculos em 2019 foi cerca de 465 milhões de toneladas (FAO, 2019). No Brasil, a produção de tubérculos produção foi de 3,85 milhões de toneladas (IBGE, 2020).

A planta de batata exige grandes quantidades de potássio (K). Esse nutriente participa de diversas funções na planta, como regulação osmótica, alongamento de folhas e raízes, fotossíntese, transporte de fotoassimilados e transpiração (TORABIAN et al., 2021). A deficiência de K causa reduções na produtividade, gravidade específica, proteínas, celulose e amido de tubérculos (ABDELGADIR et al., 2003; KANG et al., 2014; MCNABNAY et al., 1999; PANIQUE et al., 1997).

Os fertilizantes potássicos mais usados na batata são sulfato de potássio e cloreto de potássio (TORABIAN et al., 2021). As formas de aplicação de K são em dose única no plantio ou fracionada no plantio e uma ou mais aplicações em cobertura. Estudos prévios mostraram o efeito positivo da fertilização fracionada no rendimento de diversas culturas da família Solanaceae (KARAM et al., 2011; LUO; LI, 2018; MAROUELLI et al., 2015). Em batata, a resposta da fertilização potássica depende do K trocável no solo (TORABIAN et al., 2021).

A vantagem da fertilização fracionada é divisão da dose do fertilizante em função da marcha de absorção do nutriente. A planta de batata possui máxima absorção de K aproximadamente entre 40 e 50 dias após o plantio (FERNANDES; SORATTO; SILVA, 2011). Entretanto, em cultivos irrigados, a fertilização pode ser bastante fracionada através de técnicas de fertirrigação (FONTES; DIAS; GRAÇA, 2005). A fertirrigação consiste na aplicação de fertilizantes hidrossolúveis para as culturas agrícolas utilizando a água de irrigação (BAR-YOSEF, 1999).

Quando corretamente empregada, a fertirrigação pode ser usada em qualquer sistema de irrigação. Entretanto, a fertirrigação é principalmente adotada em irrigação por gotejamento devido à entrega de água e nutrientes diretamente na zona radicular, maior eficiência de distribuição de água e menores perdas por evaporação e drenagem profunda (AMER; SAMAK; HATFIELD, 2016). Em batata, a fertirrigação por gotejamento aumentou a produtividade de tubérculos em 40,3% comparado práticas tradicionais de aplicação de fertilizantes dos agricultores (LI et al., 2021).

No cultivo fertirrigado é necessário a definição do fracionamento da dose do fertilizante entre plantio e cobertura e da frequência da fertirrigação. Estudos prévios mostraram incremento na produtividade de diversas culturas quando mais da metade dos nutrientes foram

aplicados em cobertura (CORRÊA et al., 2018; LUO; LI, 2018; MAROUELLI et al., 2015) e quanto o intervalo entre fertirrigações foi de 1 a 8 dias para nitrogênio (N) (BADR; TAALAB; EL-TOHAMY, 2011; CHAWLA; NARDA, 2001; GHIYAL; BHATIA, 2017a), de 1 dia para fósforo (P) (EISSA, 2018) e de 6 dias para N-P-K aplicados juntos (SAMPATHKUMAR; PANDIAN, 2010). Geralmente, intervalos entre fertirrigação de até 15 dias maximiza o rendimentos de diversas culturas (BADR; TAALAB; EL-TOHAMY, 2011; COOK; SANDERS, 1991; GHIYAL; BHATIA; MAAN, 2016; RAJPUT; PATEL, 2006; SAMPATHKUMAR; PANDIAN, 2010).

A fertirrigação por gotejamento é bastante promissora para uma produção mais sustentável de tubérculos de batata (LI et al., 2021). No entanto, não há estudos que examinaram a proporção ideal da fertilização potássica de plantio e de cobertura e a frequência da fertirrigação ideal da fertilização de cobertura para maximização da produtividade e qualidade de tubérculos na cultura da batata. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de formas de fracionamento da fertilização potássica entre plantio e cobertura e de frequências de fertirrigação da fertilização de cobertura no crescimento de planta, rendimento e qualidade de tubérculos de batata.

## **Material e métodos**

### **Descrição da área**

Os experimentos de campo foram conduzidos em 2019 e 2021 na Área Experimental de Irrigação e Drenagem da Universidade Federal de Viçosa (20° 46' 9,6" S, 42° 51' 42,4" W, 651 m) em Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Neste local, o tipo de solo é argiloso (SANTOS et al., 2018). Amostras de solo foram coletadas antes do plantio para determinar as características químicas e físico-hídricas de acordo com TEIXEIRA et al. (2017) (Tabela 2.1).

**Tabela 2.1.** Características químicas e físico-hídricas de duas camadas do solo da área experimental.

Saфра	2019		2021	
	0-20	20-40	0-20	20-40
Profundidade (cm)				
pH em H <sub>2</sub> O	5.17	5.02	5.30	4.90
P (mg dm <sup>-3</sup> )	21.1	3.60	14.9	5.3
K (mg dm <sup>-3</sup> )	120	23	118	47
S (mg dm <sup>-3</sup> )	2.3	12.7	3.2	9.8
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3.03	1.91	2.50	1.51
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1.15	0.55	0.83	0.37
MO (dag kg <sup>-1</sup> )	3.29	2.63	3.22	2.15
B (mg dm <sup>-3</sup> )	0.83	0.74	0.13	0.13
Argila (dag kg <sup>-1</sup> )	604	634	604	634
Silte (dag kg <sup>-1</sup> )	206	212	206	212
Areia (dag kg <sup>-1</sup> )	190	154	190	154
Ds (g cm <sup>-3</sup> )	1.20	1.18	1.15	1.20
θ <sub>CC</sub> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0.46	0.51	0.46	0.51
θ <sub>PMP</sub> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0.25	0.26	0.25	0.26

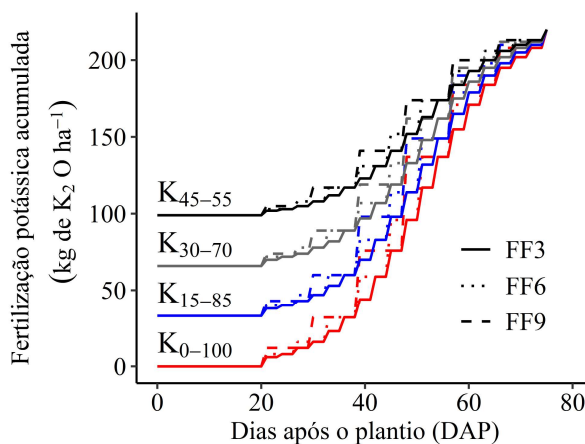
P e K extraídos com Mehlich-1; Ca e Mg extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; S extraídos com fosfato monocalcico em ácido acético 1 mol L<sup>-1</sup>; MO é matéria orgânica pelo método Walkley-Black; B extraído por água quente; Ds é a densidade do solo; θ<sub>CC</sub> é capacidade de campo à -0.01 MPa e θ<sub>PMP</sub> é ponto de murcha permanente à -15 MPa.

### Tratamentos e desenho experimental

O arranjo experimental fatorial (4 x 3) foi adotado. Os experimentos foram conduzidos em no delineamento em blocos ao acaso com cinco repetições, totalizando 60 parcelas. Os fatores estudados foram formas de fracionamento e três frequências de fertirrigação da fertilização potássica. As formas de fracionamento da fertilização de K consistiram em quatro proporções entre fertilização de plantio e fertilização de cobertura via fertirrigação, sendo K<sub>0-100</sub>: 0% no plantio e 100% em fertirrigação, K<sub>15-85</sub>: 15% no plantio e 85% em fertirrigação, K<sub>30-70</sub>: 30% no plantio e 70% em fertirrigação, K<sub>45-55</sub>: 45% no plantio e 55% em fertirrigação. A fertirrigação da fertilização de K de cobertura foi dividida e aplicada com três frequências de fertirrigação: intervalos entre fertirrigações de 3, 6 e 9 dias (designados por FF3, FF6 e FF9, respectivamente), resultando em 19, 10 e 7 fertirrigações por safra, respectivamente.

A dose de K foi de 220 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, calculada com base na extração da planta para uma produtividade esperada de 37 Mg ha<sup>-1</sup> de tubérculos (FERNANDES et al., 2010; FERNANDES; SORATTO; SILVA, 2011), no resultado da análise química do solo (Tabela 2.1) e na eficiência da recuperação dos fertilizantes (FONTES; DIAS; GRAÇA, 2005). Cloreto de potássio (KCl, 60% de K<sub>2</sub>O) foi a fonte de K. A fertirrigação começou em 21 dias após o

plântio (DAP), com cerca de 80% das brotações visíveis acima do solo, e finalizou em 75 DAP. A quantidade de KCl em cada fertirrigação foi proporcional à curva de absorção de K da batata (FERNANDES; SORATTO; SILVA, 2011). A fertilização acumulada de K ao longo do ciclo da batata para cada tratamento está apresentada na Figura 2.1.



**Figura 2.1.** Fertilização acumulada de potássio para cada tratamento ao longo do ciclo de cultivo da batata. Métodos de aplicação de K foram K<sub>0-100</sub>: 0% em plantio e 100% em cobertura, K<sub>15-85</sub>: 15% em plantio e 85% na cobertura, K<sub>30-70</sub>: 30% em plantio e 70% na cobertura, K<sub>45-55</sub>: 45% em plantio e 55% na cobertura. FF3, FF6 e FF9 foram frequências de fertirrigação de 3, 6 e 9 dias, respectivamente.

### Nutrição complementar da batata

Os fertilizantes no plantio foram monoamônico-fosfato, nitrato de cálcio, sulfato de magnésio, sulfato de amônio e ácido bórico que forneceram 88, 145, 23, 9, 62 e 1 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio, enxofre e boro, respectivamente. Boro somente foi fornecido em 2021 por causa da baixa concentração no solo (Tabela 2.1). Uma fração da dose desses fertilizantes complementares foi aplicada manualmente nos sulcos de plantio juntamente com KCl. A dose remanescente foi fornecida via fertirrigação aos 21 DAP, 39 DAP e 48 DAP.

### Plantio dos tubérculos e práticas agrônômicas

O preparo do solo foi feito com arado de discos, grade de discos e enxada rotativa e subsolador para descompactar camadas compactadas e melhorar a aeração do solo. O plantio foi realizado em 2 de agosto de 2019 e em 7 de abril de 2021. A parcela foi composta por uma fileira com 10 plantas (3,0 m<sup>2</sup>). Os sulcos foram espaçados de 1,0 m com 10 cm de profundidade e foram abertos com cultivador. Os fertilizantes da adubação de plantio foram depositados no sulco e cobertos como uma camada de 5 cm de solo. Em seguida, tubérculos de batata cultivar

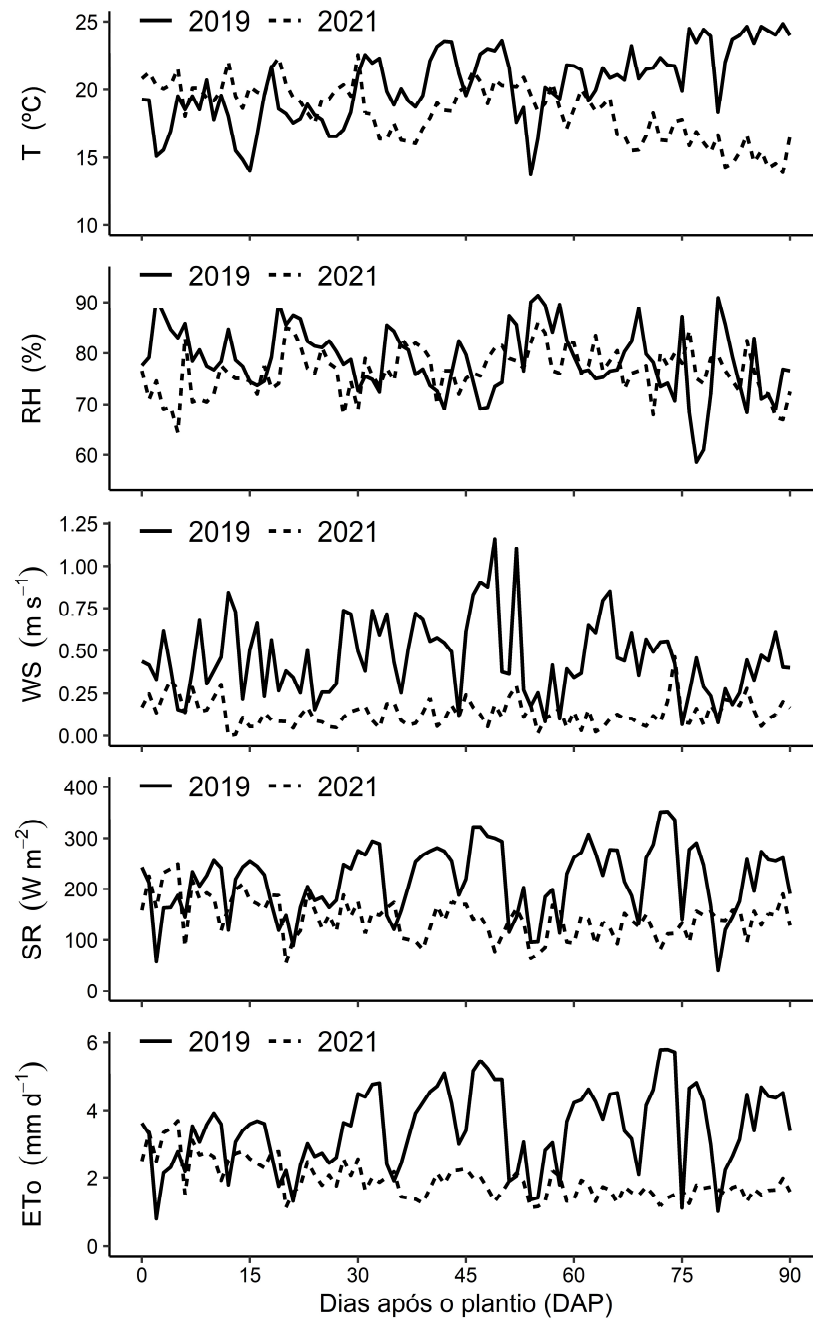
Ágata com peso de aproximadamente 78 foram distribuídos a cada 30 cm e cobertos com uma camada de 5 cm de solo. A cultivar Ágata é amplamente plantada no Brasil para o mercado fresco e têm um ciclo de vida precoce (ASSUNÇÃO et al., 2021). Amontoa foi realizado em 33 DAP, formando um camalhão de 20-25 cm de altura e 60 cm de largura. Essa prática, bastante comum no Brasil, tem o objetivo de controlar plantas daninhas, proteger os tubérculos contra radiação solar, melhorar a drenagem e aeração do solo (FONTES, 2005; NICK; BORÉM, 2017). Os insetos e doenças foram controlados usando práticas padrões recomendadas para batata (NICK; BORÉM, 2017).

### **Sistema de irrigação por gotejamento e fertirrigação**

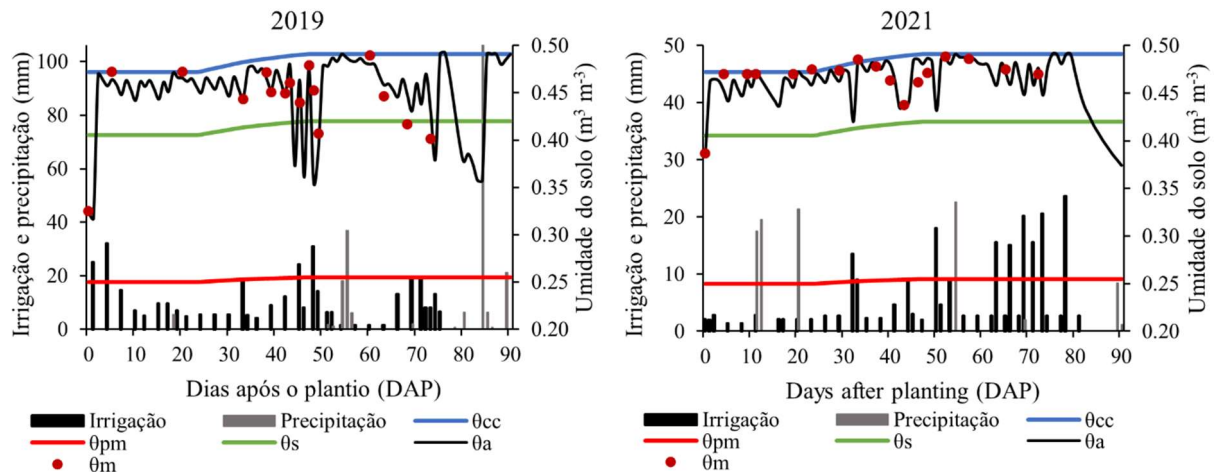
Na fertirrigação foi usada uma fita gotejadora para cada fileira de plantas com emissores espaçados de 30 cm, vazão de 1,87 L h<sup>-1</sup> e uniformidade pelo coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) de 98%. Cada tratamento possuía uma fita gotejadora independente para aplicar o K na dose e no momento correto. A água apresentou pH de 6,7 e condutividade elétrica de 68  $\mu\text{S cm}^{-1}$ . As irrigações foram realizadas a cada 3 dias.

Em cada fertirrigação, os fertilizantes foram diluídos em 20 L de água. Previamente, o sistema de irrigação foi pressurizado durante 5 minutos para estabilização da vazão e da pressão. Em seguida, a solução foi injetada com bomba centrífuga durante 15 minutos. Por fim, o sistema continuou operando no mínimo por 15 minutos para limpeza da tubulação ou até aplicar a lâmina de irrigação requerida. O tempo de 15 minutos foi suficiente para promover uma uniformidade de distribuição dos fertilizantes satisfatória.

A quantidade de água requerida para irrigação foi calculada conforme a metodologia descrita em ALLEN et al. (1998). Para isso, utilizaram-se dados meteorológicos de uma estação meteorológica (DAVIS, Vantage Pro, Davis, USA) local (Figura 2.2) para estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) por Penman-Monteith e coeficientes da cultura (PAREDES et al., 2018). O balanço de água no solo e o manejo da irrigação foi realizado (SILVA et al., 2020; SOUZA et al., 2020), considerando as características físico-hídricas do solo (Tabela 2.1). Em geral, houve uma adequada disponibilidade de água durante todo o ciclo de cultivo da batata (Figuras 3). Em 2019 e 2021, os valores acumulados de ET<sub>o</sub> foram de 315 mm e 177 mm, as lâminas brutas de irrigação aplicadas foram de 369 e 106 mm distribuídas em 36 e 37 irrigações e as precipitações totais foram de 212 mm e 83 mm, respectivamente (Figuras 2.2 e 2.3).



**Figura 2.2.** Temperatura do ar média (T), umidade relativa do ar média (RU), velocidade do vento (WS), radiação solar (SR) e evapotranspiração de referência (ETo) diários durante as safras de batata 2019 e 2021.



**Figura 2.3.** Balanço de água no solo em 2019 (esquerda) e 2021 (direita). As linhas contínuas indicam a capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ), ponto de murcha ( $\theta_{pm}$ ), limite inferior da água facilmente disponível ( $\theta_s$ ) e umidade do solo atual ( $\theta_a$ ) do solo. Os pontos em vermelho indicam a umidade do solo calculada via medidas de tensiômetros ( $\theta_m$ ). As barras indicam as lâminas líquidas de irrigação e precipitações pluviiais.

### Variáveis mensuradas

O vigor vegetativo da superfície do dossel das plantas de batata foi quantificado através do *normalized difference vegetation index* (NDVI) medido semanalmente com equipamento portátil de sensoriamento remoto (GreenSeeker, Trimble, USA). Em seguida, o NDVI cumulativo foi calculado integrando o índice de vegetação NDVI em função de dias após o plantio utilizando um modelo matemático numérico inteiro com o pacote Sfsmisc (MAEHLER, 2021) disponível para o Software R (R CORE TEAM, 2021), conforme Santos et al. (2021). A altura de planta foi medida com auxílio de uma régua em relação ao nível do solo aos 70 dias após o plantio.

A produtividade de tubérculos de todas as plantas de cada parcela foi determinada aos 90 dias após o plantio. A produtividade foi contabilizada por tubérculos com diâmetro transversal superior a 28 mm (CEAGESP, 2015).

A qualidade dos tubérculos de batata foi avaliada após a colheita. Os sólidos solúveis foram medidos pelo suco da polpa utilizando um refratômetro digital portátil (HANNA, modelo HI 96801, ITA) com compensação de temperatura (à 25 °C). A matéria seca de tubérculos foi calculada com base em massa fresca e em massa seco, após secagem em estufa com ventilação forçada à 70° C por 72 horas. Uma subamostra de ~3.0 kg de tubérculos de cada parcela foi usada para determinação da gravidade específica pelo método de pesagem em ar/pesagem em água (GAO et al., 2018).

O teor de amido foi quantificado em uma amostra de 2,5 g de polpa fresca de quatro tubérculos. Para tal, a amostra foi depositada em frascos com álcool 80% fervente e armazenadas sob refrigeração. Em seguida, essas amostras foram trituradas com auxílio de um Politron e vertidas em tubo tipo falcon para centrifugação à 5000 rpm durante 10 minutos. Esse processo foi repetido duas vezes. O pellet formado durante a centrifugação foi seco em estufa a 70 °C até atingir massa constante e utilizado para quantificação do teor de amido. O pellet, após a secagem, foi macerado em almofariz até completa homogeneização. Para extração do amido, 100 mg da massa seca de cada amostra foram retiradas, acrescentando-se 4 ml de HCl a 4%, seguido de incubação a 100 °C por 1 hora (CHAVAN; SAXENA; TIGOTE, 2015). Em seguida, a quantificação de amido foi realizada com espectrofotômetro a 540 nm pelo método de DNS (GONÇALVES et al., 2010).

### **Análise dos dados**

As variáveis analisadas foram submetidas à análise de variância com as hipóteses testadas pelo teste F ( $p < 0,05$ ) e as médias foram diferenciadas pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ) utilizando o pacote ExpDes.pt (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2021) disponível no software R (R CORE TEAM, 2021).

### **Resultados**

#### **NDVI cumulativo e altura de plantas**

A interação entre as formas de fracionamento de K e as frequências de fertirrigação não foi significativa para as variáveis relacionadas com crescimento de planta e rendimento de tubérculos da batata (Tabela 2.4). Para a variável NDVI cumulativo, a forma de fracionamento K<sub>30-70</sub> foi apenas significativamente maior de uma das demais formas de fracionamento na safra 2021. As frequências de fertirrigação não afetaram o NDVI cumulativo em ambas as épocas. A altura de plantas de batata não foi afetada pelas formas de fracionamento da K em qualquer época. No entanto, as frequências de fertirrigação tiveram efeito significativo na altura de plantas na safra 2021. A frequências de fertirrigação FF3 foi significativamente inferior a FF6 e FF9.

**Tabela 2.2.** Efeito da forma de fracionamento de K e da frequência de fertirrigação no NDVI acumulativo, altura de plantas, produtividade e massa médio de tubérculos de batata nas safras 2019 e 2021. Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ).

Tratamentos		NDVI acumulativo		Altura de plantas (cm)		Produtividade total (kg m <sup>-2</sup> )		Massa média de tubérculos (g)	
		2019	2021	2019	2021	2019	2021	2019	2021
Ano									
Métodos de aplicação de K (MK)	K <sub>0-100</sub>	43.1	33.4 b	46.8	40.3	3.45	2.78 b	124	95
	K <sub>15-85</sub>	43.9	35.5 ab	48.1	41.2	3.34	2.84 b	115	93
	K <sub>30-70</sub>	45.0	36.7 a	46.7	43.2	3.56	3.28 a	120	97
	K <sub>45-55</sub>	42.6	35.5 ab	48.0	40.9	3.33	2.90 b	119	93
Frequências de fertirrigação (FF)	FF3	44.0	34.4	47.4	38.5 b	3.48	2.91	117 ab	95
	FF6	43.3	35.3	47.6	42.5 a	3.49	2.93	128 a	95
	FF9	43.6	36.0	47.1	43.3 a	3.31	3.08	114 b	93
Teste de significância ( <i>P values</i> )									
MK		0.139	0.008	0.554	0.150	0.493	0.002	0.661	0.761
FF		0.787	0.135	0.893	<0.001	0.401	0.449	0.033	0.885
MK x FF		0.898	0.251	0.588	0.322	0.249	0.054	0.411	0.818

A forma de fracionamento de K teve efeito significativo na produtividade total de tubérculos de batata na safra 2021 (Tabela 2.2). A forma de fracionamento K<sub>30-70</sub> foi significativamente superior comparado com as demais formas de fracionamento de K. As frequências de fertirrigação não impactaram na produtividade total de tubérculos em qualquer época. A massa média de tubérculos não foi impactada pelas formas de fracionamento de K em qualquer época. No entanto, as frequências de fertirrigação teve efeito significativo na massa de tubérculos na safra de 2019. A frequências de fertirrigação FF6 foi significativamente superior à FF9.

A interação entre as formas de fracionamento de K e as frequências de fertirrigação e o efeito isolado das formas de fracionamento de K e das frequências de fertirrigação não foram significativos para as variáveis relacionadas com qualidade de tubérculos da batata (Tabela 2.3).

**Tabela 2.3.** Efeito do método de aplicação de K e da frequência de fertirrigação em sólidos solúveis da polpa (SS), matéria seca (MS), gravidade específica (GR) e teor de amido na matéria seca (TA). Teste de significância pela análise de variância (ANOVA).

Tratamentos		Sólidos solúveis (°Brix)		Matéria seca (%)		Gravidade específica (kg kg <sup>-1</sup> )		Amido (g kg <sup>-1</sup> )	
		2019	2021	2019	2021	2019	2021	2019	2021
Ano		2019	2021	2019	2021	2019	2021	2019	2021
Método de aplicação de K (MK)	K <sub>0-100</sub>	2.85	4.63	13.9	14.3	1.097	1.081	643	688
	K <sub>15-85</sub>	2.83	4.31	13.3	14.3	1.096	1.081	599	617
	K <sub>30-70</sub>	2.91	4.25	13.9	13.9	1.097	1.080	564	591
	K <sub>45-55</sub>	2.82	4.38	13.6	14.4	1.098	1.008	558	496
Frequência de fertirrigação (FF)	FF3	2.85	4.44	13.7	14.2	1.097	1.080	563	628
	FF6	2.80	4.34	13.7	14.2	1.096	1.080	593	582
	FF9	2.92	4.39	13.8	14.3	1.098	1.081	515	589
Teste de significância (P values)									
MK		0.726	0.216	0.263	0.869	0.954	0.862	0.352	0.360
FF		0.292	0.830	0.945	0.974	0.638	0.815	0.512	0.895
MK x FF		0.324	0.534	0.909	0.923	0.699	0.880	0.206	0.695

## Discussão

Neste estudo, a ausência da fertilização com K no plantio (K<sub>0-100</sub>) prejudicou o crescimento e rendimento da batata. A fertilização de plantio é fundamental para fornecer uma concentração adequada de nutrientes no solo e promover um desenvolvimento inicial vigoroso da cultura. Nessa fase fenológica, o volume de solo explorado pelas raízes é baixo, o que pode limitar o crescimento das plantas, principalmente em solos com baixa fertilidade. Estudos prévios com fracionamento da fertilização em diversas culturas mostraram que uma parte do nutriente deve ser aplicado no plantio para maximizar a produtividade (CORRÊA et al., 2018; LUO; LI, 2018; MAROUELLI et al., 2015). No entanto, a fertilização de K feita somente no plantio pode causar salinização (TORABIAN et al., 2021) e prejudicar a absorção de outros nutrientes (JOB et al., 2019). Neste estudo não foi adotado fertilização de K totalmente no plantio.

Na planta, o K atua no alongamento de raízes, expansão foliar, fotossíntese, transporte de carboidratos, ativação de enzimas e controle osmótico (TORABIAN et al., 2021). O K favorece ainda o status de alta energia que auxilia a cultura na absorção de água e na translocação de nutrientes absorvidos pelas raízes (ZELELEW et al., 2016). A fertilização com K adequada promove maior altura de plantas, área foliar e teor de clorofila nas folhas de batata (AL-MOSHILEH; ERREBHI; MOTAWEI, 2005). O que maximiza a fotossíntese e, conseqüentemente, aumenta a produtividade (WANG et al., 2017). Isso explica a maior

crescimento das plantas e, conseqüentemente, produtividade da batata que recebeu uma parte de K no plantio, como K<sub>30-70</sub>.

A fertirrigação por gotejamento permite aplicação dos nutrientes de forma parcelada e frequente em função da marcha de absorção de nutrientes da cultura. Isso pode reduzir a flutuação da concentração de nutrientes no solo, minimizar a lixiviação (RAJPUT; PATEL, 2006), reduzir competição entre nutrientes por sítios de absorção (TORABIAN et al., 2021), favorecer absorção de nutrientes (AQUINO et al., 2021; GHIYAL; BHATIA, 2017b) e maximizar a produtividade (COOK; SANDERS, 1991; SAMPATHKUMAR; PANDIAN, 2010).

A frequência adequada de fertirrigação pode ser essencial para promover uma boa disponibilidade de nutrientes no solo para a planta. Pesquisas anteriores mostram que o intervalo entre cada fertirrigação que maximizou a produtividade tubérculos de batata foi de 1 a 8 dias para nitrogênio (N) (BADR; TAALAB; EL-TOHAMY, 2011; CHAWLA; NARDA, 2001; GHIYAL; BHATIA, 2017a), de 1 dia para fósforo (P) (EISSA, 2018) e de 6 dias para N-P-K aplicados juntos (SAMPATHKUMAR; PANDIAN, 2010). Geralmente, intervalos entre fertirrigação acima de 15 dias podem causar reduções nos rendimentos das culturas (BADR; TAALAB; EL-TOHAMY, 2011; COOK; SANDERS, 1991; GHIYAL; BHATIA; MAAN, 2016; RAJPUT; PATEL, 2006; SAMPATHKUMAR; PANDIAN, 2010). No presente estudo, a frequência de fertirrigação não impactou na produtividade de tubérculos. Porém, fertirrigações a cada 6 dias (FF6) promoveu maior massa de tubérculos média. Mais pesquisas devem ser realizadas com amplitude maior de intervalo entre fertirrigações, tipos de solo e níveis de contração de K.

Estudos prévios mostraram pouco crescimento de planta de batata em solos com alta concentração de K trocável (SORATTO et al., 2020) e em solo argiloso (THOMPSON et al., 2003). Também não foram verificadas respostas no rendimento de tubérculos em solos com alta fertilidade, como com K trocável acima de 80 mg kg<sup>-1</sup> (ROSEN; WANG; BIRONG, 1996), 120 mg kg<sup>-1</sup> (ALLISON; FOWLER; ALLEN, 2001) e 125 mg kg<sup>-1</sup> (PANIQUE et al., 1997). Essas condições foram observadas no presente estudo, teor de argila de 600 g kg<sup>-1</sup> e teor de K de 118-120 mg kg<sup>-1</sup>. Pois, o solo argiloso com alta fertilidade de K promove um efeito tampão, ou seja, capacidade de troca catiônica alta regula a flutuação e mantém mais constante a concentração de K na solução do solo para absorção pela planta. O que pode explicar as poucas diferenças observadas entre os tratamentos.

A fertilização de K adequada é essencial para aumento de produtividade (SILVA; FONTES, 2016; SINGH; LAL, 2012) e qualidade de tubérculos (MOHR; TOMASIEWICZ,

2012). Para isso, a estratégia de fertilização deve ser adequadamente recomendada de acordo com exigência nutricional da cultura, fertilidade e textura do solo. Neste estudo, os tratamentos pouco afetaram a qualidade de tubérculos. Estudos prévios mostraram que a fertilização excessiva de K diminui a gravidade específica e matéria seca (SILVA; FONTES, 2016) porém, aumenta a firmeza de tubérculos (JOB et al., 2019).

Os resultados deste estudo indicaram que os tratamentos pouco impactaram no crescimento, rendimento e qualidade de tubérculos de batata. Por isso, pesquisas adicionais sob uma série de condições experimentais podem ajudar a refinar ainda mais as recomendações de fertirrigação K para batata.

### **Conclusão**

Os tratamentos forneceram muitos resultados semelhantes de crescimento, rendimento e qualidade de tubérculos nas condições experimentais. Um programa de fertilização com alguma fração de K aplicado no plantio e fertirrigação frequente, como a forma de fracionamento K<sub>30-70</sub> e a frequência de fertirrigação FF3, faz sentido lógico com base neste trabalho e em pesquisas anteriores.

### **Referências**

- ABDELGADIR, A. H. et al. The effect of different levels of additional potassium on yield and industrial qualities of potato (*Solanum tuberosum* L.) in an irrigated arid region. **American Journal of Potato Research**, v. 80, n. 3, p. 219–222, maio 2003.
- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. v. 56
- ALLISON, M. F.; FOWLER, J. H.; ALLEN, E. J. Responses of potato (*Solanum tuberosum*) to potassium fertilizers. **The Journal of Agricultural Science**, v. 136, n. 4, p. 407–426, 2001.
- AL-MOSHILEH, A. M.; ERREBHI, M. A.; MOTAWEI, M. I. EFFECT OF VARIOUS POTASSIUM AND NITROGEN RATES AND SPLITTING METHODS ON POTATO UNDER SANDY SOIL AND ARID ENVIRONMENTAL CONDITIONS. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, p. 1–9, 2005.
- AMER, K. H.; SAMAK, A. A.; HATFIELD, J. L. Effect of Irrigation Method and Non-Uniformity of Irrigation on Potato Performance and Quality. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 08, n. 03, p. 277–292, 2016.

- AQUINO, R. F. B. A. DE et al. Split fertilization of phosphate in onion as strategy to improve the phosphorus use efficiency. **Scientia Horticulturae**, v. 290, p. 1–7, 2021.
- ASSUNÇÃO, N. S. et al. Tuber Yield and Quality of Two Potato Cultivars in Response to Nitrogen Fertilizer Management. **Potato Research**, v. 64, n. 2, p. 147–166, jun. 2021.
- BADR, M. A.; TAALAB, A. S.; EL-TOHAMY, W. A. Nitrogen application rate and fertigation frequency for drip-irrigated potato. v. 5, n. 7, p. 817–825, 2011.
- BAR-YOSEF, B. Advances in Fertigation. Em: SPARKS, D. L. (Ed.). **Advances in Agronomy**. [s.l.] Academic Press, 1999. v. 65p. 1–77.
- CEAGESP. Batata *Solanum tuberosum* L. **Normas de Classificação. Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo.**, 2015.
- CHAVAN, R.; SAXENA, K.; TIGOTE, D. Optimization of Acid Hydrolysis Process for Free Glucose Recovery From Starch. **International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology**, v. 2, p. 55–58, 2015.
- CHAWLA, J. K.; NARDA, N. K. Economy in water and fertilizer use in trickle fertigated potato. **Irrigation and Drainage**, v. 50, n. 2, p. 129–137, 2001.
- COOK, W. P.; SANDERS, D. C. Nitrogen application frequency for drip-irrigated tomatoes. **HortScience**, v. 26, n. 3, p. 250–252, 1 mar. 1991.
- CORRÊA, C. V. et al. The split application of potassium influence the production, nutrients extraction, and quality of sweet potatoes. **Journal of Plant Nutrition**, v. 41, n. 16, p. 2048–2056, 2 out. 2018.
- EISSA, M. A. Efficiency of P Fertigation for Drip-Irrigated Potato Grown on Calcareous Sandy Soils. **Potato Research**, v. 62, n. 1, p. 97–108, 2018.
- FAO. **FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations)**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 11 maio. 2021.
- FERNANDES, A. M. et al. Crescimento, acúmulo e distribuição de matéria seca em cultivares de batata na safra de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 8, p. 826–835, 2010.
- FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P.; SILVA, B. L. Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: I - macronutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, p. 2039–2056, 2011.
- FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (Portugues)**. Retrieved Feb 25, 2021 from <https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt>. [s.l: s.n.].
- FONTES, P. C. R. **Olericultura teoria e prática**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2005.

- FONTES, P. C. R.; DIAS, E. N.; GRAÇA, R. N. Acúmulo de nutrientes e método para estimar doses de nitrogênio e de potássio na fertirrigação do pimentão. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 2, p. 275–280, jun. 2005.
- GAO, X. et al. Yield and Nitrogen Use of Irrigated Processing Potato in Response to Placement, Timing and Source of Nitrogen Fertilizer in Manitoba. **American Journal of Potato Research**, v. 95, n. 5, p. 513–525, out. 2018.
- GHIYAL, V.; BHATIA, A. K. Influence of Nitrogen Application Frequency on Yield and Economics of Drip Irrigated Potato (*Solanum tuberosum* L.) Cv. Kufri Bahar. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, p. 753–758, 2017a.
- GHIYAL, V.; BHATIA, A. K. Nutrient uptake and tuber yield influenced by nitrogen and irrigation frequency on potato Journal of ecology. **Indian Journal of Ecology**, v. 44, n. 4, p. 269–271, 2017b.
- GHIYAL, V.; BHATIA, A. K.; MAAN, D. S. Efficient Use of Water and Fertilizer Through Drip Fertigation in Potato (*Solanum tuberosum* L.) Cv. KufriBahar in Haryana. **Biosciences, Biotechnology Research Asia**, v. 13, n. 4, p. 2025–2030, 2016.
- GONÇALVES, C. et al. Adaptation of dinitrosalicylic acid method to microtiter plates. **Analytical Methods**, v. 2, n. 12, p. 2046–2048, 2010.
- IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**.
- JOB, A. L. G. et al. Potassium Fertilization for Fresh Market Potato Production in Tropical Soils. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 6, p. 3351–3362, 2019.
- KANG, W. et al. Luxury Absorption of Potassium by Potato Plants. **American Journal of Potato Research**, v. 91, n. 5, p. 573–578, out. 2014.
- KARAM, F. et al. Potato Response to Potassium Application Rates and Timing Under Semi-Arid Conditions. **Advances in Horticultural Science**, v. 25, n. 4, p. 265–268, 2011.
- LI, H. et al. 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, fev. 2021.
- LUO, H.; LI, F. Tomato yield, quality and water use efficiency under different drip fertigation strategies. **Scientia Horticulturae**, v. 235, p. 181–188, 17 maio 2018.
- MAECHLER, M. **sfsmisc: Utilities from “Seminar fuer Statistik” ETH Zurich**. Retrieved March 01, 2021 from <https://cran.r-project.org/web/packages/sfsmisc/index.html>. [s.l: s.n.].

- MAROUELLI, W. A. et al. Frações ótimas da adubação com fósforo no pré-plantio e na fertirrigação por gotejamento de tomateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 10, p. 949–957, out. 2015.
- MCNABNAY, M. et al. The effect of potassium deficiency on chemical, biochemical and physical factors commonly associated with blackspot development in potato tubers. **American Journal of Potato Research**, v. 76, n. 2, p. 53–60, mar. 1999.
- MOHR, R. M.; TOMASIEWICZ, D. J. Effect of rate and timing of potassium chloride application on the yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L. ‘Russet Burbank’). **Canadian Journal of Plant Science**, v. 92, n. 4, p. 783–794, jul. 2012.
- NICK, C.; BORÉM, A. **Batata do plantio a colheita**. Viçosa, BR: Editora UFV, 2017.
- PANIQUE, E. et al. Potassium rate and source effects on potato yield, quality, and disease interaction. **American Potato Journal**, v. 74, n. 6, p. 379–398, 1997.
- PAREDES, P. et al. Assessing potato transpiration, yield and water productivity under various water regimes and planting dates using the FAO dual Kc approach. **Agricultural Water Management**, v. 195, p. 11–24, 1 jan. 2018.
- R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2021.
- RAJPUT, T. B. S.; PATEL, N. Water and nitrate movement in drip-irrigated onion under fertigation and irrigation treatments. **Agricultural Water Management**, v. 79, n. 3, p. 293–311, 10 fev. 2006.
- ROSEN, C.; WANG, W.; BIRONG, D. Potassium Fertilizer Effects of Potato Yield and Petiole Sap Potassium Concentrations. **HortScience**, v. 31, n. 4, p. 592–592, 1996.
- SAMPATHKUMAR, T.; PANDIAN, B. J. Effect of Fertigation Frequencies and Levels on Growth and Yield of Maize. **Madras Agricultural Journal**, v. 97, p. 245–248, 2010.
- SANTOS, H. G. DOS et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, BR: Embrapa, 2018.
- SANTOS, R. A. DOS et al. Surface reflectance calculation and predictive models of biophysical parameters of maize crop from RG-NIR sensor on board a UAV. **Precision Agriculture**, v. 22, n. 5, p. 1535–1558, 1 out. 2021.
- SILVA, G. H. DA et al. Mulching materials and wetted soil percentages on zucchini cultivation. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44, p. 1–11, 2020.
- SILVA, H. R. F.; FONTES, P. C. R. Adubação potássica e seu efeito residual sobre a produtividade e a qualidade de tubérculos de batata. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 7, p. 842–848, jul. 2016.

- SINGH, S. K.; LAL, S. S. Effect of potassium nutrition on potato yield, quality and nutrient use efficiency under varied levels of nitrogen application. **Potato Journal**, v. 39, p. 155-165, 2012.
- SORATTO, R. P. et al. Biomass Accumulation and Nutritional Requirements of Potato as Affected by Potassium Supply. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, n. 3, p. 1051–1066, set. 2020.
- SOUZA, S. A. et al. Impact of Irrigation Frequency and Planting Density on Bean's Morpho-Physiological and Productive Traits. **Water**, v. 12, n. 9, p. 2468–2481, 2020.
- TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.
- THOMPSON, T. L. et al. Fertigation frequency for subsurface drip-irrigated broccoli. **Soil Science Society of America Journal**, v. 67, n. 3, p. 910–918, maio 2003.
- TORABIAN, S. et al. Potassium: A Vital Macronutrient in Potato Production—A Review. **Agronomy**, v. 11, n. 3, p. 543, 2021.
- WANG, C. et al. Effects of fertilization on leaf photosynthetic characteristics and grain yield in tartary buckwheat Yunqiao. **Photosynthetica**, v. 55, n. 1, p. 77–84, 1 mar. 2017.
- ZELELEW, D. Z. et al. Effect of Potassium Levels on Growth and Productivity of Potato Varieties. **American Journal of Plant Sciences**, v. 7, n. 12, p. 1629–1638, 19 ago. 2016.

### CAPÍTULO III

## TURNO DE REGA E PROFUNDIDADE DA FERTILIZAÇÃO DE PLANTIO NO CULTIVO DA BATATA IRRIGADA

### Resumo

A adoção conjunta de práticas agronômicas tem sido frequentemente adotada visando maximizar a eficiência dos insumos de produção, principalmente água e nutrientes. A batata (*Solanum tuberosum*) é uma hortaliça bastante exigente em água e nutrientes. o objetivo foi avaliar o efeito da frequência de irrigação e da fertilização profunda no crescimento de plantas, rendimento e qualidade dos tubérculos da batata cultivada com solo corrigido com gessagem e subsolagem. Os turnos de rega foram de 1 (TR1), 4 (TR4), 7 (TR7) e 10 (TR10) dias. As profundidades da fertilização de plantio foram 10 cm (DF10) e 20 cm (DF20). Os experimentos de campo foram realizados em 2020 e 2021. Os turnos de rega impactaram significativamente as características agronômicas consumo de água, crescimento da batata e qualidade de tubérculos. Os tratamentos pouco afetaram o desenvolvimento radicular da batata nas diferentes camadas. Irrigações com intervalo de tempo de 1 e 4 dias promoveram maior crescimento das plantas. A frequência de irrigação de 7 dias promoveu maior gravidade específica e sólidos solúveis nos tubérculos. A frequência de irrigação de 10 dias promoveu maior matéria seca nos tubérculos e produtividade de água. A diminuição da frequência reduziu a lâmina de irrigação sem impactar a produtividade e massa média de tubérculos e promoveu maior produtividade de água. A redução da frequência irrigação é promissora para aumentar a eficiência no uso da água na cultura da batata.

**Palavras chaves:** gotejamento; adubação basal; frequência; *Solanum tuberosum*.

### Introdução

A associação de práticas agronômicas para alcançar simultaneamente a alta eficiência no uso da água e de nutrientes e alta produtividade das culturas são necessárias na agricultura atual e futura, para minimizar o esgotamento dos recursos naturais e atender a demanda global de alimentos. Recentemente, estudos com turno de rega (FARA et al., 2019; MEKONNEN, 2018; ZHANG et al., 2019) e fertilização profunda (LIU et al., 2015; MIAH et al., 2016; PAN et al., 2017; WU et al., 2017) mostraram aumento da eficiência no uso da água e de nutrientes, respectivamente, em diversas culturas.

A diminuição da frequência de irrigação aumenta a flutuação da umidade do solo e isso estimula o crescimento e melhora a distribuição das raízes no solo. O sistema radicular mais robusto promove um desempenho maior na absorção de água e favorece as trocas gasosas nas folhas. Esse controle preciso da regulação estomática maximiza a fotossíntese e incrementa a produtividade (FARA et al., 2019). Estudos prévios mostraram que turno de rega de 6 dias para milho (ZHANG et al., 2019), 7 dias para tomate (FARA et al., 2019), e 8 dias para soja (MEKONNEN, 2018) promoveram alta produtividade. No entanto, a definição do turno de rega adequado deve levar em consideração de fatores da cultura, do solo e do clima (ALLEN et al., 1998).

Entre as irrigações, o solo superficial seca mais rapidamente comparado com o solo subsuperficial (ALLEN et al., 1998). Portanto, o turno de rega maior pode impactar negativamente na absorção de água e de nutrientes dessa camada superficial do solo. Em cultivos sem irrigação, a fertilização profunda melhorou a eficiência da fertilização e aumentou a produtividade (MA; RENGEL; ROSE, 2009). Nessa condição, em profundidade, a umidade do solo é maior e varia menos com a condição climática na superfície. Umidade do solo maior torna o nutriente mais disponível na solução do solo, aumentando a absorção pelas plantas.

Estudos prévios mostraram aumento da eficiência da fertilização e incremento da produtividade quando os fertilizantes foram distribuídos de 10-15 cm (MIAH et al., 2016; PAN et al., 2017; WU et al., 2017; YAO et al., 2018), 15-20 cm (MURPHY; ZAUROV, 1994; SU et al., 2015; TEWARI et al., 2007), 25-30 cm (SINGH; SALE; ROUTLEY, 2005) e mais de 30 cm (MA; RENGEL; ROSE, 2009) de profundidade. No entanto, a resposta da fertilização profunda depende, além do regime hídrico, da estação do ano, cultura, tipo de solo, sistema de cultivo, mobilidade do nutriente e fertilidade do solo (MA; RENGEL; ROSE, 2009).

A batata (*Solanum tuberosum*) é uma das hortaliças de maior importância econômica para o Brasil, sendo o Estado de Minas Gerais o maior produtor desse tubérculo (ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI&FRUTI, 2021). A batata é uma planta de crescimento rápido bastante exigente em água e nutrientes. A fertilização e a irrigação são práticas que aumentam significativamente a produtividade da batata (MAROUELLI; BRAGA; GUIMARÃES, 2013). A hipótese deste estudo foi que a combinação entre turno de rega e fertilização profunda pode promover maior absorção de água e de nutrientes, crescimento da planta e incremento de produtividade. Portanto, o objetivo foi avaliar o efeito da frequência de irrigação e da fertilização profunda no crescimento de plantas, rendimento, qualidade dos tubérculos e densidade de raízes da batata cultivada com solo corrigido com gessagem e subsolagem.

## Material e métodos

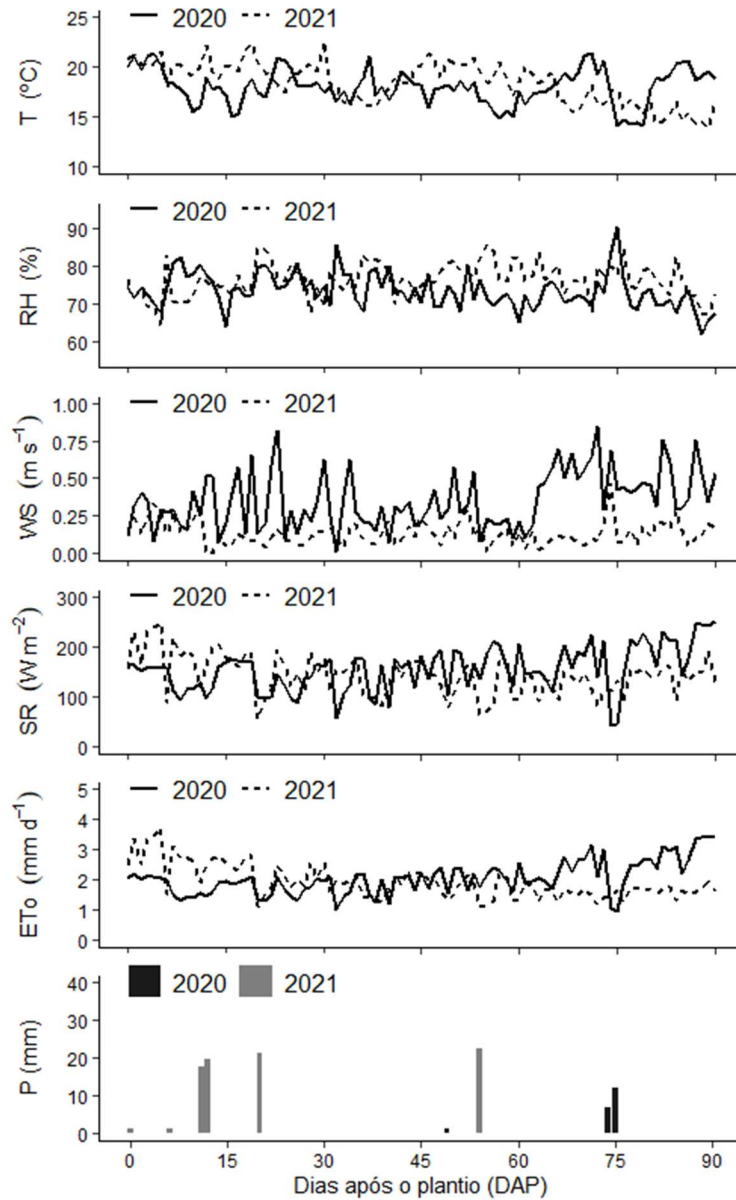
### Descrição da área experimental

Os experimentos de campo foram conduzidos em 2020 e 2021 na Área Experimental de Irrigação e Drenagem da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil (20° 46' 9,6" S, 42° 51' 42,4" W, 651 m). O solo local é do tipo argiloso (SANTOS et al., 2018). Na Tabela 3.1 está apresentado as características químicas e físico-hídricas de solo determinadas antes do plantio de acordo com Teixeira et al. (2017). O clima local é Cwa segundo classificação de Köppen e subtropical úmido com invernos secos e frios e verões quentes e chuvosos, com temperatura anual média de 21,8 °C e precipitação anual de 1361 mm (Alvares et al., 2013). As variáveis climáticas diárias foram obtidas de uma estação meteorológica (DAVIS, Vantage pro, Davis, USA) instalada ao lado da área experimental durante as duas safras está apresentado na Figura 3.1.

**Tabela 3.1.** Características químicas e físico-hídricas de duas camadas do solo da área experimental.

Safra	2020		2021	
Profundidade (cm)	0-20	20-40	0-20	20-40
pH em H <sub>2</sub> O	5,60	5,60	5,30	4,90
P (mg dm <sup>-3</sup> )	25,9	10,5	14,9	5,3
K (mg dm <sup>-3</sup> )	100	38	118	47
S (mg dm <sup>-3</sup> )	3,3	10,1	3,2	9,8
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,77	2,01	2,50	1,51
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,85	0,44	0,83	0,37
MO (dag kg <sup>-1</sup> )	2,96	2,10	3,22	2,15
B (mg dm <sup>-3</sup> )	0,04	0,00	0,13	0,13
Argila (dag kg <sup>-1</sup> )	604	634	604	634
Silte (dag kg <sup>-1</sup> )	206	212	206	212
Areia (dag kg <sup>-1</sup> )	190	154	190	154
Ds (g cm <sup>-3</sup> )	1,10	1,16	1,15	1,20
θ <sub>CC</sub> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,40	0,45	0,40	0,45
θ <sub>PMP</sub> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,20	0,26	0,20	0,26

P e K extraídos com Mehlich-1; Ca e Mg extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; S extraídos com fosfato monocálcico em ácido acético 1 mol L<sup>-1</sup>; MO é matéria orgânica pelo método Walkley-Black; B extraído por água quente; Ds é a densidade do solo; θ<sub>CC</sub> é capacidade de campo à -0.01 MPa e θ<sub>PMP</sub> é ponto de murcha permanente à -15 MPa.



**Figura 3.1.** Dados meteorológicos diários, incluindo temperatura do ar média (T), umidade relativa do ar média (RH), velocidade do vento (WS), radiação solar (SR), evapotranspiração de referência (ETo) e precipitação (P).

### Tratamentos e desenho experimental

Ambos os experimentos foram conduzidos em esquema fatorial (4 x 2) no delineamento de blocos ao acaso com cinco repetições, totalizando 40 parcelas. Os fatores foram quatro turnos de rega (intervalo entre irrigações) e duas profundidades de fertilização de plantio. Os turnos de rega foram 1 (TR1), 4 (TR4), 7 (TR7) ou 10 dias (TR10). As profundidades de fertilização de plantio foram 10 cm (DF10) e 20 cm (DF20). Cada parcela foi formada por uma fileira com dez plantas (3,0 m<sup>2</sup>).

### **Nutrição da batata**

Para melhorar a condição química do solo em profundidade, 1,0 ton ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola (17% Ca, 14% S) foi aplicado na área experimental previamente ao preparo do solo. No plantio foi aplicado 30% da dose de nitrogênio (N), 24% de potássio (K) e 100% da dose de fósforo (P), utilizando 750 kg ha<sup>-1</sup> de um fertilizante formulado N-P-K (04-14-08) mais 210 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples (00-20-00). As doses foram recomendadas com base na interpretação da análise química do solo (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999). A quantidade de N e K remanescente foi aplicada em cobertura por técnicas de fertirrigação, proporcionalmente a curva de absorção da batata (FERNANDES; SORATTO; SILVA, 2011), utilizando 422 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio (59% de K<sub>2</sub>O) e 156 kg ha<sup>-1</sup> de ureia (45% de N). Além disso, 5,9 kg ha<sup>-1</sup> ácido bórico (17% B) foi aplicado. Em ambas as safras, a quantidade total de nutrientes aplicados por meio dos fertilizantes foram 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, 145 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 250 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, 280 kg ha<sup>-1</sup> de Ca, 230 kg ha<sup>-1</sup> de S e 1 kg ha<sup>-1</sup> de B.

### **Plantio dos tubérculos e práticas agronômicas**

O preparo do solo foi feito de forma convencional com arado de discos, enxada rotativa e subsolador para descompactar camadas e melhorar a aeração do solo. Um cultivador foi utilizado para abertura de sulcos a cada 1,0 m com 10 cm e 20 cm de profundidade para deposição dos fertilizantes, de acordo com os tratamentos DF10 e DF20, respectivamente. Em seguida, os sulcos foram cobertos com uma camada de solo de 5 e 15 cm, respectivamente. Por fim, os tubérculos de batata cultivar Ágata (~78 g) foram distribuídos a cada 30 cm e os sulcos foram completamente cobertos com uma camada de solo de 5 cm. A batata Ágata é a principal cultivar plantada no Brasil para o mercado *in natura* (ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI&FRUTI, 2021; ASSUNÇÃO et al., 2021). Os plantios foram realizados em 8 de junho de 2020 e em 7 de abril de 2021.

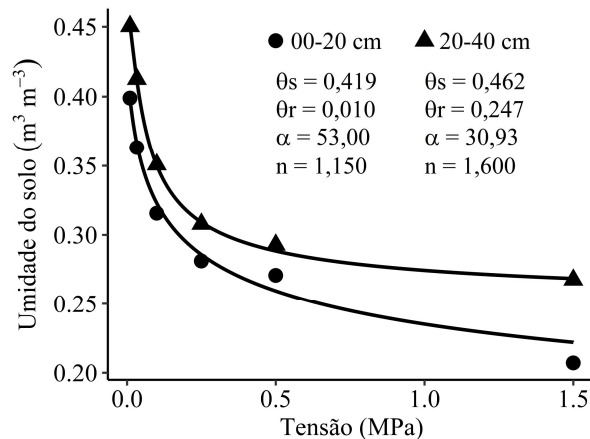
A prática de amontoa foi realizada aos 30 DAP, formando um camalhão de 20-25 cm de altura e 60 cm de largura. Essa prática, bastante adotada pelos agricultores brasileiros, permite controlar plantas daninhas, proteger os tubérculos contra radiação solar, melhorar a drenagem e aeração do solo (FONTES, 2005; NICK; BORÉM, 2017). Durante o ciclo da batata, os insetos e doenças foram controlados usando práticas padrões recomendadas para a cultura batata (NICK; BORÉM, 2017).

### **Manejo da irrigação**

O sistema de irrigação por gotejamento superficial foi utilizado. Cada fita gotejadora possuía 16 mm de diâmetro com gotejadores espaçados a cada 30 cm, vazão de 1,40 L h<sup>-1</sup> por gotejador e pressão de operação de 0,1 MPa (1,0 Bar). Uma fita de gotejamento foi instalada em cada fileira de plantas e cada fita gotejadora era independente para permitir a aplicação de água e nutrientes em quantidade e no momento correto de acordo com o turno de rega. Desde o plantio até 15 DAP, as irrigações foram realizadas para elevar a umidade atual para a capacidade de campo para promover uma boa brotação dos tubérculos.

A quantidade de água aplicada em cada turno de rega para elevar a umidade para capacidade de campo foi determinada com base na umidade atual do solo. Para isso, em cada nível, dois tensiômetros foram instalados à 20 e à 40 cm de profundidade. As leituras de tensão foram feitas diariamente, entre 8:00h e 10:00h. Esse manejo irrigação foi feito durante o período entre 15 e 80 DAP. Após 80 DAP as irrigações foram encerradas para promover maturação dos tubérculos para a colheita.

As leituras de tensão foram convertidas em umidade do solo através da curva de retenção de água no solo, obtida pelo método da câmara de Richards (Figura 3.2). O modelo Van Genuchten foi adotado (VAN GENUCHTEN, 1980) considerando as características hidráulicas do solo. A lâmina de irrigação foi calculada para cada tratamento de acordo com a Equação 3.1 (SOUZA et al., 2020).



**Figura 3.2.** Curva de retenção de água no solo obtida pela câmara de Richards com os parâmetros do modelo Van Genuchten para as camadas 00-20 cm e 20-40 cm do solo.

$$LI = (\theta_{CC} - \theta_a)Z/Ei \quad (3.1)$$

Em que, LI é a lâmina de irrigação, mm;  $\theta_{CC}$  é a umidade volumétrica do solo na capacidade de campo, m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>;  $\theta_a$  a umidade atual volumétrica do solo antes da irrigação,

$m^3 m^{-3}$ ;  $Z$  é a profundidade do sistema radicular da cultura, mm; e  $E_i$  é a eficiência de irrigação considerada como uniformidade de distribuição de água pelo teste de campo, 0,98.

### Consumo de água

O consumo real de água durante as safras de batata foi calculado com base no balanço de água no solo (SILVA et al., 2020; SOUZA et al., 2020) através da Equação (3.2).

$$WC = I + Pe + Cr - Rf - Dp \pm \Delta\theta \quad (3.2)$$

Em que,  $WC$  é o consumo de água, mm;  $I$  é a irrigação aplicada, mm;  $Cr$  é a ascensão capilar, mm;  $Dp$  é a percolação, mm;  $Rf$  é o escoamento, mm;  $\Delta S$  é a variação da umidade do solo entre o plantio e a colheita, mm;  $Pe$  é a precipitação efetiva, mm.

Na Equação (3.2),  $Cr$  foi considerado nulo porque o lençol freático estava mais de 15 m abaixo da superfície,  $Rf$  também foi considerado insignificante porque a área experimental é plana e  $Dp$  foi significativo apenas quando houve precipitação.

A precipitação efetiva foi calculada multiplicando a precipitação total ( $P$ ) pelo coeficiente de localização (KELLER; BLIESNER, 1990), de acordo com a Equação 3.3. O coeficiente de localização foi calculado em função do volume de solo molhado (VSM, %), que foi 50% nesse estudo.

$$Pe = P (0,1\sqrt{VSM}) \quad (3.3)$$

### Variáveis mensuradas

O vigor vegetativo da superfície do dossel das plantas de batata foi quantificado através do *normalized difference vegetation index* (NDVI) medido semanalmente com equipamento portátil de sensoriamento remoto (GreenSeeker, Trimble, USA). Em seguida, o NDVI cumulativo foi calculado integrando o índice de vegetação NDVI em função de dias após o plantio utilizando um modelo matemático numérico inteiro com o pacote Sfsmisc (MAEHLER, 2021) disponível para o Software R (R CORE TEAM, 2021), conforme Santos et al. (2021). A altura de planta foi medida com auxílio de uma régua em relação ao nível do solo aos 70 dias após o plantio.

A fotossíntese e condutância estomática foram determinados por meio de um equipamento portátil que realizar leitura de trocas gasosas por infravermelho (LI-COR BIOSCIENCE, model LICor 6400, USA) usando radiação fotossinteticamente ativa de  $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (ANTUNES, 2005; ANTUNES et al., 2012) e concentração de  $\text{CO}_2$  atmosférico, cerca de 410 ppm, (RAMÍREZ et al., 2016) em 2020.

A produtividade de tubérculos de todas as plantas de cada parcela foi determinada aos 90 dias após o plantio. A produtividade foi contabilizada por tubérculos com diâmetro transversal superior a 28 mm (CEAGESP, 2015).

A qualidade dos tubérculos de batata foi avaliada após a colheita. Os sólidos solúveis foram medidos pelo suco da polpa utilizando um refratômetro digital portátil (HANNA, modelo HI 96801, ITA) com compensação de temperatura (à  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ). A matéria seca de tubérculos foi calculada com base em massa fresca e em massa seco, após secagem em estufa com ventilação forçada à  $70^\circ \text{C}$  por 72 horas. Uma subamostra de  $\sim 3.0 \text{ kg}$  de tubérculos de cada parcela foi usada para determinação da gravidade específica pelo método de pesagem em ar/pesagem em água (GAO et al., 2018).

Para avaliação do sistema radicular da batata, amostras de solo a cada 10 cm foram coletadas aos 60 DAP em cada parcela por meio de um trado cilíndrico de 150 mm de diâmetro. As raízes foram lavadas, separadas e secas em estufa à  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  por 72 horas para determinação do peso seco. A densidade de raízes foi determinada pela relação entre matéria seca e volume da amostra. Simultaneamente, as plantas foram coletas para obtenção da biomassa fresca. A área foliar foi determinada por imagens fotográficas (SILVA et al., 2020). O índice de área foliar foi calculado dividindo a área foliar da planta pela área da planta ( $0,3 \text{ m}^2$ ).

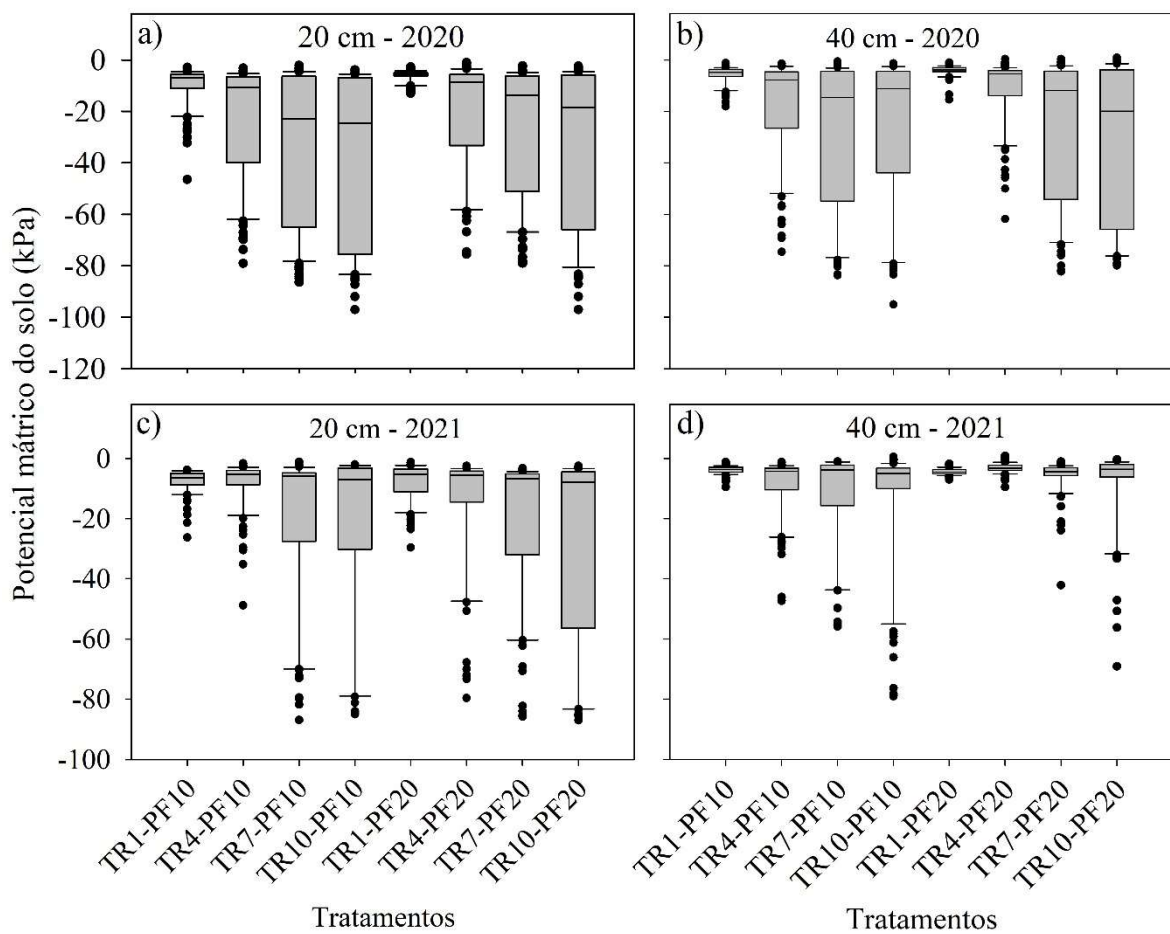
### **Análise dos dados**

As leituras dos tensiômetros de cada tratamento foram analisadas por gráficos boxplot. Os dados coletados das variáveis mensuradas foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p < 0,05$ ) e as médias foram diferenciadas pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ) utilizando o pacote “ExpDes.pt” (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2021) disponível no software R (R CORE TEAM, 2021).

## Resultados

### Potencial hídrico do solo

A flutuação do potencial mátrico do solo aumentou substancialmente com a diminuição da frequência de irrigação em ambas as safras (Figura 3.3). A depleção de água no solo foi menor para as frequências de irrigação altas (TR1 e TR4) e maior para as frequências de irrigação baixas (TR7 e TR10). Em geral, o potencial mátrico do solo atingiu valores menores com a profundidade de fertilização de 10 cm (PF10) comparado com 20 cm (PF20).



**Figura 3.3.** Boxplot para potencial mátrico do solo diário durante todo o ciclo da batata para os tratamentos com turno de regas (TR1, TR4, TR7 e TR10) e profundidade da fertilização de plantio (DF10 E DF20).

### Demanda de água da batata

O balanço de água no solo indicou que a frequência de irrigação impactou a demanda de água da batata (Tabela 3.2). Em geral, a diminuição da frequência de irrigação reduziu o consumo de água. Nas safras de 2020 e 2021, a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) por

Penman-Monteith foi 187,7 mm e 176,7 mm e a precipitação efetiva foi de 14,1 mm e 58,7 mm, respectivamente. Comparado com FI1, a evapotranspiração da cultura foi 0% e 4% menor em FF4, 14% e 9% menor em FI7 e 18% e 13% menor em FI10 em 2020 e 2021, respectivamente.

**Tabela 3.2.** Evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) por Penman-Monteith, irrigação (I), precipitação efetiva (Pe), variação de umidade entre o plantio e a colheita ( $\Delta\theta$ ) e evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) para cada turno de rega.

Ano	Turno de Rega	ET <sub>o</sub> (mm)	I (mm)	Pe (mm)	$\Delta\theta$ (mm)	WC (mm)
2020	TR1	187,7	209,5	14,1	21,4	202,2
	TR4	187,7	201,2	14,1	13,3	202,0
	TR7	187,7	180,4	14,1	20,6	173,9
	TR10	187,7	164,0	14,1	12,7	165,4
2021	TR1	176,7	162,7	58,7	14,0	207,4
	TR4	176,7	152,6	58,7	11,2	200,1
	TR7	176,7	140,1	58,7	10,6	188,2
	TR10	176,7	131,6	58,7	8,9	181,4

### Altura de plantas, NDVI acumulativo e trocas gasosas

A interação entre os turnos de rega e as profundidades de fertilização não foi significativa para as variáveis altura de plantas, NDVI cumulativo, condutância estomática e fotossíntese (Tabela 3.3). Os turnos de rega somente impactaram na altura de plantas em 2021. Irrigações diárias promoveram maior altura de plantas comparado com demais turnos de rega. As profundidades de fertilização não impactaram essas variáveis em qualquer época.

**Tabela 3.3.** Efeito do turno de rega e da profundidade da fertilização de plantio em NDVI cumulativo, altura de plantas, fotossíntese líquida (P<sub>n</sub>) e condutância estomáticas (g<sub>s</sub>) de folhas de batata nas safras 2020 e 2021. Teste de significância pela análise de variância (ANOVA). Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ).

Tratamentos	NDVI acumulativo		Altura de plantas (cm)		P <sub>n</sub> ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	g <sub>s</sub>		
	2020	2021	2020	2021	2020			
Ano								
	Turno de rega (TR)	TR1	35,0	32,2	40,0	49,0 a	23,6	0,44
		TR4	35,8	32,5	41,2	42,5 b	22,8	0,42
		TR7	35,1	32,4	38,4	42,1 b	21,5	0,41
TR10		34,8	31,2	41,0	40,4 b	22,6	0,41	
Profundidade da fertilização de plantio (PF)	DF10	35,0	32,0	38,0	43,4	22,8	0,43	
	DF20	35,4	32,1	42,3	43,5	22,4	0,42	
Teste de significância ( <i>P values</i> )								
TR	0,696	0,362	0,804	0,004	0,205	0,843		
PF	0,541	0,860	0,073	0,915	0,552	0,742		
TR x PF	0,256	0,368	0,292	0,162	0,558	0,639		

### Biomassa fresca e índice de área foliar (IAF)

A interação entre os turnos de rega e as profundidades de fertilização não foi significativa para as variáveis biomassa fresca e índice de área foliar (Tabela 3.4). Ambos as variáveis foram impactadas significativamente pelos turnos de rega. Irrigações diárias promoveram maior biomassa fresca comparado com turno de rega de 10 dias. IAF foi maior no turno de rega de quatro dias com relação a turno de rega de 10 dias. As profundidades de fertilização não impactaram essas variáveis.

**Tabela 3.4.** Efeito do turno de rega e da profundidade da fertilização de plantio em biomassa fresca de plantas e índice de área foliar da batata nas safras 2020 e 2021. Teste de significância pela análise de variância (ANOVA). Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ).

Tratamentos		Biomassa fresca por planta (g)		Índice de área foliar (m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> )	
		2020	2021	2020	2021
Ano					
Turno de rega (TR)	TR1	473	558 a	2,10 ab	1,90
	TR4	566	476 ab	2,63 a	1,81
	TR7	466	491 ab	2,22 ab	1,91
	TR10	382	386 b	1,72 b	1,49
Profundidade de fertilização basal (DF)	DF10	461	483	2,15	1,79
	DF20	482	473	2,18	1,77
Teste de significância ( <i>P values</i> )					
TR		0,067	0,041	0,036	0,208
PF		0,648	0,804	0,873	0,920
TR x PF		0,676	0,531	0,854	0,634

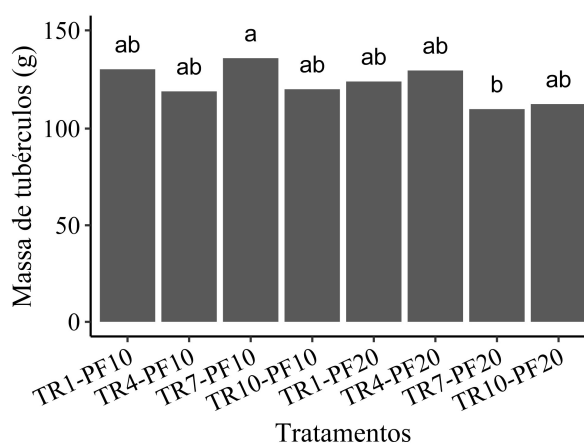
### Produtividade comercial, massa média de tubérculos e produtividade de água

A interação entre os turnos de rega e as profundidades de fertilização somente foi significativa para a variável massa de tubérculos média (Tabela 3.5). Os turnos de rega somente impactaram a produtividade de água. A produtividade de água foi maior em TR10 comparado com TR1. As profundidades de fertilização não afetaram essas variáveis.

**Tabela 3.5.** Efeito do turno de rega e da profundidade da fertilização de plantio em produtividade comercial de tubérculos, massa média de tubérculos e produtividade de água da batata nas safras 2020 e 2021. Teste de significância pela análise de variância (ANOVA). Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ).

Tratamentos		Produtividade total (Mg ha <sup>-1</sup> )		Massa média de tubérculos (g)		Produtividade de água (kg m <sup>-2</sup> )	
		2020	2021	2020	2021	2020	2021
Ano							
Turno de rega (TR)	TR1	33,6	23,6	127	91	16,6	11,4 b
	TR4	33,6	28,7	124	93	16,6	14,3 ab
	TR7	29,7	25,8	123	90	17,1	13,7 ab
	TR10	29,6	27,4	116	90	17,9	15,1 a
Profundidade da fertilização de plantio (PF)	D10	30,0	26,7	126	92	16,9	13,8
	D20	31,0	26,1	119	90	17,2	13,5
Teste de significância ( <i>P values</i> )							
TR		0,078	0,154	0,228	0,924	0,618	0,022
PF		0,597	0,703	0,060	0,662	0,636	0,699
TR x PF		0,808	0,693	0,016	0,837	0,802	0,718

A massa de tubérculos foi maior no tratamento combinado TR7-PF10 comparado com TR7-PF20 (Figura 4).



**Figura 1.** Efeito dos turnos de regas de 1, (TR1) 4 (TR4), 7 (TR7) e 10 (TR10) dias e das profundidades de fertilização de 10 (PF10) e 20 (PF20) cm na massa de tubérculos média.

### Densidade de raízes

Não houve interação significativa entre os turnos de rega e as profundidades de fertilização para densidade de raízes (Tabela 3.6). Os turnos de rega somente impactaram significativamente a densidade de raízes na camada 30-40 cm do solo em 2020. O turno de rega diário promoveu maior densidade de raízes comparado com turno de rega de 10 dias. As profundidades de fertilização somente impactaram significativamente a densidade de raízes na camada 20-30 cm do solo em 2020. A densidade de raízes foi maior quando a fertilização de plantio foi depositada na profundidade de 10 cm.

**Tabela 3.6.** Efeito do turno de rega e da profundidade da fertilização de plantio em densidade de raízes ( $\text{mg cm}^3$ ) da batata para as camadas de solo 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm e 30-50 cm nas safras 2020 e 2021. Teste de significância pela análise de variância (ANOVA). Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ).

Tratamentos		0-10 cm		10-20 cm		20-30 cm		30-40 cm	
Ano		2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Turno de rega (TR)	TR1	0,24	1,09	0,08	0,09	0,10	0,04	0,18 a	0,07
	TR4	0,30	1,04	0,07	0,08	0,08	0,05	0,08 ab	0,14
	TR7	0,21	0,93	0,07	0,06	0,08	0,05	0,09 ab	0,09
	TR10	0,20	0,99	0,06	0,11	0,07	0,05	0,07 b	0,13
Profundidade da fertilização de plantio (PF)	PF10	0,26	0,97	0,08	0,08	0,09 a	0,05	0,09	0,10
	PF20	0,22	1,05	0,17	0,06	0,07 b	0,05	0,09	0,11
Teste de significância ( <i>P values</i> )									
TR		0,375	0,196	0,830	0,830	0,179	0,785	0,113	0,537
PF		0,424	0,104	0,102	0,102	0,022	0,700	0,327	0,832
TR x PF		0,285	0,989	0,475	0,475	0,300	0,838	0,825	0,462

### Qualidade de tubérculos

A interação entre os turnos de rega e as profundidades de fertilização não impactaram significativamente as variáveis relacionadas a qualidade de tubérculos (Tabela 3.7). Os turnos de rega impactaram significativamente a gravidade específica em 2020, matéria seca nas duas épocas e sólidos solúveis em 2020. O turno de rega de 7 dias promoveu maior gravidade específica e sólidos solúveis comparado com turno de rega diário. O turno de rega de 10 dias promoveu maior matéria seca comparado com turno de rega diário. As profundidades de fertilização não impactaram significativamente as variáveis relacionadas a qualidade de tubérculos em qualquer época.

**Tabela 3.7.** Efeito do turno de rega e da profundidade fertilização de plantio em gravidade específica, matéria seca e sólidos solúveis de tubérculos de batata nas safras 2020 e 2021. Teste de significância pela análise de variância (ANOVA). Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ).

Tratamentos		Gravidade específica		Matéria seca (%)		Sólidos solúveis (Brix)	
Ano		2020	2021	2020	2021	2020	2021
Turno de rega (TR)	TR1	1,090 c	1,075	14,2 b	13,3 b	5,35 b	4,49
	TR4	1,092 bc	1,080	15,0 ab	14,2 ab	5,18 b	4,45
	TR7	1,097 a	1,079	15,8 ab	14,2 ab	5,90 a	4,46
	TR10	1,096 ab	1,081	16,7 a	15,3 a	5,53 ab	4,49
Profundidade da fertilização de plantio (PF)	D10	1,094	1,077	15,6	14,4	5,39	4,49
	D20	1,094	1,080	15,3	14,0	5,58	4,51
Teste de significância ( <i>P values</i> )							
TR		< 0,001	0,155	0,003	0,002	0,006	0,828
PF		0,485	0,146	0,520	0,214	0,170	0,830
TR x PF		0,815	0,765	0,152	0,661	0,535	0,104

## Discussão

A interação entre turnos de rega e profundidades de fertilização somente foi observado para massa de tubérculos. Os turnos de rega impactaram no conteúdo de água no solo e nas variáveis de crescimento da planta e de qualidade de tubérculos. As profundidades de fertilização pouco afetaram as variáveis mensuradas.

A diminuição da frequência de irrigação aumentou a variação do potencial mátrico do solo e a depleção de água no solo, alcançando valores de tensão de -80 kPa em 2020 e -60 kPa em 2021. O turno de rega menor reduziu a amplitude do potencial mátrico do solo e manteve a umidade do solo mais próxima da umidade da capacidade de campo. Essa condição de umidade do solo melhora a absorção de nutrientes pela batata (WANG et al., 2011).

A diminuição do potencial mátrico do solo dificulta a absorção de água pelas raízes da planta devido à alta energia de retenção de água pelas cargas elétricas do solo. Em condição de baixa umidade do solo ocorre uma diminuição da evapotranspiração da cultura, conforme observado em estudos prévios com batata (WANG et al., 2007) e tomate (FARA et al., 2019). No presente estudo, em geral, a diminuição da frequência de irrigação reduziu a necessidade de irrigação da batata devido ao menor crescimento das plantas de batata.

Em condição de déficit hídrico, as plantas reduzem o crescimento da parte aérea e desenvolvimento de folhas, conforme observado no presente estudo e em estudos prévios (MEKONNEN, 2018; ZHANG et al., 2019). No entanto, em tomate, a diminuição da frequência de irrigação aumentou a eficiência no uso intrínseca, ou seja, mais CO<sub>2</sub> atmosférico foi assimilado por unidade de água transpirada pelas folhas (FARA et al., 2019). Sob déficit hídrico, planta produz fitohormônios que ajustam processos fisiológicos, como o controle da abertura dos estômatos, para minimizar os efeitos negativos desse estresse (ALI et al., 2020).

Uma frequência de irrigação adequada pode aumentar a produtividade e reduzir o consumo de água. No presente estudo, os turnos de rega não afetaram a produtividade de tubérculos. Porém, estudos prévios mostraram que a frequência de irrigação de 7 dias para tomate (FARA et al., 2019), 6 dias para milho (ZHANG et al., 2019) e 8 dias para soja (MEKONNEN, 2018) maximizou a produtividade. Vale ressaltar que, a determinação da frequência de irrigação correta deve levar em consideração os fatores tipo de cultura, população de plantas, fase fenológica, tipo de solo, condição climática, fertilização (AMARE; ABEBE, 2020).

Os turnos de rega impactaram na qualidade de tubérculos. A frequência de irrigação menor promoveu maior massa seca nos tubérculos sem impactar a produtividade. Além disso, a produtividade de água aumentou com o turno de rega maior.

Solos com maior teor de argila possuem uma capacidade de retenção de água maior de que solos arenosos. Por isso, em geral os rendimentos são satisfatórios com uma frequência de irrigação menor em solos argilosos (FARA et al., 2019; OKASHA et al., 2020) de que em solos arenosos (WANG et al., 2007). Além disso, em um solo que é corrigido quimicamente com condicionadores de solo como gesso e preparado fisicamente como subsolador, o desenvolvimento de raízes é maior. Pois, essas práticas melhoram a aeração do solo e transporte de nutrientes como cálcio e enxofre.

As raízes das plantas tem sido alvo de pesquisas atuais, pois altas produtividades têm sido associadas a condições de solo adequadas de desenvolvimento radicular (BOSSOLANI et al., 2022). Uma estratégia adotada é fertilização profunda, com a deposição do fertilizante em profundidades maiores, visando melhorar a absorção de nutrientes devido à maior manutenção da umidade do solo em subsuperfície e reduzir perdas, como a volatilização em fertilizantes nitrogenados. Como consequência, essa estratégia tem aumentado a produtividade das culturas e a eficiência dos fertilizantes (MIAH et al., 2016; PAN et al., 2017; WU et al., 2017; YAO et al., 2018).

No presente estudo, o efeito da profundidade de fertilização nas variáveis mensuradas não foi observado devido à alta fertilidade do solo e a adoção da irrigação, possivelmente. Esta estratégia tem sido utilizada em condições de cultivo de sequeiro e em solos pobres (MA; RENGEL; ROSE, 2009).

## Conclusão

A profundidade de fertilização pouco afetou as variáveis mensuradas. O turno de giro impactou na demanda de água, no crescimento e na qualidade de tubérculos sem prejudicar a produtividade o cultivo da batata irrigada por gotejamento.

## Referências

- ALI, S. et al. Implications of Abscisic Acid in the Drought Stress Tolerance of Plants. *Agronomy*, v. 10, n. 9, p. 1323, set. 2020.
- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. v. 56
- AMARE, D. G.; ABEBE, Z. K. Review on the Effect of Irrigation Interval on Different Crop Production. *International Journal of Plant & Soil Science*, p. 1–13, 6 nov. 2020.

- ANTUNES, W. C. **Alterações fisiológicas em plantas de batata com metabolismo alterado de sacarose**. Tese de Doutorado—Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005.
- ANTUNES, W. C. et al. Changes in stomatal function e water use efficiency in potato plants with altered sucrolytic activity. **Plant, Cell & Environment**, v. 35, n. 4, p. 747–759, 2012.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI&FRUTI. **Anuário brasileiro de Horti&Fruti**. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2021.
- ASSUNÇÃO, N. S. et al. Tuber Yield e Quality of Two Potato Cultivars in Response to Nitrogen Fertilizer Management. **Potato Research**, v. 64, n. 2, p. 147–166, jun. 2021.
- BOSSOLANI, J. W. et al. Improving soil fertility with lime e phosphogypsum enhances soybean yield e physiological characteristics. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 42, n. 2, p. 26, 4 abr. 2022.
- BURRIDGE, J. D. et al. An Analysis of Soil Coring Strategies to Estimate Root Depth in Maize (*Zea mays*) e Common Bean (*Phaseolus vulgaris*). **Plant Phenomics**, v. 2020, p. 1–20, 8 nov. 2020.
- CEAGESP. Batata *Solanum tuberosum* L. **Normas de Classificação. Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo.**, 2015.
- FARA, S. J. et al. Stomata opening e productiveness response of fresh market tomato under different irrigation intervals. **Scientia Horticulturae**, v. 255, p. 86–95, 2019.
- FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P.; SILVA, B. L. Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: I - macronutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, p. 2039–2056, 2011.
- FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (Portugues)**. Retrieved Feb 25, 2021 from <https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt>. [s.l: s.n.].
- FONTES, P. C. R. **Olericultura teoria e prática**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2005.
- GAO, X. et al. Yield e Nitrogen Use of Irrigated Processing Potato in Response to Placement, Timing e Source of Nitrogen Fertilizer in Manitoba. **American Journal of Potato Research**, v. 95, n. 5, p. 513–525, out. 2018.
- KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkler e trickle irrigation**. New York: Avi Book, 1990.
- LIU, T. Q. et al. Deep placement of nitrogen fertilizers reduces ammonia volatilization e increases nitrogen utilization efficiency in no-tillage paddy fields in central China. **Field Crops Research**, v. 184, p. 80–90, dez. 2015.

- MA, Q.; RENGEL, Z.; ROSE, T. The effectiveness of deep placement of fertilisers is determined by crop species e edaphic conditions in Mediterranean-type environments: a review. **Soil Research**, v. 47, n. 1, p. 19, 2009.
- MAECHLER, M. **sfsmisc: Utilities from “Seminar fuer Statistik” ETH Zurich**. Retrieved **March 01, 2021** from <https://cran.r-project.org/web/packages/sfsmisc/index.html>. [s.l: s.n.].
- MAROUELLI, W. A.; BRAGA, M. B.; GUIMARÃES, T. G. Irrigação na cultura da batata. **Circular Técnica**, p. 20, 2013.
- MEKONNEN, L. Effects of Irrigation Interval on Growth Analysis of Soybean [(Glycine max (L.) Merr.]. **Journal of Natural Sciences Research**, v. 8, n. 7, p. 15, 2018.
- MIAH, M. A. M. et al. Fertilizer Deep Placement Increases Rice Production: Evidence from Farmers’ Fields in Southern Bangladesh. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 2, p. 805–812, 2016.
- MURPHY, J. A.; ZAUROV, D. E. Shoot e Root Growth Response of Perennial Ryegrass to Fertilizer Placement Depth. **Agronomy Journal**, v. 86, n. 5, p. 828–832, set. 1994.
- NICK, C.; BORÉM, A. **Batata do plantio a colheita**. Viçosa, BR: Editora UFV, 2017.
- OKASHA, E. M. et al. Impact of Drip e Gated Pipe Irrigation Systems, Irrigation Intervals on Yield, Productivity of Irrigation Water e Quality of Two Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L) Cultivars in Heavy Clay Soil. **Egyptian Journal of Chemistry**, v. 63, n. 12, p. 5103–5116, 1 dez. 2020.
- PAN, S. et al. Benefits of mechanized deep placement of nitrogen fertilizer in direct-seeded rice in South China. **Field Crops Research**, v. 203, p. 139–149, mar. 2017.
- R CORE TEAM. **R: A Language e Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2021.
- RAMÍREZ, D. A. et al. Defining biological thresholds associated to plant water status for monitoring water restriction effects: Stomatal conductance e photosynthesis recovery as key indicators in potato. **Agricultural Water Management**, v. 177, p. 369–378, nov. 2016.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. v. 5 ed.
- SANTOS, H. G. DOS et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, BR: Embrapa, 2018.

- SANTOS, R. A. DOS et al. Surface reflectance calculation e predictive models of biophysical parameters of maize crop from RG-NIR sensor on board a UAV. **Precision Agriculture**, v. 22, n. 5, p. 1535–1558, 1 out. 2021.
- SILVA, G. H. DA et al. Mulching materials e wetted soil percentages on zucchini cultivation. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44, p. 1–11, 2020.
- SINGH, D. K.; SALE, P. W. G.; ROUTLEY, R. R. Increasing phosphorus supply in subsurface soil in northern Australia: Rationale for deep placement e the effects with various crops. **Plant e Soil**, v. 269, n. 1–2, p. 35–44, fev. 2005.
- SOUZA, S. A. et al. Impact of Irrigation Frequency e Planting Density on Bean's Morpho-Physiological e Productive Traits. **Water**, v. 12, n. 9, p. 2468–2481, 2020.
- SU, W. et al. Effect of depth of fertilizer banded-placement on growth, nutrient uptake e yield of oilseed rape (*Brassica napus* L.). **European Journal of Agronomy**, v. 62, p. 38–45, jan. 2015.
- TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.
- TEWARI, K. et al. Analysis of the nitrogen nutrition of soybean plants with deep placement of coated urea e lime nitrogen. **Soil Science e Plant Nutrition**, v. 53, n. 6, p. 772–781, dez. 2007.
- VAN GENUCHTEN, M. T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 892–898, 1980.
- WANG, F.-X. et al. Effects of soil matric potential on potato growth under drip irrigation in the North China Plain. **Agricultural Water Management**, v. 88, n. 1–3, p. 34–42, mar. 2007.
- WANG, F.-X. et al. Effects of drip irrigation regimes on potato tuber yield e quality under plastic mulch in arid Northwestern China. **Field Crops Research**, v. 122, n. 1, p. 78–84, 28 abr. 2011.
- WU, M. et al. Nitrogen Fertilizer Deep Placement for Increased Grain Yield e Nitrogen Recovery Efficiency in Rice Grown in Subtropical China. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 2017.
- YAO, Y. et al. Urea deep placement in combination with Azolla for reducing nitrogen loss e improving fertilizer nitrogen recovery in rice field. **Field Crops Research**, v. 218, p. 141–149, abr. 2018.
- ZHANG, G. et al. Using irrigation intervals to optimize water-use efficiency e maize yield in Xinjiang, northwest China. **The Crop Journal**, v. 7, n. 3, p. 322–334, 2019.

## CONCLUSÕES GERAIS

O tempo de avanço é uma característica intrínseca do sistema de irrigação útil na determinação do tempo de injeção e do tempo de limpeza de forma mais técnica para a fertirrigação por gotejamento com uniformidade de distribuição espacial do fertilizante satisfatória.

O estudo do fracionamento da fertilização potássica na batata forneceu muitos resultados semelhantes nas condições experimentais deste estudo. Um programa de fertilização com algum K aplicado plantio e fertirrigação frequente, como o tratamento K<sub>30-70</sub> e a frequência FF3, fazem sentido lógico com base neste trabalho e pesquisas anteriores.

A profundidade da fertilização de plantio pouco impactou nas variáveis mensuradas. O turno de gera impactou na demanda de água, no crescimento e na qualidade de tubérculos sem prejudicar a produtividade o cultivo da batata irrigada por gotejamento.