

## EFICIÊNCIA E DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO SOB EFEITO DE FERTIRRIGAÇÃO COM FONTES DE NITROGÊNIO

**FERNANDO NOBRE CUNHA<sup>1</sup>; GABRIELA NOBRE CUNHA<sup>2</sup>; MARCONI BATISTA TEIXEIRA<sup>1</sup>; FERNANDO RODRIGUES CABRAL FILHO<sup>1</sup>; WILKER ALVES MORAIS<sup>1</sup>; HÉCTOR ALEXIS MIRANDA<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Departamento de Hidráulica e Irrigação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rodovia Sul Goiana, km 01, Zona Rural, CEP: 75.901-970, Rio Verde GO, Brasil, fernandonobrecunha@hotmail.com, marconibt@gmail.com, fernandorcfilho@hotmail.com, wilker.alves.moraes@gmail.com, mirandahectoralexis@gmail.com*

*<sup>2</sup>Departamento de Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente, UniEVANGÉLICA, Av. Universitária km 3,5 Cidade Universitária, CEP: 75083-515, Anápolis GO, Brasil, gabriela-nc@hotmail.com*

### 1 RESUMO

Os sistemas de irrigação por gotejamento podem apresentar alterações na vazão em decorrência de problema relacionados a obstrução de emissores e podem ocorrer geralmente com maior contundência quando aplica-se via água de irrigação fertilizantes. Objetivou-se avaliar a influência da fertirrigação com fontes de nitrogênio em um sistema de irrigação localizada por gotejamento. O experimento foi realizado em uma casa de vegetação instalada na área experimental do IFGoiano – Campus Rio Verde. O delineamento experimental utilizado é em blocos ao acaso, analisado em esquema fatorial  $5 \times 6$ , com três repetições. Os tratamentos consistiram em cinco fontes de N (nitrato de potássio, sulfato de amônio, nitrato de cálcio, nitrato de amônio e ureia) e seis tempos de funcionamento (100, 200, 300, 400, 500 e 600 h). Foi utilizado um modelo de tubo gotejador com vazão nominal de  $2 \text{ L h}^{-1}$ , diâmetro nominal 16 mm, diâmetro interno 13 mm, pressão de operação 100 a 350 kPa e espaçamento entre emissores de 0,7 m. Depois de tabulados os dados, foram determinadas a vazão, a vazão relativa, o coeficiente de uniformidade de Hart e a eficiência padrão da HSPA. O desempenho dos gotejadores é principalmente afetado pela aplicação de nitrato de potássio.

**Palavras-chave:** ureia, sulfato de amônio, uniformidade, obstrução.

**CUNHA, F. N.; CUNHA, G. N.; TEIXEIRA, M. B.; CABRAL FILHO, F. R.; MORAIS, W. A.; MIRANDA, H. A.**

**EFFICIENCY AND PERFORMANCE OF AN DRIP IRRIGATION SYSTEMS UNDER THE EFFECT OF FERTIGATION WITH NITROGEN SOURCES**

### 2 ABSTRACT

Drip irrigation systems may experience changes in flow due to problems related to emitter obstructions, which can generally occur more severely when fertilizers are applied via irrigation water. The objective of this study was to evaluate the influence of fertigation with nitrogen sources in a drip irrigation system. The experiment was performed in a greenhouse located in

the experimental area of the IFGoiano - Rio Verde Campus. The experimental design used was a randomized block design with a  $5 \times 6$  factorial scheme and three replications. The treatment consisted of five sources of N (potassium nitrate, ammonium sulfate, calcium nitrate, ammonium nitrate and urea) and six operating times (100, 200, 300, 400, 500 and 600 h). A drip tube model with a nominal flow of  $2 \text{ L h}^{-1}$ , nominal diameter of 16 mm, internal diameter of 13 mm, operating pressure of 100 to 350 kPa and spacing between emitters of 0.7 m was used. After the data were tabulated, the flow, relative flow, Hart uniformity coefficient and HSPA standard efficiency were determined. The performance of drippers is affected mainly by the application of potassium nitrate.

**Keywords:** urea, ammonium sulfate, uniformity, obstruction.

### 3 INTRODUÇÃO

Um dos sistemas de irrigação em notável expansão é o sistema de irrigação por gotejamento, que apresenta vantagens como economia de água e energia, com possibilidade de fertirrigação (SOUSA *et al.*, 2011; AVELINO NETO; SANDRI; SILVA, 2019).

Este método tem sido bastante utilizado devido suas características de aplicações de pequenas vazões e alta frequência, aplicação de fertilizantes via água de irrigação, alta eficiência, possibilitando um controle eficiente da lâmina de irrigação (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2008; MELO *et al.*, 2019), entretanto, os sistemas de irrigação por gotejamento podem apresentar alterações na vazão em decorrência de problema relacionados a obstrução de emissores, que se deve pelos pequenos orifícios de passagem da água nos mesmos, e podem ocorrer geralmente com maior contundência quando aplica-se via água de irrigação fertilizantes, que podem formar precipitados, ocasionando desuniformidade do sistema, variação da eficiência da irrigação e distúrbios de vazão (BARROS *et al.*, 2009; BUSATO; SOARES, 2010; CUNHA *et al.*, 2016).

As alterações na vazão estão relacionadas ao processo de obstrução, cujo principal responsável é a qualidade da água, uma vez que o problema não afeta

igualmente todos os gotejadores, sendo dependente também do coeficiente de variação de fabricação (RIBEIRO; COELHO; TEIXEIRA, 2010; ALVES *et al.*, 2020). O acréscimo ou decréscimo da vazão pode ser ocasionado tanto pelo entupimento parcial ou total dos emissores, geralmente estes estão mais relacionados à diminuição da vazão, mas em alguns modelos pode ocorrer o inverso (CUNHA *et al.*, 2013; TAMBO; THEBALDI; LIMA, 2020).

A desuniformidade de aplicação de água faz com que o sistema aplique água em uma fração da área com excesso, onde uma parte é perdida por percolação e transporta consigo parte dos nutrientes presentes na zona de aplicação e outra fração, em déficit, em que a água infiltrada fica armazenada na zona radicular, porém em quantidade inferior à necessidade da planta (VIEIRA *et al.*, 2020). Portanto para se avaliar as condições em que o sistema de irrigação por gotejamento está operando, parâmetros de desempenho devem ser definidos com base em avaliações de campo, como vazão, uniformidade de aplicação de água, eficiência de aplicação de água, percentagem da área adequadamente irrigada e do tempo de irrigação (ANDRADE *et al.*, 2021).

Um dos principais parâmetros utilizados na avaliação de um sistema de irrigação é a uniformidade de aplicação de água sobre a área irrigada, que está associado à eficiência de irrigação, pois a

uniformidade de distribuição de aplicação de água pelos emissores tem sido um fator limitante para se obter um manejo eficiente do uso da água aplicada, com isso, estudos visando aumentar a eficiência do uso da água tornam-se fundamentais (FRIZZONE *et al.*, 2012; OLIVEIRA, 2014; ZAGO *et al.*, 2022).

Objetivou-se, desta forma avaliar a influência da fertirrigação com fontes de nitrogênio em um sistema de irrigação localizada por gotejamento.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma casa de vegetação instalada na área experimental do IFGoiano – Campus Rio Verde. A casa de vegetação é constituída de cobertura de filme plástico polietileno transparente, de 150 micras e laterais fechadas, com tela tipo sombrite com 30% de interceptação. As coordenadas geográficas do local de instalação são 17°48'28" S e 50°53'57" O, com altitude média de 720 m ao nível do mar. O clima da região é classificado conforme Köppen e Geiger (1928), como Aw (tropical), com chuva nos meses de outubro a maio, e com seca nos meses de junho a setembro. A temperatura média anual varia de 20 a 35 °C e as precipitações variam de 1.500 a 1.800 mm anuais.

O delineamento experimental utilizado é em blocos ao acaso, analisado em esquema fatorial 5 × 6, com três repetições. Os tratamentos consistiram em cinco fontes

de N (nitrato de potássio, sulfato de amônio, nitrato de cálcio, nitrato de amônio e ureia) e seis tempos de funcionamento (100, 200, 300, 400, 500 e 600 h). Foi aplicada uma dose de nitrogênio igual para todos os tratamentos, equivalente a uma recomendação de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Foi utilizado um modelo de tubo gotejador com vazão nominal de 2 L h<sup>-1</sup>, diâmetro nominal 16 mm, diâmetro interno 13 mm, pressão de operação 100 a 350 kPa e espaçamento entre emissores de 0,7 m.

À entrada das linhas gotejadoras foi instalada uma tomada de pressão, permitindo que a cada medição de vazão a pressão fosse checada e, se necessário, ajustada àquela pré-estabelecida. Para isso, foi utilizado um manômetro de Bourdon com faixa de leitura de 0 - 4 Kgf cm<sup>-2</sup>. Durante todo o período do ensaio foram realizadas as leituras de temperatura da água no reservatório de captação, com aplicação dos tratamentos com temperatura da água na faixa de 25°C (25°C ± 1°C).

O tempo de injeção dos fertilizantes corresponderam a 2 horas como forma de garantir uma melhor aplicação das fontes de nitrogênio, com base em uma diluição mínima. Para injeção dos fertilizantes no sistema de irrigação optou-se por um injetor Venturi que realizava a sucção do fertilizante depois de dissolvidos em uma caixa reservatório com capacidade para 50 L. A Tabela 1 apresentam as características do nitrato de potássio, sulfato de amônio, nitrato de cálcio e nitrato de amônio e ureia utilizados na fertirrigação.

**Tabela 1.** Concentração de nutriente das fontes de nitrogênio utilizadas na fertirrigação

Fontes de nitrogênio <sup>1</sup>	Concentração de nutriente (g kg <sup>-1</sup> )			
	N	S	Ca	K <sub>2</sub> O
Sulfato de amônio	200	240	-	-
Nitrato de cálcio	140	-	280	-
Nitrato de potássio	130	-	-	460
Nitrato de amônio	340	-	-	-
Ureia	450	-	-	-

<sup>1</sup>Adaptado de Frizzone e Botrel (1994), Vitti, Boaretto e Penteadó (1994) e Sousa *et al.* (2011).

O procedimento para realização da leitura de vazão consistiu na pressurização do sistema, estabilização da pressão em 150 kPa (+/- 5 kPa) no início da linha, posicionamento dos coletores sob os respectivos gotejadores com três segundos de defasagem e retirada dos coletores com a mesma sequência e defasagem de tempo após 5 min de coleta. Foi utilizado o método gravimétrico para a determinação do volume coletado de cada emissor. O monitoramento da vazão dos gotejadores, permitiu a obtenção da vazão média dos gotejadores.

Depois de tabulados os dados de vazão, foram efetuados os cálculos da vazão, da vazão relativa, do coeficiente de uniformidade de Hart e da eficiência padrão da HSPA, conforme as equações 1 a 4.

$$q = \frac{P}{1000t d} 60 \quad (1)$$

$$Q_r = \frac{Q_{x,y}}{Q_i} \quad (2)$$

$$CUH = 100 \left\{ 1 - \sqrt{\frac{2}{\pi} \left( \frac{S}{\bar{X}} \right)} \right\} \quad (3)$$

$$UDH = 100 \left( 1 - 1,27 \frac{S}{\bar{X}} \right) \quad (4)$$

Em que:

q – vazão do gotejador, L h<sup>-1</sup>;

Q<sub>r</sub> – vazão relativa, %;

CUH - coeficiente de uniformidade de Hart, em %;

UDH - eficiência padrão da HSPA, em %;

Q<sub>x,y</sub> – vazão de um emissor x num dia y de irrigação, L h<sup>-1</sup>;

Q<sub>i</sub> – vazão desse emissor no primeiro dia de irrigação, L h<sup>-1</sup>;

P – peso da água coletada, g;

t – tempo de coleta, min;

d – densidade da água utilizada no ensaio, g L<sup>-1</sup>;

$\bar{X}$  - vazão média dos gotejadores, em L h<sup>-1</sup>;

S - desvio-padrão dos dados de vazão, em L h<sup>-1</sup>.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade, e em casos de significância, foi realizada a análise de regressão para os tempos de funcionamentos e para as fontes de nitrogênio as médias foram comparadas entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o software estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2011).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 são apresentados os valores da vazão média dos emissores para as fontes de N nos tempos de funcionamentos.

**Tabela 2.** Vazão para as fontes de nitrogênio e tempos de funcionamento

Fontes de N <sup>1</sup>	Tempo de funcionamento (h)					
	100	200	300	400	500	600
NitCa	1,99 a	1,97 b	1,94 a	1,90 bc	1,86 c	1,83 c
NitAm	1,98 a	1,96 b	1,93 a	1,91 ab	1,90 a	1,85 bc
NitK	2,00 a	1,96 b	1,93 a	1,91 b	1,88 bc	1,85 b
SAm	1,99 a	1,97 b	1,93 a	1,89 c	1,88 abc	1,86 ab
Ureia	1,99 a	2,00 a	1,93 a	1,93 a	1,89 ab	1,88 a

<sup>1</sup>Nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK), sulfato de amônio (SAm) e ureia (Ureia). Médias com a mesma letra minúscula na coluna não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Nos tempos de funcionamento de 100 e 300 h não houve diferença significativa para a vazão média entre as fontes de N de nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK), sulfato de amônio (SAm) e ureia (Ureia), já no tempo de funcionamento de 200 h o maior valor da vazão média foi obtido na fertirrigação com ureia, a qual foi superior as demais fontes.

A vazão média de emissores pode ser considerada bom parâmetro para avaliar alterações quanto ao funcionamento adequado de emissores, que pode ser por problemas de entupimento parcial e total ou por outros problemas (MÉLO, 2007; CUNHA *et al.*, 2014; AVELINO NETO; SANDRI; SILVA, 2019).

No tempo de funcionamento final (600 h) verificou-se como maior valor de

vazão na fonte de N de ureia, como valor intermediário no nitrato de potássio (NitK) e como menor valor de vazão no nitrato de cálcio (NitCa) (Tabela 2). Baixos índices de uniformidade de distribuição de água, podem causar crescimento irregular das plantas, perdas de produtividade, bem como ocasionar outros problemas relacionados a degradação do solo (CUNHA *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2021b).

A vazão relativa como na vazão média, não foram observadas diferenças entre as fontes de N no tempo de funcionamento de 100 e 300 h. No tempo de funcionamento de 200 h a maior vazão relativa foi verificada na fonte de N de ureia, com um valor de aproximadamente 96% (Tabela 3).

**Tabela 3.** Vazão relativa (QR) para as fontes de nitrogênio e tempos de funcionamento

Fontes de N	Tempo de funcionamento (h)					
	100	200	300	400	500	600
NitCa	96,25 a	94,61 b	93,51 a	91,59 bc	89,74 b	88,15 c
NitAm	95,54 a	94,30 b	93,08 a	92,15 ab	91,28 a	89,05 bc
NitK	96,28 a	94,54 b	92,94 a	91,86 bc	90,27 ab	89,25 b
SAm	95,86 a	94,79 b	93,08 a	90,82 c	90,61 ab	89,77 ab
Ureia	95,85 a	96,19 a	93,09 a	93,09 a	90,96 a	90,71 a

<sup>1</sup>Nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK), sulfato de amônio (SAm) e ureia (Ureia). Médias com a mesma letra minúscula na coluna não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

A menor vazão relativa foi observada na fertirrigação com sulfato de amônio (SAm) no tempo de funcionamento de 400

h; já no tempo de funcionamento de 500 h foram observadas diferenças na vazão relativa entre as fontes de N, indicando uma

diferença máxima de 1,5%, observada entre a fonte de N de nitrato de cálcio (NitCa) e a de nitrato de amônio (NitAm).

Geralmente pode-se observar uma variação dos valores de vazão média e vazão relativa após cada leitura semanal, podendo de uma semana para outra a vazão média e a vazão relativa apresentar valores baixos e altos respectivamente (TEIXEIRA *et al.*, 2014; TAMBO; THEBALDI; LIMA, 2020).

No tempo de funcionamento de 600 h os maiores valores de vazão relativa em ordem decrescente são: ureia, sulfato de amônio (SAm), nitrato de potássio (NitK), nitrato de amônio (NitAm) e Nitrato de

cálcio (NitCa) (Tabela 3). Avaliar as condições de pressão, vazão, vazão relativa e lâminas d'água aplicadas, são sempre necessárias para uma boa uniformidade de aplicação de água (SILVA; SILVA, 2005; SILVA *et al.*, 2021a).

A uniformidade de água no tempo de funcionamento de 100 h apresentou valores variando entre 86 e 89% com destaque para a fertirrigação com ureia que apresentou o maior coeficiente de uniformidade de Hart (CUH); para o CUH o sulfato de amônio (SAm) e nitrato de amônio (NitAm) não apresentaram diferença significativa (Tabela 4).

**Tabela 4.** Coeficiente de uniformidade de Hart (CUH) para as fontes de nitrogênio e tempo de funcionamento

Fontes de N <sup>1</sup>	Tempo de funcionamento (h)					
	100	200	300	400	500	600
NitCa	87,34 bc	85,02 bc	83,66 bc	81,71 c	80,60 c	77,82 c
NitAm	88,11 b	85,78 ab	84,23 b	82,92 b	81,64 ab	80,08 a
NitK	86,53 c	84,74 c	83,02 c	80,67 d	79,23 d	76,92 c
SAm	87,51 b	85,40 bc	84,18 b	82,64 bc	80,94 bc	78,83 b
Ureia	89,11 a	86,69 a	85,44 a	84,28 a	82,11 a	80,89 a

<sup>1</sup>Nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK), sulfato de amônio (SAm) e ureia (Ureia). Médias com a mesma letra minúscula na coluna não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

A inadequada uniformidade de distribuição da água em sistemas de irrigação proporciona excesso em parte da área de cultivo e carência em outra, reduzindo a disponibilidade de água à cultura e elevando o custo de produção (NASCIMENTO; FEITOSA; SOARES, 2017).

Nos tempos de funcionamento de 200 e 300 h a fertirrigação com ureia demonstrou os melhores valores do CUH, em contraste com isso a aplicação com nitrato de potássio (NitK) via água de irrigação mostrou os menores valores de CUH. A análise de coeficientes de uniformidade possibilita uma medida mais restrita, evitando incorrer em excesso ou falta de água para a cultura (FRIZZONE;

DOURADO NETO, 2003; MELO *et al.*, 2019).

Nos tempos de funcionamento de 400 e 500 h a fertirrigação com ureia também apresentou os maiores valores do CUH, enquanto o nitrato de cálcio (NitCa) e nitrato de potássio (NitK), os valores de uniformidades foram os mais baixos, ficando próximos a 80%. A melhoria desses valores de uniformidade pode ser obtida por meio da adoção de práticas de manejo, como a limpeza periódica mais criteriosa do sistema de filtragem, possibilitando maior pressão nos pontos de emissão, redução nos entupimentos dos gotejadores e limpeza das linhas laterais (BONOMO, 1999; AVELINO NETO; SANDRI; SILVA, 2019; MELO *et al.*, 2019).

Os maiores CUH no tempo de funcionamento de 600 h em ordem decrescente foram: ureia e nitrato de amônio (NitAm), os quais não indicaram diferenças significativas, sulfato de amônio (SAm), nitrato de cálcio (NitCa) e nitrato de potássio (NitK), sendo estes dois últimos também iguais (Tabela 4). Silva Júnior *et al.* (2017) ressaltam que um dos critérios recomendados de dimensionamento de sistemas de irrigação localizada baseia-se na

uniformidade de emissão desejada na unidade operacional, supondo-se que a aplicação uniforme de água gere também uma adequada aplicação de nutrientes e uma produção uniforme.

No tempo de funcionamento de 100 h a eficiência padrão da HSPA (UDH) foi de 97,6 e 96,4% para a fertirrigação com ureia e nitrato de potássio (NitK), respectivamente, indicando uma diferença de 1,2 % (Tabela 5).

**Tabela 5.** Eficiência padrão da HSPA (UDH) para as fontes de nitrogênio e tempo de funcionamento

Fontes de N <sup>1</sup>	Tempo de funcionamento (h)					
	100	200	300	400	500	600
NitCa	96,80 bc	95,52 b	94,67 bc	93,32 c	92,49 c	90,18 c
NitAm	97,18 ab	95,97 ab	95,04 b	94,18 b	93,27 ab	92,08 a
NitK	96,38 c	95,35 b	94,24 c	92,54 d	91,38 d	89,37 d
SAm	96,89 bc	95,75 b	95,01 b	93,99 b	92,75 bc	91,05 b
Ureia	97,63 a	96,46 a	95,77 a	95,05 a	93,62 a	92,70 a

<sup>1</sup>Nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK), sulfato de amônio (SAm) e ureia (Ureia). Médias com a mesma letra minúscula na coluna não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

A UDH foi igual para as fontes de N de sulfato de amônio (SAm), nitrato de potássio (NitK), nitrato de amônio (NitAm) e nitrato de cálcio (NitCa) no tempo de funcionamento de 200 h. Já o menor UDH no tempo de funcionamento de 300 e 400 h ocorreram quando foi aplicado nitrato de potássio (NitK) na água de irrigação, sendo estes valores de 94 e 92,5%, respectivamente; o nitrato de amônio (NitAm) e o sulfato de amônio (SAm) apresentaram a mesma uniformidade neste tempo de funcionamento.

A diminuição de uniformidade de distribuição de água ao longo do tempo, entre a primeira e a quarta, pode indicar uma tendência de entupimento dos gotejadores (RIBEIRO; PATERNIANI, 2013; ZAGO *et al.*, 2022).

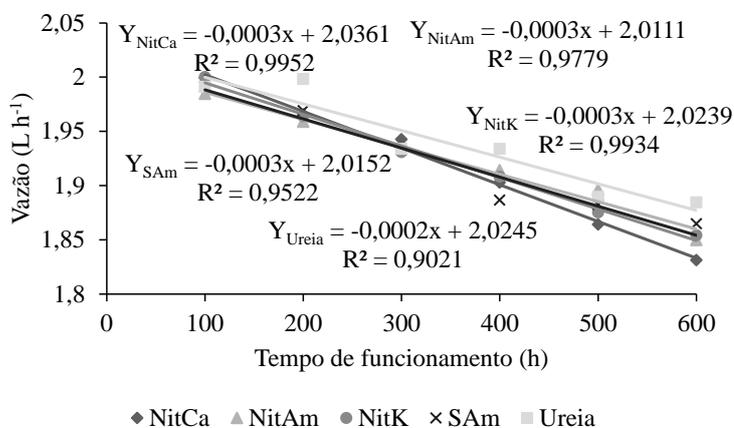
Nos tempos de funcionamento finais (500 e 600 h) observa-se que a aplicação da ureia foi a fonte de N que menos influenciou

na uniformidade seguido do nitrato de amônio (NitAm), sulfato de amônio (SAm), nitrato de cálcio (NitCa) e nitrato de potássio (NitK) (Tabela 5).

A uniformidade de aplicação de água é uma ferramenta fundamental para a avaliação da performance e da manutenção de sistemas de irrigação localizada, tanto na fase de dimensionamento como no acompanhamento do desempenho após a implantação, proporcionando melhor uso da água e de insumos, consequentemente, elevando-se a produtividade das culturas e o retorno econômico do agricultor (AVELINO NETO; SANDRI; SILVA, 2019).

A vazão média se adequou a um modelo linear, com R<sup>2</sup> acima de 95%, indicando que no máximo 4,78% das variações da vazão média não são explicadas pela variação do tempo de funcionamento (Figura 1).

**Figura 1.** Vazão em função do tempo de funcionamento para nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK), sulfato de amônio (SAm) e ureia (Ureia).



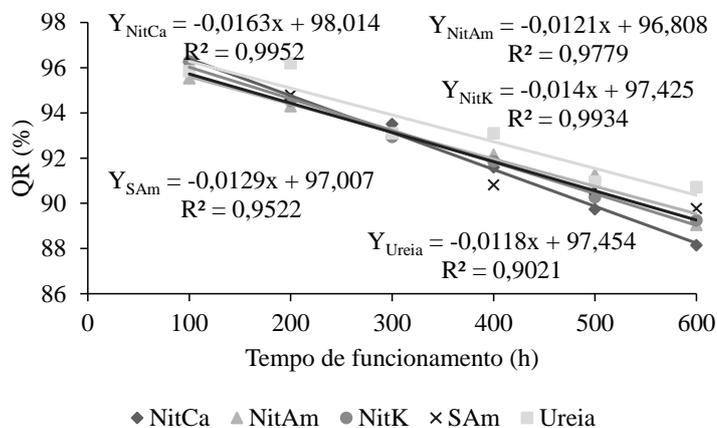
A Figura 1 apresenta o comportamento da vazão média para cada fonte de N em função do tempo de funcionamento. Comparando o tempo de funcionamento de 100 e 600 h, observa-se reduções na vazão média de aproximadamente 8,4, 6,8, 7,3, 6,3 e 5,7%, quando se utilizou na fertirrigação a fonte de N de nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK), sulfato de amônio (SAm) e ureia (Ureia), respectivamente. Outros estudos também verificaram o mesmo comportamento na maioria dos modelos de gotejadores, onde a vazão diminuiu à medida que mostrou

problemas de entupimento (SOUZA; CORDEIRO; COSTA, 2006; ALVES *et al.*, 2020).

Diversos fatores podem interferir no desempenho do sistema de irrigação, entre os principais estão o entupimento dos emissoras, a oscilação de pressão da rede e falhas hidráulicas no dimensionamento e operação (CARMO *et al.*, 2016).

A vazão relativa em função do tempo de funcionamento se adequou ao modelo linear para nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK), sulfato de amônio (SAm) e ureia (Ureia), com R<sup>2</sup> acima de 90% (Figura 2).

**Figura 2.** Vazão relativa (QR) em função do tempo de funcionamento para nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK), sulfato de amônio (SAm) e ureia (Ureia).



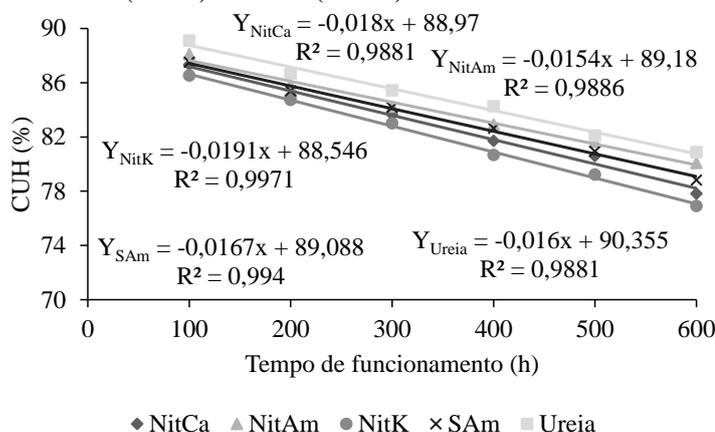
A Figura 2 apresenta o comportamento da vazão relativa para cada fonte de N em função do tempo de funcionamento. Levando em consideração o tempo de funcionamento de 100 e 600 h, observa-se reduções na vazão relativa de aproximadamente 8,1, 6,5, 7, 6,1 e 5,1%, quando utilizou-se na fertirrigação a fonte de N de nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK), sulfato de amônio (SAm) e ureia (Ureia), respectivamente.

Vieira *et al.* (2020) observou que o sistema de irrigação localizada sobre intenso uso apresentou valor de CUC de aproximadamente 88%, isso ocorreu devido as maiores variações de vazão nos últimos emissores avaliados, evidenciando que seu desempenho é comprometido pela ausência de práticas de limpeza no sistema.

A vazão relativa a cada aumento de 100 h no tempo de funcionamento demonstra um decréscimo de 1,63, 1,21, 1,4, 1,29 e 1,18%, quando aplicadas via água de irrigação as fontes de N de nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK), sulfato de amônio (SAm) e ureia (Ureia), respectivamente (Figura 2). É recomendado elevados coeficientes de uniformidades e adequada vazão para que se obtenha uma boa distribuição espacial de água e conseqüentemente melhor uniformidade na cultura (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2008; SILVA *et al.*, 2021a).

O CUH em função do tempo de funcionamento se adequou ao modelo linear para nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK), sulfato de amônio (SAm) e ureia (Ureia), com  $R^2$  superior a 98,8% (Figura 3).

**Figura 3.** Coeficiente de uniformidade de Hart (CUH) em função do tempo de funcionamento para nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK), sulfato de amônio (SAm) e ureia (Ureia).



A Figura 3 apresenta o coeficiente de uniformidade de Hart para cada fonte de N em função do tempo de funcionamento. No tempo de funcionamento de 100 e 600 h, observa-se reduções no CUH de aproximadamente 9,5, 8, 9,6, 8,7 e 8,2%, quando se utilizou na fertirrigação a fonte de N de nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK),

sulfato de amônio (SAm) e ureia (Ureia), respectivamente.

Para a correta avaliação da uniformidade de distribuição é importante à utilização de mais de um coeficiente, podendo ser um deles o CUH, por apresentar maior distinção dos resultados (CUNHA *et al.*, 2013; ALVES *et al.*, 2020).

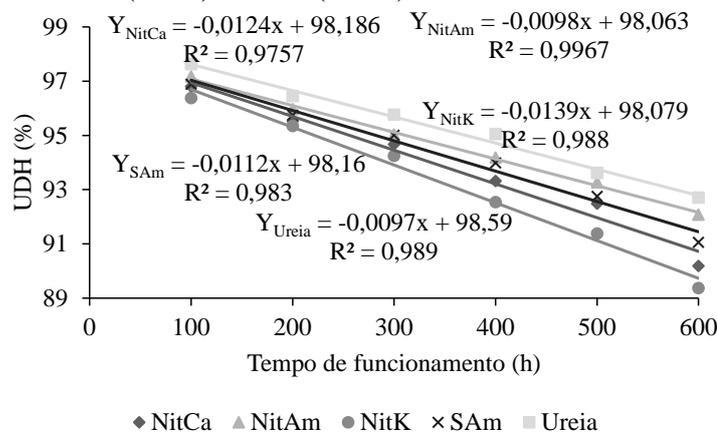
O CUH a cada aumento de 100 h no tempo de funcionamento demonstra um

decréscimo de 1,8, 1,54, 1,91, 1,67 e 1,6%, quando aplicadas via água de irrigação as fontes de N de nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK), sulfato de amônio (SAm) e ureia (Ureia), respectivamente (Figura 3). Valores reduzidos de uniformidade aumentam os custos de produção, em decorrência do maior consumo de água e

energia, maior perda de nutrientes e déficit hídrico, em significativa proporção da área irrigada (PAULINO *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2021b).

A UDH se adequou a um modelo linear, com  $R^2$  acima de 97,6%, indicando que no máximo 2,4% das variações da UDH não são explicadas pela variação do tempo de funcionamento (Figura 4).

**Figura 4.** Eficiência padrão da HSPA (UDH) em função do tempo de funcionamento para nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK), sulfato de amônio (SAm) e ureia (Ureia).



A Figura 4 apresenta o comportamento da uniformidade de aplicação para cada fonte de N em função do tempo de funcionamento. Comparando o tempo de funcionamento de 100 e 600 h, observa-se reduções na UDH de aproximadamente 6,6, 5,1, 7, 5,8 e 4,9%, quando se utilizou na fertirrigação a fonte de N de nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK), sulfato de amônio (SAm) e ureia (Ureia), respectivamente.

Valores de coeficiente de uniformidade inferiores a 90% em sistema de irrigação localizada, só podem ser admitidos se a precipitação pluvial tem um valor significativo durante o cultivo, ou se a diminuição dos custos do sistema com a redução da uniformidade compensar a diminuição da receita devido à redução na produção da cultura (DANTAS NETO *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2021a).

O UDH a cada aumento de 100 h no tempo de funcionamento demonstra um decréscimo de 1,24, 0,98, 1,39, 1,12 e 0,97%, quando aplicadas via água de irrigação as fontes de N de nitrato de cálcio (NitCa), nitrato de amônio (NitAm), nitrato de potássio (NitK), sulfato de amônio (SAm) e ureia (Ureia), respectivamente (Figura 4). Normalmente menores valores de uniformidade de aplicação de água ocasionam maiores consumos de energia e água, além de grandes perdas de nutrientes por deflúvio superficial, percolação profunda e simultaneamente apresenta plantas com déficit hídrico (MARTINS *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2021b).

## 6 CONCLUSÕES

A vazão relativa em todos os tempos de funcionamento (100, 200, 300, 400, 500 e

600 h) é superior a 90% somente quando se utiliza na fertirrigação a ureia.

A vazão média e a vazão relativa têm redução mais significativa quando é utilizado como fonte de N o nitrato de cálcio e o nitrato de amônio.

O desempenho dos gotejadores é principalmente afetado pela aplicação de nitrato de potássio.

Os maiores coeficiente de uniformidade de hart e da eficiência padrão da HSPA são obtidos quando a fertirrigação é realizada com as fontes de N de ureia e nitrato de amônio.

## 7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), ao Centro de Excelência em Agro Exponencial (CEAGRE) e ao Instituto Federal Goiano (IF Goiano), pelo apoio financeiro e estrutural para a condução deste estudo.

## 8 REFERÊNCIAS

ALVES, D. K. M.; TEIXEIRA, M. B.; CUNHA, F. N.; CABRAL FILHO, F. R.; SOARES, J. A. B.; GOMES, L. F. Grau de entupimento em um sistema de irrigação localizada submetido a diferentes tempos de funcionamento. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 8, p. 1-25, 2020.

ANDRADE, A. R. S.; SILVA, E. G.; SILVA, E. T.; PEREIRA, R. G.; SILVA, J. F.; COSTA, ZAMORA, C. M.; V. R. O.; CRUZB, A. F. S.; FERREIRA, M. E. S.;

SILVA, M. G. S.; NORONHA, D. A. Avaliação do desempenho de sistema de irrigação por gotejamento em cultivo de maracujá. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 10, n. 4, p. e21710414034, 2021.

AVELINO NETO, S.; SANDRI, D.; SILVA, F. V. O. Avaliação de um sistema de irrigação por gotejamento em pomar de Lima-Ácida Tahiti. **Revista Mirante**, Anápolis, v. 12, n. 1, p. 215-231, 2019.

BARROS, A. C.; COELHO, R. D.; MEDEIROS, P. R. F.; MELO, R. F.; BARBOZA JUNIOR, C. R. A.; DIAS, C. T. S. Entupimento de gotejadores em função da aplicação de superfosfato simples e ácido nítrico. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 62-71, 2009.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, p. 1-625, 2008.

BONOMO, R. **Análise da irrigação na cafeicultura em áreas de cerrado de Minas Gerais**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, p. 1-236, 1999.

BUSATO, C. C. M.; SOARES, A. A. Desempenho de gotejadores, utilizando água de baixa qualidade química e biológica. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 5, p. 739-746, 2010.

CUNHA, F. F.; PORDEUS, R. V.; MARACAJÁ, P. B.; FREITAS, R. S.; MESQUITA, L. X. Manejo de microirrigação baseado em avaliação do sistema na cultura do meloeiro. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 3, p. 147-155, 2008.

- CUNHA, F. N.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, N. F.; MOURA, L. M. F.; TEIXEIRA, M. B.; GOMES FILHO, R. R. Variabilidade temporal da uniformidade de distribuição em sistema de gotejamento. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 7, n. 4, p. 248-257, 2013.
- CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; TEIXEIRA, M. B.; MOURA, M. F.; CABRAL FILHO, F. R.; GOMES, F. H. F. Grau de entupimento de um sistema de gotejamento subsuperficial na cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 10, n. 3, p. 695-704, 2016.
- CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; TEIXEIRA, M. B.; RIBEIRO, P. H.; MOURA, L. M. F.; SANTOS, C. C. Repetibilidade de um sistema de irrigação por gotejamento sob entupimento. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 8, n. 4, p. 343-353, 2014.
- DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, C. A. V.; SILVA, L. F. D.; SILVA, P. F.; SANTOS, C. S. Desempenho de sistema de irrigação por gotejamento em áreas de pequenos produtores do semiárido paraibano. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 16, p. 679-688, 2013.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FRIZZONE, J. A.; BOTREL, T. A. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. In: VITTI, G. C.; BOARETTO, A. E. (ed.). **Fertilizantes fluidos**. Piracicaba: Potafos, p. 227-260, 1994.
- FRIZZONE, J. A.; DOURADO NETO, D. Avaliação de sistemas de irrigação. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, p. 573-651, 2003. (Série Engenharia Agrícola).
- FRIZZONE, J. A.; FREITAS, P. S.; REZENDE, R.; FARIA, M. A. **Microirrigação: gotejamento e microaspersão**. Maringá: Eduem, 2012.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928.
- MARTINS, C. A. S.; REIS, E. F.; PASSOS, R. R.; GARCIA, G. O. Desempenho de sistemas de irrigação por aspersão convencional na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Idesia**, Arica, v. 29, n. 3, p. 65-74, 2011.
- MÉLO, R. F. **Dinâmica e controle do entupimento de gotejadores em função de precipitados químicos e plâncton**. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, p. 444-454, 2007.
- MELO, V. G. M. L.; MELO, L. M.; FRIZZONE, J. A.; CAMARGO, A. P.; MARQUES, P. A. A. Perda de carga em fitas gotejadoras com emissores moldados. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 86-93, out. 2019.
- NASCIMENTO, V. F.; FEITOSA, E. O.; SOARES, J. I. Uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por aspersão via pivô central. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 4, n. 4, p. 65-69, 2017.
- OLIVEIRA, F. C. **Produtividade da água no cultivo de brócolis de cabeça sob diferentes sistemas de irrigação**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Grande Dourado, Dourados, 2014.

- PAULINO, M. A. O.; FIGUEIREDO, F. P.; FERNANDES, R. C.; MAIA, J. T. L. S.; GUILHERME, D. O.; BARBOSA, F. S. Avaliação da uniformidade e eficiência de aplicação de água em sistemas de irrigação por aspersão convencional. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 3, n. 2, p. 48-54, 2009.
- RIBEIRO, P. A. A.; COELHO, R. D.; TEIXEIRA, M. B. Entupimento de tubos gotejadores convencionais com aplicação de cloreto de potássio (branco e vermelho) via duas qualidades de água. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 279-287, mar./abr. 2010.
- RIBEIRO, T. A. P.; PATERNIANI, J. E. S. Comparação de elementos filtrantes no grau de obstrução em irrigação por gotejamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 3, p. 488-500, 2013.
- SILVA, C. A.; SILVA, C. J. Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada. Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal de Garça/FAEF. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, Ano IV, n. 8, p. 1-17, dez2005.
- SILVA JUNIOR, H. M.; GOMES, A. W. A.; COSTA, C. T. S.; SAAD, J. C. C. Relação entre uniformidade da produtividade e indicadores de uniformidade da irrigação em sistema de irrigação por microaspersão em citros. **Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 3, p. 430-442, jul./set. 2017.
- SILVA, L. A.; OLIVEIRA FILHO, J. C.; FERREIRA JÚNIOR, O. J.; LEITE, O. C.; LOPES, D. A. P. S.; AGUIAR, G. R.; PEREIRA, F. F. P. Eficiência e uniformidade de distribuição de água em batata-doce irrigado por aspersão no sul tocaninense. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Gurupi, v. 9, n. 1, p. 85-95, 2021a.
- SILVA, M. M.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; MELO FILHO, M. S.; SILVA, E. F. F.; SANTOS, J. B. Uniformidade da irrigação por aspersão em função da altura do dossel da cana-de-açúcar. **Irriga**, Botucatu, v. 26, n. 1, p. 195-209, jan./mar. 2021b.
- SOUSA, V. F.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p. 1-772, 2011.
- SOUZA, J. A. A.; CORDEIRO, É. A.; COSTA, É. L. Aplicação de hipoclorito de sódio para recuperação de gotejadores entupidos em irrigação com água ferruginosa. **Revista brasileira engenharia agrícola ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 5-9, 2006.
- TAMBO, F. L. R.; THEBALDI, M. S.; LIMA, L. A. Easydrip: dimensionamento de sistemas de irrigação por gotejamento energizada por sistemas fotovoltaicos em regiões moçambicanas. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 9, p. 69549-69567, 2020.
- TEIXEIRA, M. B.; COELHO, R. D.; CUNHA, F. N.; SILVA, N. F. Curva característica da vazão de gotejadores em diferentes temperaturas da água e ação do cloro ou ácido. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 8, n. 3, p. 220-233, 2014.
- VIEIRA, G. H. S.; NASCIMENTO, D. P.; MONACO, P. A. V. L.; HADADDE, I. R.; ROSADO, T. L.; CHAMBELA NETO, A. Eficiência de irrigação em cafeeiros Conilon na região centro serrana do Espírito Santo. **Revista IfesCiência**, Vitória, v. 6, n. 3, p. 22-34, 2020.

VITTI, G. C.; BOARETTO, A. E.;  
PENTEADO, S. R. **Fertilizantes e  
fertirrigação**. In: VITTI, G. C.;  
BOARETTO, A. E. (ed.). Fertilizantes  
fluidos. Piracicaba: Potafos, p. 262-281,  
1994.

ZAGO, E. A.; SIQUEIRA, J. A. C.; VILAS  
BOAS, M. A.; TOKURA, L. K.  
Desempenho de um sistema de irrigação  
por gotejamento utilizando energia  
fotovoltaica. **Research, Society and  
Development**, Vargem Grande Paulista, v.  
11, n. 5, p. e11111528023, 2022.