



Doses de nitrogênio e potássio para fertirrigação do morangueiro e sua influência em características químicas do solo

Nitrogen and potassium doses for strawberry fertigation and its influence on soil chemical characteristics

A. Guarçoni*; M. D. D. Esposti; L. C. S. Caetano

CPDI-Sul, Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), Cachoeiro de Itapemirim – ES, Brasil.

*guarconi@incaper.es.gov.br

(Recebido em 09 de fevereiro de 2023; aceito em 07 de agosto de 2023)

Os nutrientes N e K são fundamentais para aumentar a produtividade e melhorar a qualidade dos frutos do morangueiro. Contudo, as doses desses nutrientes aplicadas via fertirrigação são definidas majoritariamente pela experiência de cultivo. O objetivo do presente estudo foi determinar a combinação de doses de N e K₂O, aplicadas via fertirrigação na cultura do morangueiro cv. Camarosa, que proporcione maior produtividade e melhor qualidade de frutos, além de estabelecer seu efeito sobre características ligadas à nutrição das plantas e à fertilidade do solo. Para tanto, foi realizado um experimento de campo combinando doses de N e K₂O aplicadas via fertirrigação no morangueiro cv. Camarosa. Foram avaliadas características de produtividade e qualidade dos frutos, bem como de nutrição das plantas e da fertilidade do solo. Foi possível concluir que: os nutrientes N e K, aplicados via fertirrigação na forma de adubos minerais, promovem incremento na produtividade do morangueiro, mas sua combinação deve ser equilibrada, visando garantir uma melhor qualidade dos frutos; a fertirrigação é uma prática efetiva para a nutrição das plantas de morango, devendo-se efetuar o monitoramento periódico do pH e da condutividade elétrica do solo, para que seja mantido ambiente edáfico adequado ao desenvolvimento da cultura.

Palavras-chave: nutrição mineral, produtividade, qualidade.

N and K nutrients are key to increasing productivity and improving the quality of strawberry fruits. However, the doses of these nutrients applied via fertigation are mainly defined by the cultivation experience. The aim of this study was to determine the combination of N and K₂O doses, applied via fertigation to strawberry cv. Camarosa, which provides higher yields and better fruit quality, as well as to establish its effect on characteristics related to plant nutrition and soil fertility. Therefore, a field experiment was carried out combining doses of N and K₂O applied via fertigation on strawberry cv. Camarosa. Yield and fruit quality characteristics, plant nutrition, and soil fertility were evaluated. It was possible to conclude that: N and K nutrients, applied via fertigation as mineral fertilizers, promote an increase in strawberry yield, but their combination must be balanced, to ensure better fruit quality; fertigation is an effective practice for the nutrition of strawberry plants, but periodic monitoring of the soil pH and electrical conductivity should be carried out, in order to maintain a suitable edaphic environment for crop development.

Keywords: mineral nutrition, yield, quality.

1. INTRODUÇÃO

O cultivo do morangueiro, por se tratar de exploração que utiliza em muitos casos a mão-de-obra familiar, possui grande importância econômica e social, caracterizando-se como excelente fonte de renda para pequenas propriedades [1]. As condições de pré-colheita afetam o cultivo do morangueiro no campo e condicionam a qualidade do fruto na pós-colheita. Assim, práticas culturais como a adubação são importantes para se obter um produto adequado ao exigente mercado consumidor [2].

Em qualquer cultivo comercial de morangos, são obtidas elevadas produtividades a partir da nutrição adequada das plantas. Para isso, é necessário estabelecer as doses de nutrientes necessárias para cada forma de aplicação. Nesse sentido, os nutrientes nitrogênio (N) e potássio (K) se mostram relevantes para o morangueiro, posto que são, segundo Caproni et al. (2013) [3], dois dos nutrientes mais absorvidos por esta cultura.

O N exerce grande influência no crescimento vegetativo, na produtividade e na qualidade do morango. Quando em deficiência, ocorre redução na produtividade e no desenvolvimento das

plantas, ainda que o sabor do fruto fique mais agradável. Mas em excesso, o N aumenta o desenvolvimento das plantas e reduz a qualidade sensorial dos frutos [4].

Já o K, além de regular a abertura e o fechamento dos estômatos e ser componente da lignina e da celulose, afeta positivamente a acidez e o conteúdo de sólidos solúveis no fruto do morangueiro, gerando um produto de melhor qualidade para o mercado [5]. Para Malavolta et al. (1997) [6], o K é o “elemento da qualidade” em nutrição de plantas. Em contraponto, seu excesso pode provocar redução na absorção de Ca e Mg, chegando a ocasionar a deficiência desses elementos [7, 8].

Hochmuth et al. (1996) [9], conduzindo experimentos com diversas cultivares de morangueiro na Califórnia, observaram que doses entre 112 e 170 kg/ha de N foram as mais eficientes para a maioria das cultivares de dias curtos estudadas. Entretanto, essa concepção em relação à magnitude das doses pode mudar, visto que, para cultivares mais vigorosas, pode haver respostas a doses de N ou K mais elevadas. Dentre as cultivares mais vigorosas de dias curtos, existe, de acordo com Bernardi et al. (2005) [10], a cultivar Camarosa, que é precoce, para mesa, “com fruto grande de epiderme vermelha, firme e de bom sabor doce e um pouco ácido, com coloração interna vermelho intenso”. Por essas características, a cultivar Camarosa tem despertado interesse de diversos agricultores.

Empiricamente, nas regiões produtoras, doses elevadas de N e K vêm sendo aplicadas no cultivo fertirrigado do morangueiro de forma indiscriminada, devido à ausência de uma recomendação oficial baseada em critérios de base científica.

Não são apenas as quantidades isoladas de K e N absorvidas que influenciam a produção e a qualidade dos frutos do morangueiro. A proporção entre esses dois nutrientes pode apresentar grande influência sobre a qualidade final dos frutos. Em abacaxi, Guarçoni e Ventura (2011) [11] observaram maior correlação da acidez total titulável e de sólidos solúveis totais da polpa dos frutos com a relação K:N contida nas folhas, do que com os simples teores foliares de K e N. Esse fato demonstra que, eventuais aumentos no teor foliar de N, sem o correspondente incremento de K, poderiam afetar a qualidade da produção. Essa observação é consistente, podendo ser extrapolada, com segurança, para a cultura do morangueiro.

O objetivo do presente trabalho foi determinar a combinação de doses de N e K₂O, aplicadas via fertirrigação na cultura do morangueiro cv. Camarosa, que proporcione maior produtividade e melhor qualidade de frutos, além de estabelecer seu efeito sobre características ligadas à nutrição das plantas e à fertilidade do solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em área experimental instalada no Município de Domingos Martins-ES, região serrana e tradicionalmente produtora de morangos, utilizando-se a cultivar Camarosa.

Na área experimental foi efetuada amostragem e análise de solo, sendo realizada calagem até 20 cm de profundidade (novembro), utilizando para cálculo da necessidade de calagem (NC) o método da Saturação por Bases, proposto por Raij et al. (1983) [12], com uma saturação por bases esperada (Ve) de 80 %. Concomitantemente à aplicação de calcário, foi aplicada uma dose de 6 L/m² de esterco bovino curtido e incorporado até 20 cm de profundidade. O calcário reagiu no solo por dois meses, sendo então levantados os canteiros e aplicada adubação fosfatada baseada na análise de solo inicial, na forma de superfosfato simples, e incorporada aos 10 cm superficiais do canteiro. Nos 10 cm superficiais do canteiro foram também incorporados 10 g/m² de FTE BR 12 (micronutrientes), de acordo com Prezotti et al. (2007) [13].

Após montagem e disposição do sistema de irrigação e das lonas plásticas, as mudas do morangueiro cv. Camarosa foram transplantadas para os canteiros da área experimental, seguindo o espaçamento de 35 x 35 cm, sendo dispostas em triângulos e formando três linhas de plantas. Após o transplantio das mudas, foi montado o sistema de túneis baixos (lona plástica branca) sobre os canteiros.

A partir da primeira semana de cultivo, foram então aplicados os tratamentos. Estes foram gerados por meio da matriz experimental Box - Berard aumentada III, mais um tratamento adicional (Trat. 14), (2^K + 2K + 2 K + 1 + 1), sendo K o número de fatores em estudo (doses de N e K₂O, em kg/ha). Foram definidas como doses básicas 220 e 400 kg/ha de N e K₂O, na forma de ureia e KCl branco, respectivamente, com base nas recomendações oficiais dos estados do

Espírito Santo [13] e São Paulo [14], sendo geradas 14 combinações com sete doses de N e sete doses de K₂O.

Os tratamentos foram distribuídos em blocos ao acaso com três repetições, respeitando os princípios da repetição, da casualização e do controle local, sendo formadas 42 unidades experimentais. Estas, que apresentavam uma área de 2,5 m², foram compostas por 18 plantas, sendo consideradas as 12 centrais como úteis.

As doses relativas a cada tratamento foram parceladas em 34 aplicações, via fertirrigação, uma por semana, até a conclusão do ciclo da cultura, que teve duração de 250 dias. Nas primeiras duas semanas foram aplicados 2 % das doses totais de N e K₂O selecionadas para cada tratamento (Tabela 1). A partir da terceira semana, o percentual foi aumentado para 3 % das doses totais, até o fim do experimento, fechando em 100 % do total a ser aplicado.

Tabela 1: Tratamentos gerados pela matriz experimental Box – Berard aumentada III, mais um tratamento adicional (Trat. 14)

Tratamento	N	K ₂ O
	----- kg/ha -----	
1	110	200
2	110	600
3	330	200
4	330	600
5	55	400
6	385	400
7	220	100
8	220	700
9	22	200
10	110	40
11	418	600
12	330	760
13	220	400
14	22	40

A fertirrigação por gotejamento foi realizada separadamente do conjunto utilizado para a irrigação por gotejamento, considerando que o gotejamento é a forma mais adequada para fornecer água e nutrientes ao morangueiro, como reportado por Ayas (2023) [15]. Enquanto a irrigação foi aplicada via gotejamento tradicional, a fertirrigação foi aplicada via gotejamento por gravidade, utilizando-se uma mangueira que ligava o recipiente contendo a solução com os nutrientes N e K até uma válvula de engate rápido no início da linha de gotejamento em cada parcela. Dessa forma, foi possível aplicar as quantidades exatas das combinações de N e K₂O em cada parcela, em blocos e de forma casualizada, conferindo maior precisão ao experimento.

Após o início da produção, foram realizadas duas colheitas por semana, determinando-se a massa de frutos classificados como comerciais e calculada a produtividade final por hectare (t/ha), com base no número de plantas. Em amostras de frutos comerciais da terceira florada, foram determinadas as concentrações de sólidos solúveis totais (SST - °Brix), por refratometria, e a acidez total titulável (ATT - % de ácido cítrico), por titulação com NaOH 0,1 mol/L até pH 8,0, sendo os resultados expressos em percentagem de ácido cítrico, de acordo com Zenebon et al. (2008) [16]. Com base nesses resultados, foi também determinada a relação SST/ATT (ratio). Foram realizadas, por parcela, análises de macronutrientes em amostras foliares (terceira florada) e de solo (final do experimento), sendo as amostras foliares coletadas e analisadas de acordo com Raij et al. (1997) [14] e Tedesco et al. (1995) [17], e as de solo segundo Guarçoni et al. (2007) [18] e Teixeira et al. (2017) [19], respectivamente. No solo foram determinados ainda os valores de pH e a condutividade elétrica [19].

Como procedimentos estatísticos, foram realizadas análises de variância, de regressão com duas variáveis independentes (superfície de resposta) e de correlação linear simples. Os dados foram analisados estatisticamente utilizando o programa SAEG-UFV [20].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de doses crescentes de N e K₂O, na forma de fertirrigação, aumentou a produtividade e a porcentagem de frutos comerciais do morangueiro cv. Camarosa de forma quadrática, ocorrendo interação positiva entre os dois nutrientes (Tabela 2).

Tabela 2: Produtividade (\widehat{Prod} , em t/ha) e porcentagem de frutos comerciais (\widehat{FC} , em %) decorrentes da combinação de doses de N e K₂O (kg/ha) aplicadas via fertirrigação em morangueiro cv. Camarosa

Equação de Regressão	R ²
$\widehat{Prod}=12,54 + 0,0810N + 0,0322K_2O - 0,00025^{**}N^2 - 0,000056^{**}K_2O^2 + 0,000068^0NK_2O$	0,77
$\widehat{FC}= 43,75 + 0,0791N + 0,0568K_2O - 0,00029^{**}N^2 - 0,00010^{**}K_2O^2 + 0,00013^0NK_2O$	0,75

^{**}, ^{*} e ⁰ Significativo aos níveis de 1, 5 e 10 % de probabilidade.

Para a produtividade, as doses de máxima eficiência física foram 219 kg/ha de N e 421 kg/ha de K₂O, na forma de ureia e KCl, respectivamente, alcançando uma produção de frutos de 28,19 t/ha no ciclo produtivo. As doses selecionadas estão próximas de uma média entre aquelas recomendadas em dois dos principais manuais de recomendação de adubação do Brasil, o Boletim 100 de São Paulo [21] e a 5ª Aproximação de Minas Gerais [22], sendo 180 kg/ha de N e 490 kg/ha de K₂O para o primeiro, e 220 kg/ha de N e 350 kg/ha de K₂O para o segundo, considerando a classe de fertilidade de K como baixa em ambos. Essa resposta para K não foi a mesma encontrada por Sousa et al. (2014) [23], trabalhando com duas cultivares de morango fertirrigadas em substrato completamente desprovido de K. Esses autores encontraram redução linear na produtividade ao aplicarem o K em doses crescentes, atribuindo essa redução ao efeito antagonico desse nutriente com Ca e Mg. Contudo, já haviam aplicado a dose recomendada de K no plantio, o que certamente contribuiu para o resultado. Por outro lado, Gonçalves et al. (2019) [24] encontraram a mesma resposta quadrática da produção do morangueiro em relação ao aumento das doses de K, mas aplicaram como fonte de K o pó de granodiorito gnáissico, que é uma rocha metamórfica.

Para a porcentagem de frutos comerciais, as doses de máxima eficiência física foram 234 kg/ha de N e 435 kg/ha de K₂O. Utilizando-se as doses que levaram a uma maior porcentagem de frutos comerciais na equação de produtividade, seria alcançada uma produtividade de 28,14 t/ha de morangos, podendo-se recomendar essas doses de N e K₂O como as mais adequadas, o que redundaria numa relação N: K₂O de 1:1,9. Essa relação é intermediária entre aquelas preconizadas pelos manuais de São Paulo [21] e Minas Gerais [22].

A produtividade alcançada no presente trabalho pode ser considerada baixa em relação à obtida por Antunes et al. (2010) [25] e Resende et al. (2010) [26] cultivando o morangueiro cv. Camarosa no RS e no PR, respectivamente. Entretanto, no estado do Espírito Santo, a produtividade média da cultura do morangueiro, considerando as diversas cultivares plantadas, é de 33 t/ha [27], o que torna a produtividade encontrada no presente trabalho muito próxima da realidade de campo no Estado.

O potássio incrementou de forma linear tanto os sólidos solúveis totais quanto a acidez titulável na polpa dos frutos do morangueiro (Tabela 3). Este resultado é corroborado pelo trabalho de Marodin et al. (2010) [5], que observaram aumento linear nessas mesmas características de qualidade ao aplicarem doses crescentes de K no morangueiro cv. Camarosa fertirrigado. Já o nitrogênio, apresentou efeito inverso, ou seja, linear negativo sobre essas mesmas características (Tabela 3). Esse é um padrão de resposta clássico, quando se consideram os efeitos de ambos os nutrientes na qualidade das polpas das frutas em geral, como observado por Cvelbar Weber et al. (2021) [28] para o morangueiro e por Guarçoni e Ventura (2011) [11] e Caetano et al. (2013) [29], para a cultura do abacaxi. Quanto ao Ratio (SST/ATT), não foi possível selecionar um modelo de resposta que explicasse sua variação em função dos tratamentos (Tabela 3).

Tabela 3: Sólidos solúveis totais (\widehat{SST} , em $^{\circ}\text{Brix}$), acidez total titulável (\widehat{ATT} , em % de ácido cítrico) e Ratio ($\widehat{SST}/\widehat{ATT}$) da polpa dos frutos decorrentes da combinação de doses de N e K_2O (kg/ha) aplicadas via fertirrigação em morangueiro cv. Camarosa

Equação de Regressão	R ²
$\widehat{SST} = 6,0019 - 0,00193^{**}\text{N} + 0,0009731^{**}\text{K}_2\text{O}$	0,65
$\widehat{ATT} = 0,8349 - 0,0002423^0\text{N} + 0,0001260^0\text{K}_2\text{O} + 0,00000043^{(15)}\text{NK}$	0,72
$\widehat{Ratio} = \overline{Ratio} = 6,89$	-

^{**}, ⁰ e ⁽¹⁵⁾ Significativo aos níveis de 1, 10 e 15 % de probabilidade.

Ao se utilizar as doses recomendáveis para a maior produção de frutos comerciais, nas equações de características da qualidade dos frutos, seriam alcançados valores de sólidos solúveis totais (SST), acidez total titulável (ATT) e Ratio (SST/ATT) na ordem de 6,00 $^{\circ}\text{Brix}$, 0,88 % de ácido cítrico e 6,81, respectivamente. Antunes et al. (2010) [25], cultivando o morangueiro cv. Camarosa no RS, encontraram valores superiores de SST e Ratio e menores valores de ATT na polpa dos frutos. Contudo, esses autores não observaram diferenças estatísticas entre os valores obtidos no morangueiro cv. Camarosa e aqueles presentes na polpa dos frutos de outras cinco cultivares, sendo o coeficiente de variação (CV) de 7,52; 20,29 e 12,43 %; respectivamente. Por outro lado, Resende et al. (2010) [26] relataram valores de SST bem próximos aos encontrados no presente trabalho, cultivando o morangueiro cv. Camarosa em túnel baixo no PR.

A elevação da dose de N, aplicado na forma de ureia, provocou um aumento linear na concentração de N foliar, como seria de esperar (Tabela 4). Utilizando-se a dose de N selecionada para a produtividade e a maior porcentagem de frutos comerciais, na equação de N-foliar, obteve-se um teor de 3,1 dag/kg de N, sendo este presumivelmente o teor foliar a ser alcançado para uma maior produtividade de frutos comerciais. O aumento no teor foliar de N não provocou incremento na ocorrência de doenças, como se poderia supor. Este fato foi também observado por Fischer et al. (2015) [30], quando aplicaram diferentes doses de N na forma de ureia para diferentes cultivares de morangueiro.

Tabela 4: Teores foliares de N (\widehat{NF} , em dag/kg), de K (\widehat{KF} , em dag/kg) e de Mg (\widehat{MgF} , em dag/kg) e Ca (\widehat{CaF} , em dag/kg) decorrentes da combinação de doses de N e K_2O (kg/ha) aplicadas via fertirrigação em morangueiro cv. Camarosa

Equação de Regressão	R ²
$\widehat{NF} = 2,56 + 0,002107^{**}\text{N}$	0,87
$\widehat{KF} = 2,44075 - 27,8416^{**}1/\text{K}_2\text{O}$	0,83
$\widehat{MgF} = 0,2970 - 0,0000942^{**}\text{K}_2\text{O}$	0,76
$\widehat{CaF} = \overline{CaF} = 1,08$	-

^{**} Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

A aplicação de K aumentou sua concentração nas folhas do morangueiro, mas de forma hiperbólica (Tabela 4). Realizando o mesmo procedimento anterior, foi determinado um teor foliar de 2,4 dag/kg de K, sendo este o teor a ser alcançado, no momento da amostragem foliar, para que seja atingida produção adequada e com maior porcentagem de frutos comerciais.

Considerando os teores foliares de N e K, necessários para uma maior produtividade de frutos comerciais do morangueiro, a relação foliar N:K mais adequada seria de 1,3:1,0, aproximadamente. Ismail e Ganzour (2021) [31] encontraram relação foliar idêntica (1,3:1,0) no tratamento que proporcionou maior produtividade de frutos comerciais de morango, com teores foliares de 3,5 e 2,7 dag/kg de N e K, respectivamente. Aparentemente, a discordância entre a relação de doses N: K_2O (1:1,9) e a relação foliar N:K (1,3:1,0) do morangueiro é devida a fatores como sistema de cultivo, fontes fertilizantes e época de amostragem foliar. Esse conjunto de fatores pode explicar, no presente estudo, o fato da dose recomendada de K_2O , para que fossem alcançadas as maiores produtividades de frutos comerciais, ter sido praticamente o dobro da dose de N, não condizendo com a relação N:K nas folhas. Esta revela, por sua vez, a relação existente em dado estágio fenológico da planta (3^a florada), enquanto a dose recomendada dos dois nutrientes compreende todo o processo de desenvolvimento e produção das plantas, abarcando

não só o consumo dos nutrientes, mas ainda as taxas de absorção e também suas perdas. Considerando a contínua produção de frutos pelo morangueiro, a determinação de concentrações foliares de nutrientes num único estágio fenológico de desenvolvimento não representa a relação quantitativa dos nutrientes N e K a ser aplicada, considerando todo o ciclo produtivo.

O aumento das doses de potássio, por outro lado, reduziu de forma linear a concentração foliar de Mg, alcançando-se um teor foliar de 0,26 dag/kg de Mg ao se aplicar a dose recomendada de K (Tabela 4).

Não foi possível encontrar um modelo que explicasse os efeitos de N ou K sobre a concentração foliar de Ca (Tabela 4).

A aplicação de K provocou um aumento proporcional e linear no teor deste nutriente no solo, mas reduziu os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} (Tabela 5). O efeito competitivo das bases trocáveis pelos mesmos sítios de ligação no solo é bem conhecido, e mesmo que o K apresente menor preferencialidade de troca, isso se modifica quando sua concentração na solução do solo é incrementada [32]. O K que estava em solução assumiu os sítios de ligação onde estavam adsorvidos Ca^{2+} e Mg^{2+} , deslocando-os para a solução do solo, sendo estes então lixiviados para camadas mais profundas, abaixo dos 20 cm de solo avaliados.

Tabela 5: Teores de K ($\widehat{K\text{S}}$, em mg/dm^3), Ca^{2+} ($\widehat{\text{CaS}}$, em mg/dm^3) e Mg^{2+} ($\widehat{\text{MgS}}$, em mg/dm^3), e valores de pH ($\widehat{\text{pH}}$) e condutividade elétrica ($\widehat{\text{CE}}$, em dS/m) na camada superficial do solo (0-20 cm), decorrentes da combinação de doses de N e K_2O (kg/ha) aplicadas via fertirrigação em morangueiro cv. Camarosa

Equação de Regressão	R ²
$\widehat{K\text{S}} = 31,748 + 0,1349^{**}\text{K}_2\text{O}$	0,94
$\widehat{\text{CaS}} = 3,456 - 0,02458^{**}\text{N} - 0,000398^0\text{K}_2\text{O}$	0,79
$\widehat{\text{MgS}} = 0,520 - 0,0003939^{**}\text{N} - 0,0001868^{**}\text{K}_2\text{O}$	0,86
$\widehat{\text{pH}} = 6,003 - 0,00169^{**}\text{N}$	0,92
$\widehat{\text{CE}} = 0,2891 + 0,000605^{**}\text{K}_2\text{O}$	0,77

** e ⁰ Significativo aos níveis de 1 e 10 % de probabilidade.

O N também reduziu os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo. Essa redução pode ter ocorrido pela troca do amônio (NH_4^+) por Ca^{2+} e Mg^{2+} na CTC, sendo esses últimos lixiviados e, dessa forma, não sendo detectados na análise, como ocorreu entre K e Ca^{2+} e Mg^{2+} (Tabela 5).

A aplicação de N na forma de ureia reduziu de forma linear o pH do solo (Tabela 5), devido ao efeito acidificante deste fertilizante nitrogenado, bem conhecido e reportado na literatura. Por outro lado, como na hidrólise da ureia são gerados grupamentos OH^- , a acidificação do solo no processo de nitrificação (NH_4^+ para NO_3^-) é reduzida, sendo a magnitude de acidificação da ureia muito menor do que a do sulfato de amônio ou do nitrato de amônio, por exemplo, como descrito por Rosado et al. (2014) [33] e Caires e Milla (2016) [34]. A cada 100 kg/ha de N aplicado na forma de ureia, ocorreria, nas condições do presente trabalho, uma redução no pH do solo de 0,17 aproximadamente, algo pouco relevante em relação à dose de N recomendada (234 kg/ha). Entretanto, o monitoramento dessa característica química do solo deve ser constante, especialmente quando se aplicam doses elevadas de nutrientes via fertirrigação.

A aplicação de KCl, por sua vez, aumentou de forma linear a condutividade elétrica (CE) do solo (Tabela 5), como observado por Santana et al. (2007) [35]. A condutividade elétrica é uma característica relacionada à concentração de sais no solo, que informa concomitantemente sobre a necessidade de fertirrigação ou sobre a salinidade do mesmo. A cultura do morangueiro é considerada sensível ao excesso de sais no solo [36], sendo que a redução na produtividade está associada à uma condutividade elétrica igual ou superior a (1,5 dS/m), de acordo com Portela, Peil e Rombaldi (2012) [37]. Ao substituir as doses de K_2O selecionadas para a maior produtividade (421 kg/ha de K_2O) e maior porcentagem de frutos comerciais (435 kg/ha de K_2O), na equação de CE selecionada (Tabela 5), seriam alcançadas condutividades elétricas iguais a 0,54 e 0,55 dS/m, respectivamente. Estas estão muito abaixo do limite para o morangueiro, podendo-se inferir que o efeito quadrático do K não foi devido à possível salinização do solo, mas à redução nas concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} causada pela elevação da dose de K_2O (Tabela 5). Esse fato não exime os agricultores de manter contínuo monitoramento sobre a evolução da CE do solo, para interferir no sentido de aumentar ou reduzir o seu valor, de acordo com o objetivo.

O teor foliar dos nutrientes avaliados não apresentou correlação com as características de produtividade determinadas (Tabela 6). Muitas vezes os teores de nutrientes foliares não apresentam esta correlação, devido ao efeito de diluição causado por uma maior taxa de desenvolvimento foliar em relação à taxa de absorção de nutrientes, como observado para melão por Maia et al. (2005) [38]. Geralmente, essas correlações são significativas para o conteúdo de nutrientes na parte aérea ou na planta como um todo [39]. Entretanto, por se tratar de um experimento de campo, o conteúdo de nutrientes não foi mensurado, devido à dificuldade de coleta dessas estruturas morfológicas. Além da diluição, já foi discutido que a colheita contínua do morangueiro dificulta a obtenção de correlação entre produtividade e teores de nutrientes presentes na folha, quando a coleta de amostras é realizada em um único estágio fenológico de desenvolvimento (3ª florada).

Tabela 6: Correlações entre teores foliares de nutrientes e relações entre os mesmos como características de produtividade e qualidade dos frutos decorrentes da combinação de doses de N e K₂O (kg/ha) aplicadas via fertirrigação em morangueiro cv. Camarosa

Características Nutricionais ^{2/}	Características de produtividade e qualidade ^{1/}				
	Prod.	%FC	ATT	SST	Ratio
	----- r -----				
NF	-0,20 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,31 ^{ns}	-0,42 ^{ns}	-0,63 ^{**}
KF	-0,59 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,81 ^{**}	0,31 ^{ns}	-0,60 [*]
CaF	0,09 ^{ns}	-0,34 ^{ns}	-0,67 ^{**}	-0,18 ^{ns}	0,50 ^{ns}
MgF	0,37 ^{ns}	0,48 ^{ns}	-0,79 ^{**}	-0,24 ^{ns}	0,61 ^{**}
KF/NF	-0,37 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,66 ^{**}	-0,01 ^{ns}
KF/MgF	0,41 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,83 ^{**}	0,27 ^{ns}	-0,63 [*]

^{1/} Prod. = produção de frutos comerciais em t/ha; %FC = porcentagem de frutos comerciais; ATT = acidez total titulável, em % de Ác. Cítrico; SST = sólidos solúveis totais, em °Brix e Ratio = SST/ATT. ^{2/} NF = nitrogênio foliar, em dag/kg; KF = potássio foliar, em dag/kg; CaF = cálcio foliar, em dag/kg; MgF = magnésio foliar, em dag/kg. ** e * Significativo aos níveis de 1 e 5 % de probabilidade e ^{ns} não significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

A concentração foliar de K, por outro lado, apresentou elevada correlação positiva com a acidez total titulável (ATT), mas nenhuma correlação com os sólidos solúveis totais (SST). Considerando esta característica de qualidade, apenas a relação entre a concentração foliar de potássio e nitrogênio (KF/NF) apresentou correlação significativa, e, no caso, positiva (Tabela 6). Isso indica que, ao aumentar a concentração de K foliar, em relação à concentração de N foliar, haveria um benefício quanto à qualidade dos frutos do morangueiro. Isso ocorreria até certo ponto, pois, no caso do Ratio (SST/ATT), foi observado que aumentos isolados na concentração foliar de N ou K podem reduzir a qualidade final dos frutos do morangueiro, uma vez que há uma tendência de maior efeito das concentrações foliares na acidez total titulável (ATT) do que nos sólidos solúveis totais (SST) (Tabela 6). Portanto, o aumento nas concentrações foliares de nutrientes deve ser bem balanceado, evitando decréscimo na qualidade dos frutos. Talvez por isso, Farnezi et al. (2020) [40] e Farnezi et al. (2023) [41] tenham encontrado maior produtividade e frutos de melhor qualidade ao aplicarem fertilizantes organominerais, que seriam por sua vez mais balanceados do que os fertilizantes minerais testados.

As concentrações foliares de Ca e Mg apresentaram correlação negativa com a acidez total titulável (ATT) (Tabela 6). Este fato foi provocado muito mais por uma ação competitiva entre o K e Ca²⁺ e Mg²⁺ do solo do que por um efeito direto desses últimos nutrientes nessa característica de qualidade. Essa explicação é corroborada pelas correlações negativas encontradas entre Ca²⁺ e Mg²⁺ no solo e teores foliares de K, bem como entre o teor de K no solo e o teor foliar de Mg (Tabela 7), bem como pelo trabalho de Boni et al. (2022) [42], que comprovaram esse efeito em solo degradado de cerrado.

O pH no solo apresentou correlação negativa com os teores foliares de N (Tabela 7), como seria de esperar, uma vez que a aplicação do adubo nitrogenado na forma de ureia diminuiu o pH do solo (Tabela 5), devido à acidificação característica do meio que é gerada no processo de nitrificação.

Tabela 7: Correlações entre características químicas do solo e teores foliares de nutrientes decorrentes da combinação de doses de N e K₂O (kg/ha) aplicadas via fertirrigação em morangueiro cv. Camarosa

Características de Solo ^{2/}	Características Nutricionais ^{1/}					
	NF	KF	CaF	MgF	KF/NF	KF/MgF
	----- r -----					
K	0,44 ^{ns}	0,88 ^{**}	-0,50 ^{ns}	-0,83 ^{**}	0,42 ^{ns}	0,89 ^{**}
Ca ²⁺	-0,58 ^{ns}	-0,70 ^{**}	0,22 ^{ns}	0,56 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	-0,62 ^{**}
Mg ²⁺	-0,72 ^{**}	-0,69 ^{**}	0,24 ^{ns}	0,67 ^{**}	-0,03 ^{ns}	-0,70 ^{**}
pH	-0,75 ^{**}	-0,57 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,64 ^{**}	0,10 ^{ns}	-0,62 ^{**}
CE	0,36 ^{ns}	0,67 ^{**}	-0,51 ^{ns}	-0,62 ^{**}	0,27 ^{ns}	0,68 ^{**}

^{1/}NF = nitrogênio foliar, em dag/kg; KF = potássio foliar, em dag/kg; CaF = cálcio foliar, em dag/kg; MgF = magnésio foliar, em dag/kg. ^{2/} K = potássio no solo, em mg/dm³; Ca²⁺ = cálcio trocável no solo, em cmol_c/dm³; Mg²⁺ = magnésio trocável no solo, em cmol_c/dm³; pH = valor de pH no solo e CE = condutividade elétrica no solo, em dS/m. ** Significativo ao nível de 1 % de probabilidade e ^{ns} não significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

A correlação entre condutividade elétrica do solo (CE) e o teor de K na folha foi positiva, o mesmo ocorrendo com a relação KF/MgF (Tabela 7). Os sais de potássio, como o KCl utilizado neste estudo, aumentam a CE do solo, o que é corroborado por Vogeler et al. (1997) [43], para quem a CE se relaciona, de forma linear, com a concentração de sais presente na solução do solo.

As correlações entre características do solo caracterizam muito bem as reações químicas que ocorrem no meio e determinam a disponibilidade dos nutrientes. O teor de K no solo apresentou correlação negativa com os teores de Ca²⁺, Mg²⁺ e com os valores de pH, mas apresentou correlação positiva com a CE (Tabela 8).

Tabela 8: Correlações entre características químicas do solo decorrentes da combinação de doses de N e K₂O (kg/ha) aplicadas via fertirrigação em morangueiro cv. Camarosa

Características de Solo ^{1/}	Características de Solo ^{1/}			
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	pH	CE
	----- r -----			
K	-0,70 ^{**}	-0,76 ^{**}	-0,67 ^{**}	0,85 ^{**}
Ca ²⁺	-	0,81 ^{**}	0,78 ^{**}	-0,61 ^{**}
Mg ²⁺	-	-	0,83 ^{**}	-0,64 ^{**}
pH	-	-	-	-0,70 ^{**}

^{1/}K = potássio no solo, em mg/dm³; Ca²⁺ = cálcio trocável no solo, em cmol_c/dm³; Mg²⁺ = magnésio trocável no solo, em cmol_c/dm³; pH = valor de pH no solo e CE = condutividade elétrica no solo, em dS/m. ** Significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

O K é capaz de deslocar Ca²⁺ e Mg²⁺ da CTC quando em elevada concentração no solo, sendo estes últimos lixiviados para camadas mais profundas [32], o que contribuiu para reduzir sua concentração na camada de solo avaliada. Por outro lado, por aumentar a CE quando em elevada concentração, promove a concomitante redução no valor do pH, fato este que foi evidenciado na correlação negativa observada entre pH e CE (Tabela 8). No presente estudo foi utilizada como fonte de potássio o KCl. Quando este se dissocia no solo, libera K⁺ em elevadas concentrações para a solução do solo. Dessa forma, o K⁺ consegue deslocar o Al³⁺ e mesmo o H⁺, ligado de forma covalente, dos sítios de ligação, acidificando o meio e reduzindo o pH [44]. Esse é o princípio de determinação do pH-KCl, que em situações normais é sempre menor do que o pH-H₂O.

Foi observada correlação positiva dos teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ com os valores de pH e negativa com a CE (Tabela 8). Ca e Mg são adicionados ao solo por meio da calagem, que corrige a acidez do solo, elevando o pH, o que explica a correlação positiva com esta característica. Já para a CE, a correlação negativa com esses nutrientes é devida ao efeito competitivo entre K e Ca²⁺ e Mg²⁺, como já discutido anteriormente.

4. CONCLUSÃO

Os nutrientes N e K, aplicados via fertirrigação na forma de adubos minerais, promovem incremento na produtividade do morangueiro, mas sua combinação deve ser equilibrada, visando garantir uma melhor qualidade dos frutos. A fertirrigação é uma prática efetiva para a nutrição das plantas de morango, devendo-se efetuar o monitoramento periódico do pH e da condutividade elétrica do solo, para que seja mantido ambiente edáfico adequado ao desenvolvimento da cultura.

5. AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), pelo suporte financeiro, e ao Professor Víctor Hugo Alvarez V. (*in memoriam*), cujos ensinamentos se materializaram na base experimental utilizada neste estudo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Santos LO, Martins RN, Durigan JF, Mattiuz BH. Técnicas de conservação pós-colheita do morango. Informe Agropec. 2007;28(236):84-7.
2. Cantillano F, Bender JR, Luchsinger LL. Fisiologia e manejo pós-colheita. In: Cantillano F, editor. Morango: pós-colheita. Brasília (DF): Embrapa, Informação Tecnológica; 2003. p. 14-24.
3. Caproni CM, Souza AG, Ferreira S, Faquin V, Souza AA. Produção sustentável de morangueiro. Rev Agrogeoambiental. 2013;5(3):91-8. doi: 10.18406/2316-1817v5n32013545
4. Passos FA. Nutrição, adubação e calagem do morangueiro. In: Duarte Filho J, Caçado GMA, Regina MA, Antunes LEC, Fadini MAM, coordenadores. Morango: tecnologia de produção e processamento. Caldas (MG): Epamig, 1999. p. 159-67.
5. Marodin JC, Resende JTV, Morales RGF, Camargo CK, Camargo LKP, Pavinato PS. Qualidade físico-química de frutos de morangueiro em função da adubação potássica. Sci Agr Paranaensis. 2010;9(3):50-7.
6. Malavolta E, Vitti GC, Oliveira SA. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba (SP): POTAFÓS; 1997.
7. Faquin, V. Nutrição mineral de plantas. Lavras (MG): UFLA/Faep; 1994.
8. Albuquerque FC, Silva EFF, Albuquerque Filho JAC, Nunes MFFN. Crescimento e rendimento de pimentão fertirrigado sob diferentes lâminas de irrigação e doses de potássio. R Bras Eng Agríc Ambiental. 2011;15(7):686-94. doi: 10.1590/S1415-43662011000700006
9. Hochmuth GJ, Albrechts EE, Chandler CC, Cornell J, Harrison J. Nitrogen fertigation requirements of drip-irrigated strawberries. J Amer Soc Hort Sci. 1996;121(4):660-5. doi: 10.21273/JASHS.121.4.660
10. Bernardi J, Hoffmann A, Antunes LEC, Freire JM. Sistema de produção de morango para mesa na região da Serra Gaúcha e encosta superior do Nordeste. Sistema de Produção-6, Embrapa Uva e Vinho [Internet]; dez 2005 [acesso em 14 set 2022]. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Morango/MesaSerraGaucha/cultivares.htm>.
11. Guarçoni A, Ventura JA. Adubação N-P-K e o desenvolvimento, produtividade e qualidade dos frutos do abacaxi 'Gold' (MD-2). R Bras Ci Solo. 2011;35(4):1367-76. doi: 10.1590/S0100-06832011000400031
12. Raij Bvan, Camargo AP, Cantarella H, Silva NM. Alumínio trocável e saturação em bases como critérios para recomendação de calagem. Bragantia. 1983;42(1):149-56. doi: 10.1590/S0006-87051983000100013
13. Prezotti LC, Gomes JA, Dadalto GG, de Oliveira JA. Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo: 5ª aproximação. Vitória (ES): SEEA, Incaper, CEDAGRO; 2007.
14. Raij Bvan, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC, editores. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. rev. atual. Campinas (SP): Instituto Agrônomo/Fundação IAC; 1997. (Boletim Técnico, 100).
15. Ayas, S. Different irrigation and fertilization levels and mulching materials on the yield and quality of strawberry. Ciênc Agrotec. 2023;47(e014122):2-17. doi: 10.1590/1413-7054202347014122
16. Zenebon O, Pascuet NS, Tiglea P. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4ª ed. 1ª ed. digital. São Paulo (SP): Instituto Adolfo Lutz; 2008. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/nutricao/omatologia/files/2013/07/NormasADOLFOLUTZ.pdf>
17. Tedesco MJ, Gianello C, Bissani CA, Bohnen H, Volkweiss SJ. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre (RS): Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 1995. (Boletim Técnico de Solos, 5).

18. Guarçoni A, Alvarez V VH, Novais RF, Cantarutti RB, Leite HG, Freire FM. Diâmetro de trado necessário à coleta de amostras num cambissolo sob plantio direto ou sob plantio convencional antes ou depois da aração. *Rev Bras Ciênc Solo*. 2007;31(5):947-59. doi: 10.1590/S010006832007000500012
19. Teixeira PC, Donagemma GK, Fontana A, Teixeira WG, editores. Manual de métodos de análise de solo. 3ª ed. rev. ampl. Brasília (DF): EMBRAPA; 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085209/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>
20. SAEG. Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes – UFV – Viçosa; 2007.
21. Passos FA, Trani PE. Morango. In: Raij Bvan, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC, editores. Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2. ed. rev. atual. Campinas (SP): IAC; 1997. p. 182. (Boletim Técnico, 100).
22. Nannetti DC, Souza RJ. Morango. In: Ribeiro AC, Guimarães PTG, Alvarez V VH, editores. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa-MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais; 1999. p. 198-9. (5ª Aproximação).
23. Sousa GG, Viana TVA, Pereira ED, Albuquerque AHP, Marinho AB, Azevedo BM. Fertirrigação potássica na cultura do morango no litoral Cearense. *Bragantia*. 2014;73(1):39-44. doi: 10.1590/brag.2014.006
24. Gonçalves GK, Mendes FB, Guedes KS, Birck V, Galarza RM, Falcão FV, et al. Utilização do granodiorito gnáissico como fonte de potássio na produção de morango. *Braz J Develop*. 2019;5(10):22073-87. doi: 10.34117/bjdv5n10-339
25. Antunes LEC, Ristow NC, Krolow ACR, Carpenedo S, Reisser Júnior C. Yield and quality of strawberry cultivars. *Hortic Bras*. 2010;28(2):222-6. doi: 10.1590/S0102-05362010000200015
26. Resende JTV, Morales RGF, Faria MV, Rissini ALL, Camargo LKP, Camargo CK. Produtividade e teor de sólidos solúveis de frutos de cultivares de morangueiro em ambiente protegido. *Hortic Bras*. 2010;28(2):185-9. doi: 10.1590/S0102-05362010000200008
27. Antunes LEC, Bonow S, Reisser Júnior C. Morango crescimento constante em área e produção. *Campo & Negócios*, Anuário HF [Internet]; 2020. p. 88-92. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/213216/1/Anuario-HF-2020-LEC-Antunes.pdf>
28. Cvelbar Weber N, Koron D, Jakopič J, Veberič R, Hudina M, Baša Česnik H. Influence of nitrogen, calcium and nano-fertilizer on strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) fruit inner and outer quality. *Agronomy*. 2021;11(997):1-18. doi: 10.3390/agronomy11050997
29. Caetano LCS, Ventura JA, Costa AFS, Guarçoni RC. Efeito da adubação com nitrogênio, fósforo e potássio no desenvolvimento, na produção e na qualidade de frutos do abacaxi 'Vitória'. *Rev Bras Frutic*. 2013;35(3):883-90. doi: 10.1590/S0100-29452013000300027
30. Fischer IH, Fernandes Júnior F, Kano C, Donadelli A, Palharini MCA. Adubação nitrogenada sobre a ocorrência de doenças em pós-colheita do morango. *Arq Inst Biol*. 2015;82:1-5. doi: 10.1590/1808-1657000862013
31. Ismail SA, Ganzour SK. Efficiency of foliar spraying with moringa leaves extract and potassium nitrate on yield and quality of strawberry in sandy soil. *Int J Agricult Stat Sci*. 2021;17(1):383-98.
32. Novais RF, Mello JV. Relação solo:planta. In: Novais RF, Alvarez V VH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL, editores. Fertilidade do solo. Viçosa (MG): Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 133-204.
33. Rosado TL, Gontijo I, Almeida MS, Andrade FV. Fontes e doses de nitrogênio e alterações nos atributos químicos de um latossolo cultivado com capim-mombaça. *R Bras Ci Solo*. 2014;38(3):840-9. doi: 10.1590/S0100-06832014000300015
34. Caires EF, Milla R. Adubação nitrogenada em cobertura para o cultivo de milho com alto potencial produtivo em sistema de plantio direto de longa duração. *Bragantia*. 2016;75(1):87-95. doi: 10.1590/1678-4499.160
35. Santana GS, Coelho EF, Silva TSM, Ramos MM. Relação entre potássio na solução do solo, umidade e condutividade elétrica aparente do solo. *R Bras Eng Agríc Ambiental*. 2007;11(2):142-51. doi: 10.1590/S1415-43662007000200003
36. Karlidag H, Yildirim E, Turan M. Salicylic acid ameliorates the adverse effect of salt stress on strawberry. *Sci Agric*. 2009;66(2):180-7. doi: 10.1590/S0103-90162009000200006
37. Portela IP, Peil RMN, Rombaldi CV. Efeito da concentração de nutrientes no crescimento, produtividade e qualidade de morangos em hidroponia. *Hortic Bras*. 2012;30(2):266-73. doi: 10.1590/S0102-05362012000200014
38. Maia CE, Morais ERC, Porto Filho FQ, Gueyi HR, Medeiros JF. Teores foliares de nutrientes em meloeiro irrigado com águas de diferentes salinidades. *R Bras Eng Agríc Ambiental*. 2005;9(supl 1):292-5. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v9nsuppl292-295
39. Guarçoni A, Alvarez V VH, Novais RF, Galvão JCC, Silva AP. Efeito da localização de adubos fosfatados sobre o crescimento de plantas de milho. *Rev Ceres*. 2005;52(304):939-61.

40. Farnezi PKB, Oliveira LL, Sardinha LT, França AC, Machado CMM, Macedo LA. Produção e caracterização físico-química de morango (*Fragaria X Ananassa Duch*) sob diferentes fontes de adubação fosfatada. *Braz J Develop.* 2020,6(9):65051-66. doi: 10.34117/bjdv6n9-077
41. Farnezi PKB, Oliveira LL, Sardinha LT, França AC, Machado CMM, Macedo LA. Influência de fertilizantes organominerais fosfatados sobre o crescimento e produção de morango (*Fragaria x ananassa Duch.*). *Ciênc Agríc.* 2023;21:e12060. doi: 10.28998/rca.21.12060
42. Boni TS, Azevedo JP, Rodriguez AO, Maltoni KL. *Xylopiia aromatica*: initial growth and nutritional status of seedlings in degraded soil conditioned with residues. *Res Soc Dev.* 2022;11(6):e59211628582. doi: 10.33448/rsd-v11i6.28582
43. Vogeler I, Clothier BE, Green SR. TDR estimation of the concentration of electrolyte in the soil solution. *Aust J Soil Res.* 1997;35(3):515-26. doi: 10.1071/S96089
44. Ebeling AG, Anjos LHC, Perez DV, Pereira MG, Valladares GS. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. *Bragantia.* 2008;67(2):429-39. doi: 10.1590/S0006-87052008000200019