



**NATHAN MOURA CARVALHO**

**EFEITO DA NUTRIÇÃO COM CÁLCIO E  
POTÁSSIO NA SEVERIDADE DA MANCHA  
AUREOLADA (*Pseudomonas syringae* pv. *garcae*)  
DO CAFEIEIRO (*Coffea arabica*)**

**LAVRAS – MG**

**2016**

**NATHAN MOURA CARVALHO**

**EFEITO DA NUTRIÇÃO COM CÁLCIO E POTÁSSIO NA  
SEVERIDADE DA MANCHA AUREOLADA (*Pseudomonas syringae* pv.  
*garcae*) DO CAFEIEIRO (*Coffea arabica*)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitopatologia, área de concentração em Fitopatologia, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Paulo Estevão de Souza

Orientador

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza

Coorientador

**LAVRAS - MG**

**2016**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Carvalho, Nathan Moura.

Efeito da nutrição com cálcio e potássio na severidade da  
mancha aureolada (*Pseudomonas syringae* pv. *garcae*) do cafeeiro  
(*Coffea arabica*) / Nathan Moura Carvalho. – Lavras : UFLA,  
2016.

46 p. : il.

Dissertação(mestrado acadêmico)–Universidade Federal de  
Lavras, 2016.

Orientador: Paulo Estevão de Souza.

Bibliografia.

1. Nutrição Mineral. 2. Epidemiologia. 3. Mancha aureolada. I.  
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

**NATHAN MOURA CARVALHO**

**EFEITO DA NUTRIÇÃO COM CÁLCIO E POTÁSSIO NA  
SEVERIDADE DA MANCHA AUREOLADA**

***(Pseudomonas syringae pv. garcae) DO CAFEEIRO (Coffea arabica)***

***EFFECTS OF NUTRITION WITH CALCIUM AND POTASSIUM OVER  
THE SEVERITY OF THE TARGET SPOT (Pseudomonas syringae pv.  
garcae) OF COFFEE (Coffea arabica)***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitopatologia, área de concentração em Fitopatologia, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 12 de setembro de 2016.

Dr. Deila Magna dos Santos Botelho UFLA

Dr. Regis Pereira Venturin EPAMIG

Prof. Dr. Paulo Estevão de Souza  
Orientador

**LAVRAS – MG**

**2016**

## RESUMO

A Mancha aureolada do cafeeiro causada por *Pseudomonas syringae* pv. *garcae* apresenta grande potencial destrutivo. Nutrientes como o Cálcio (Ca) e o Potássio (K) são frequentemente estudados em diversos patossistemas, por estarem relacionados às barreiras de defesa das plantas. Desse modo, neste estudo, objetivou-se avaliar o efeito de diferentes doses de Ca e de K na incidência e na severidade da mancha aureolada em mudas de cafeeiro cultivadas em solução nutritiva. Os tratamentos consistiram de 5 doses de Ca (0,5; 3; 6; 9 e 12 mmol.L<sup>-1</sup>) combinadas com 5 doses de K (0,5; 3; 7; 12 e 15 mmol.L<sup>-1</sup>) em esquema fatorial. Plantas da cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 foram cultivadas em solução nutritiva de Hoagland, alterando somente as dosagens de Ca e K de acordo com o tratamento. A bactéria foi inoculada por pulverização e ao aparecer os primeiros sintomas, foi avaliada a severidade da doença com auxílio de escala diagramática e posteriormente calculada a área abaixo da curva de progresso da severidade de todas as combinações de Ca e K. Doses de Ca inferior a 3 mmol.L<sup>-1</sup> independente das doses de K e a combinação de doses de Ca e K ambos acima de 8 mmol.L<sup>-1</sup> proporcionaram maior severidade da mancha aureolada. Enquanto as doses de Ca entre 6 e 10 mmol.L<sup>-1</sup> combinadas com doses de K entre 4 e 8 mmol.L<sup>-1</sup> proporcionarem baixa severidade da doença, maior acúmulo de matéria seca e menores teores de Nitrogênio no tecido foliar.

**Palavras-chave:** Cálcio. Potássio. *Pseudomonas syringae* pv. *garcae*. *Coffea arabica*.

## ABSTRACT

The target spot of coffee plants, caused by *Pseudomonas syringae* pv. *garcea*, had great destructive potential. Nutrients such as calcium (Ca) and Potassium (K) are frequently studied in many pathosystems, for being related to the defense barriers of the plant. Thus, the objective of this study was to evaluate the effect of different doses of Ca and K over the incidence and severity of the target spot in coffee seedlings cultivated in nutritive solution. The treatments consisted of five doses of Ca (0.5, 3, 6, 9 and 12 mmol.L<sup>-1</sup>) combined with five doses of K (0.5, 3, 7, 12 and 15 mmol.L<sup>-1</sup>) in a factorial scheme. Plants of the Catuaí Vermelho IAC 99 cultivar were cultivated in Hoagland nutritive solution, altering only the doses of Ca and K, according to the treatment. The bacteria was inoculated by pulverization and, when the first symptoms emerged, we evaluated the severity of the disease with the aid of diagram scale, Posteriorly calculating the area beneath the progression curve of the severity of all combinations of Ca and K. Calcium doses inferior to 3 mmol.L<sup>-1</sup>, regardless of the doses of K and the combinations of the doses of Ca and K, both above 8 mmol.L<sup>-1</sup>, provided greater severity of the target spot. While the doses of Ca between 6 and 10 mmol.L<sup>-1</sup>, combined with doses of K between 4 and 8 mmol.L<sup>-1</sup>, provided low disease severity, higher accumulation of dry matter and lower contents of Nitrogen in the foliar tissue.

**Keywords:** Calcium. Potassium. *Pseudomonas syringae* pv. *garcae*. *Coffea arabica*.

## SUMÁRIO

<b>PRIMEIRA PARTE</b> .....	7
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	7
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	11
2.1 A mancha aureolada do cafeeiro .....	11
2.2 Nutrição mineral de plantas .....	14
2.3 Cálcio .....	16
2.4 Potássio .....	18
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	21
<b>SEGUNDA PARTE – ARTIGO</b> .....	25
<b>ARTIGO 1- EFEITO DA NUTRIÇÃO COM CÁLCIO E POTÁSSIO NA SEVERIDADE DA MANCHA AUREOLADA (<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>garcae</i>) DO CAFEIEIRO</b> .....	25

## PRIMEIRA PARTE

### 1 INTRODUÇÃO

O cultivo do café no Brasil é um grande gerador de emprego e renda para o país, empregando cerca de oito milhões de pessoas de forma direta e indireta (BRASIL, 2016). Além disso, o Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café arábica *Coffea arabica L.* do mundo com uma produção de 43,9 milhões de sacas de 60 Kg (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA, 2016). No entanto, a qualidade e a quantidade do café produzido e conseqüentemente as divisas geradas para o país podem ser afetadas por fatores abióticos como o clima e por fatores bióticos como as pragas e doenças.

Os fatores abióticos como o clima são difíceis de serem controlados, pois a cafeicultura é uma atividade realizada em céu aberto. Além disso, grande parte das lavouras de café estão situadas em regiões mais elevadas e expostas a ventos e temperaturas baixas e são acometidas periodicamente por ventos fortes e chuva de granizo (ZOCCOLI; TAKATSU; UESUGI, 2011), restando ao cafeicultor somente a opção de realizar um bom trato cultural para as lavouras se recuperarem dos danos. Porém, dentre os fatores que causam redução da produção de café, fatores bióticos como os insetos praga e as doenças podem ser controlados e as perdas causadas por estes minimizadas.

Nessas mesmas regiões de altitude e temperatura baixa, as lavouras são intensamente atacadas pela bactéria *Pseudomonas syringae* pv. *garcae* (AMARAL; TEIXEIRA; PINHEIRO, 1956). Essa doença afeta as plantas, desde a fase de mudas em viveiros até cafeeiros em produção, incidindo sobre as folhas, reduzindo a fotossíntese, causando desfolha e diminuindo a produção (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010). Os sintomas da doença são manchas de coloração pardo- escura de formato irregular rodeadas por um halo



amarelado nas folhas de café (ITO et al., 2008; ZOCCOLI; TAKATSU; UESUGI, 2011).

Em decorrência de o fato do parque cafeeiro ser composto por cultivares suscetíveis (ITO et al., 2008) a principal medida de manejo é a pulverizações com fungicidas cúpricos e bactericidas os quais, muitas vezes, não asseguram controle eficaz (ZOCCOLI; TAKATSU; UESUGI, 2011). Dentre as medidas de manejo das doenças, a nutrição mineral também é uma importante estratégia para manutenção das condições fitossanitárias das plantas (TAIZ; ZIGER, 2013). No processo de penetração e colonização, a bactéria necessita vencer as barreiras naturais da planta. A eficácia dessas barreiras está ligada ao estado nutricional da planta, dessa forma, a nutrição contribui na determinação de resistência ou suscetibilidade aos patógenos (HUBER; GRAHAM, 1999).

A alteração da quantidade de um nutriente fornecido para uma planta tende a alterar a quantidade do mesmo em seu interior (MARSCHNER, 2012). Dessa forma, pode se adotar como manejo a dosagem de um nutriente para planta visando ao favorecimento da planta em relação ao patógeno. Estudos em outros patossistemas do cafeeiro como phoma *Phoma tarda* do cafeeiro relacionado com Nitrogênio (N) e Potássio (K) (LIMA et al., 2010) e cercosporiose *Cercospora coffeicola* relacionado com K e cálcio (Ca) (GÁRCIA JÚNIOR et al., 2003) revelaram interações significativas com a doença.

Nutrientes como o Ca e o K são frequentemente estudados em diversos patossistemas por estarem relacionados às barreiras defesa de planta. O Ca desempenha papel fundamental de mensageiro secundário e no reconhecimento de patógenos, na composição da membrana plasmática celular e na composição da lamela média da parede celular (MARSCHNER, 2012). Já o K atua nas células guardas do estômato regulando a abertura e o fechamento estomatal e a deficiência causa atraso na cicatrização de ferimentos em plantas deficientes favorecendo a penetração dos patógenos (MARSCHNER, 2012).

Embora conhecida a relação desses dois nutrientes com as doenças de plantas, estudos prévios da interação com bacteriose são escassos. Desse modo, conduziu-se este estudo, com o objetivo de avaliar a interação de diferentes doses de Ca e K proporcionadora da menor severidade da mancha aureolada em mudas de cafeeiro cultivadas em solução nutritiva *Pseudomonas syringae* pv. *garcae*.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A mancha aureolada do cafeeiro

A mancha aureolada do cafeeiro causada por *Pseudomonas syringae* pv. *garcae* (AMARAL; TEIXEIRA; PINHEIRO, 1956), foi detectada, pela primeira vez, em 1955, em cafezal localizado no município de Garça, Estado de São Paulo, incidindo em folhas, ramos e frutos. Após sua constatação, a doença foi considerada de menor importância econômica (COSTA; SILVA, 1960) e, por aproximadamente 17 anos após seu aparecimento, apenas casos isolados da moléstia foram identificados (MOHAN; PAVAN, 1978). Nos últimos anos, a mancha aureolada tornou-se fator limitante para o cultivo do café em regiões mais frias e expostas ao vento, em lavouras em formação ou recém-podadas e em viveiros, principalmente nas regiões produtoras dos Estados do Paraná, São Paulo e em Minas Gerais, especialmente no Sul de Minas, Triângulo Mineiro, Alto do Parnaíba e Cerrado (MOHAN; PAVAN, 1978; PATRÍCIO et al., 2010; ZOCCOLI; TAKATSU; UESUGI, 2011).

Com relação às doenças bacterianas na cultura do café, quatro espécies estão descritas na cultura: *Xylella fastidiosa*, causadora da atrofia dos ramos do café, *Burkholderia andropogonis*, agente etiológico da mancha escura bacteriana e duas espécies de *Pseudomonas*, que causam sintomas de manchas foliares: *P. syringae* patovares *garcae* e *tabaci* e *P. cichorii*, sendo *P. syringae* pv. *garcae* o agente etiológico da mancha aureolada, uma das principais doenças do cafeeiro (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010).

A bactéria *P. syringae* pv. *garcae* é Gram negativa, com células em forma de bastonetes retos ou levemente curvados, com medidas que variam de 0,5-1,0 x 1,5-4,0 µm, móveis, por meio de um a sete flagelos polares. É pertencente ao filo Proteobacteria, classe Gamma Proteobacteria, ordem Pseudomonadales, família *Pseudomonadaceae*, gênero *Pseudomonas*, espécie *P.*

syringae, patovar garcae. Os isolados produzem pouca quantidade de pigmento fluorescente em meio de cultura King B (KB) (KING; WARD; RANEY, 1954) e, em meios de cultura, como Batata Dextrose Agar (BDA) e Nutriente Agar (NA), produzem pigmento marrom, denominado melanina, como citado por Barta e Willis (2005). A bactéria enquadra-se no grupo I das bactérias fluorescentes [LOPAT + - - - + (L= produção de Levan, O= atividade de oxidase, P= proctopectinase em discos de batata, A= utilização de arginina di-hidrolase, T= hipersensibilidade em folhas de fumo)] (LELLIOTT; BILLING; HAYWAR, 1966). De acordo com Bradbury (1986), as hospedeiras naturais são plantas de diversas espécies do gênero Coffea. São hospedeiras por inoculação artificial: *Citrus sp.*, *Ligustrum lucidum*, *Solanum lycopersicum*, *Olea europea*, *Phaseolus vulgaris*, *Solanum paniculatum* var. *acutilobum*, *Solanum tuberosum* (BRADBURY, 1986) e *Avena sativa* (BARTA; WILLIS, 2005).

A bactéria inicia o processo infeccioso ao alcançar os órgãos vegetais das plantas de café, principalmente as folhas, ao serem carregadas por gotas de respingos de chuva (aerossóis), chuva de granizo ou água de irrigação. Em contato com a planta e juntamente com a presença de água livre, as células bacterianas penetram nas folhas por aberturas naturais e/ou por ferimentos (KIMATI et al., 2005) causados por ocasião dos tratos culturais, pela fricção entre folhas, ou ainda pela própria ação do vento, provocando microfissuras.

No interior do tecido vegetal, dá-se início à colonização dos espaços intra e intercelulares, pois os exsudatos celulares são utilizados como substrato pela bactéria. Nesse processo de infecção da bactéria na planta, ocorre a liberação de toxinas pela bactéria, deixando o tecido afetado com halo amarelo ao redor da lesão. As células bacterianas presentes nas lesões são disseminadas de folha para folha ou para plantas vizinhas, por meio da água, e/ou carregadas pelo vento. Em períodos de menor ocorrência de chuvas, acontece diminuição da incidência da bactéria, pela ausência da água para sua disseminação.

O patógeno sobrevive principalmente na face abaxial das folhas do cafeeiro, como epífita, ou seja, na superfície das folhas sem causar doença, bem como, em restos de cultura presentes no solo, até que o próximo período chuvoso proporcione condições ideais para que as células bacterianas sobreviventes se constituam no inóculo primário para novas infecções (ROBBS 1977; ZOCOLLI; TAKATSU; UESUGI, 2011).

O manejo da mancha aureolada baseia-se em medidas preventivas, as quais visam a combater a entrada da doença nas lavouras e/ou dificultar o avanço da bactéria nas áreas nas quais foi detectada. Porém, os cafeicultores utilizam pulverizações em excesso com bactericidas e produtos cúpricos. Experimentos conduzidos por Guerreiro Filho (2008), com mudas de cafeeiro, em casa de vegetação resultaram na redução da severidade da doença com o uso de cloridrato de casugamicina ou oxiclreto de cobre. Patrício et al. (2010) também avaliaram o efeito de tratamentos químicos para o controle da mancha aureolada em região montanhosa, no município de Caconde, SP. Os autores relataram redução da incidência da doença nas parcelas pulverizadas com casugamicina, entretanto nas parcelas expostas ao vento, a incidência da doença foi maior, independentemente dos produtos utilizados, demonstrando a importância da utilização de medidas de controle cultural, principalmente de quebra-ventos. A utilização de produtos fitossanitários em excesso pode selecionar bactérias resistentes e diminuir a eficiência desse método no controle da bactéria, como demonstrado por Mohan e Pavan (1978).

O controle de doenças bacterianas com a utilização de cultivares resistentes é a medida com melhor custo/benefício ao produtor. Plantas resistentes apresentam menores níveis de infecção, proporcionando diminuição do uso de produtos fitossanitários, reduzindo os custos de produção. Estudos realizados por Ito et al. (2008) em cafeeiros no Estado do Paraná, avaliando a infecção natural de *P. syringae* pv. *garcae* em campo, encontraram resistência

completa ao patógeno na cultivar IPR 102, enquanto as cultivares IPR 103, IPR 104, IPR 108 e IPR 59, têm resistência parcial à doença. Porém essas cultivares são pouco utilizadas nas principais regiões produtoras, sendo as cultivares Mundo Novo e Catuaí as mais utilizadas e consideradas suscetíveis.

O estado nutricional da planta contribui para determinar resistência ou suscetibilidade aos patógenos (HUBER; GRAHAM, 1999). Estudos em outros patossistemas do cafeeiro como phoma *Phoma tarda* do cafeeiro relacionado com Nitrogênio (N) e Potássio (K) (LIMA et al., 2010) e cercosporiose *Cercospora coffeicola* relacionado com K e cálcio (Ca) (GÁRCIA JÚNIOR et al., 2003) revelaram interações significativas da nutrição com a doença. Dessa forma, os nutrientes podem ser utilizados em quantidades que favoreçam a planta e desfavoreçam o patógeno.

## **2.2 Nutrição mineral de plantas**

A nutrição mineral das plantas é importante por manter a produtividade, para tanto, é necessário aplicar anualmente fertilizantes, a fim de repor os nutrientes lixiviados, além dos extraídos na colheita (MARSCHNER, 2012). No entanto, a nutrição mineral também é importante para manutenção das condições fitossanitárias das plantas e no manejo das doenças (TAIZ; ZIGER, 2013). O estado nutricional da planta contribuirá para determinar a resistência ou suscetibilidade aos patógenos, assim como sua virulência (HUBER; GRAHAM, 1999).

Fertilizantes minerais são aplicados para manter a planta nutrida, garantir o vigor vegetativo e a produção e auxiliar na defesa da planta contra as doenças (HUBER, 1978). Embora a resistência da planta à doença seja controlada por fatores genéticos, os processos fisiológicos e bioquímicos os quais garantem a expressão da defesa são dependentes do estado nutricional da

planta (HUBER; ARNY, 1985). Dessa forma, o estado de desnutrição ou desequilíbrio nutricional pode agravar ainda mais a severidade da doença.

Nutrientes minerais, em muitas situações, são a primeira e mais importante linha de defesa contra doenças das plantas e influencia em todas as partes da "pirâmide" doença. A compreensão das interações de determinada doença com cada nutriente específico, os efeitos sobre a planta, patógeno e ambiente pode ser efetivamente utilizado para melhorar o controle da doença, aumentar a eficiência da produção e aumentar a qualidade da cultura (HUBER; HANEKLAUS, 2007).

Os nutrientes conferem diversos níveis de resistência às plantas (HUBER; GRAHAM, 1999). Em condições de nutrição equilibrada, as plantas produzem substâncias fenólicas e flavonoides com propriedades antifúngicas nas células epidérmicas, aumentam a taxa de difusão e alteram a composição dos exsudatos citoplasmáticos para o exterior, além de formar barreiras físicas para impedir a penetração dos patógenos (MARSCHNER, 2012). Em condições de desequilíbrio nutricional, há formação de células epidérmicas e cutículas mais finas, parede celular com menor espessura, suberização e lignificação, acúmulo de compostos orgânicos de baixo peso molecular (glicose, sacarose e aminoácidos) resultado da maior atividade de enzimas decompositoras como amilase, celulase, protease e sacarase, comum na deficiência, por exemplo, do nutriente potássio (PERRENOUD, 1977; MARSCHNER, 2012). Assim, a carência dos nutrientes necessários para sintetizar compostos químicos e barreiras físicas ao redor do ponto de infecção pode resultar em suscetibilidade do hospedeiro aos patógenos (MARSCHNER, 2012).

As relações entre a nutrição da planta e as doenças foram estudadas em diferentes culturas, sendo encontrados efeitos do nitrogênio, fósforo, potássio e de alguns micronutrientes (HUBER; GRAHAM, 1999). Essas relações foram observadas tanto em doenças causadas por organismos do solo quanto em



doenças da parte aérea, demonstrando-se o efeito dos nutrientes nas funções metabólicas das plantas, estando envolvidos em quase todos os mecanismos de defesa. Eles causam alterações nas propriedades fisiológicas e bioquímicas, resultando na produção de substâncias repelentes ou inibidoras como as fitoalexinas, que também conferem resistências às plantas (MARSCHNER, 2012).

Dessa forma, a nutrição mineral é um fator ambiental que pode ser manipulado com certa facilidade para o controle das doenças, entretanto, torna-se necessário o conhecimento do efeito destes na sua intensidade, em razão das alterações nas propriedades histológicas e citológicas na planta e conseqüentemente ao processo de patogênese (MARSCHNER, 2012; POZZA; POZZA, 2012).

O efeito do estado nutricional da planta hospedeira na disseminação e multiplicação dos patógenos, é similar ao de fungos parasitas facultativos; por exemplo, a multiplicação e a severidade da doença são reforçados quando o conteúdo de Ca e K estão deficientes (KIRALY; WHEBY, 1976).

### **2.3 Cálcio**

O Ca é o segundo nutriente mineral mais exigido pelas plantas (MARSCHNER, 2012). A concentração de Ca nos tecidos de plantas afeta a incidência de doenças por três mecanismos. Em primeiro lugar, o Ca desempenha papel fundamental no reconhecimento de invasores patogênicos na membrana plasmática. Poucos segundos após a infecção pelo patógeno, há mudança no potencial da membrana e ocorre aumento na concentração de Ca no citoplasma, atuando dessa forma, como mensageiro secundário.

Em segundo lugar, o Ca é essencial para a estabilidade das biomembranas; sendo assim, a deficiência de Ca aumenta o efluxo de compostos de baixo peso molecular (ex., açúcares) a partir do citoplasma para o apoplasto.

Em terceiro lugar, – poligalacturonases de Ca são necessárias na lamela média para a estabilidade da parede celular. Muitos fungos e bactérias fitopatogênicos invadem o tecido da planta pela produção de enzimas pectinolíticas, como as poligalacturonases, as quais dissolvem a lamela média da parede celular das plantas. A atividade dessa enzima é drasticamente reduzida pela presença de Ca (BATEMAN; LUMSDEN, 1965). Portanto, a susceptibilidade das plantas às infecções por patógenos dependentes dessas enzimas, durante o processo de infecção, decresce com o aumento da concentração de Ca nos tecidos.

Altas concentrações de Ca nos tecidos são correlacionadas com a resistência das plantas a doenças causadas por podridão mole bacteriana (*Erwinia*), *Sclerotium rolfii*, *Pythium myriotylum*, *Rhizoctonia solani*, *Cylindrocladium crotalariae*, *Sclerotinia minor*, e *Fusarium solani*. Isso ocorre, em razão do aumento da integridade estrutural e resistência da lamela média, componentes da parede celular e das membranas celulares para as enzimas extracelulares produzidas para infecção desses patógenos (KELMAN; MOCGUIRE; TZEMG, 1989).

O cálcio pode afetar a resistência das plantas a doenças bacterianas estabilizando a lamela média, além do seu envolvimento nas respostas de hipersensibilidade a infecções bacterianas. Em tabaco, as reações de hipersensibilidade induzida por *Pseudomonas syringae* requerem forte influxo de Ca do apoplasto para o citoplasma, por meio de canais de Ca na membrana plasmática. Isso leva ao aumento da relação de troca entre  $K^+$  e  $H^+$ , e ocorre a acidificação do citoplasma e conseqüentemente a morte das células hospedeiras no local da infecção (ATKINSON et al., 1990). As plantas de tomate com o maior nível de infecção por *Fusarium oxysporum*, foram as com concentração de Ca na seiva do xilema abaixo de  $25 \text{ mmol L}^{-1}$  (CORDEN; CAMBERS, 1965). Do mesmo modo, esta e outras doenças causadas pela murcha de *Fusarium*

podem ser efetivamente controladas por aplicação de Ca como cal ou carbonato de Ca (DATNOFF; ELMER; HUBER, 2007).

#### **2.4 Potássio**

O Potássio (K) é o segundo nutriente mineral mais exigido pelas plantas (MARSCHNER, 2012). Dentre os macronutrientes citados na literatura científica, o potássio é considerado um dos nutrientes de maior efeito benéfico para a sanidade da maioria das espécies vegetais (PERRENOUD, 1977; PINHEIRO et al., 2011). O nutriente apresenta consistentes resultados positivos na redução da incidência de pragas e doenças em muitas espécies de plantas. Em quantidades equilibradas aumenta a espessura da parede celular em células da epiderme, promove rigidez da estrutura dos tecidos e regula o funcionamento dos estômatos, além de contribuir para a recuperação de tecidos que sofreram injúrias (HUBER; ARNY, 1985; MARSCHNER, 2012). No caso dos patógenos biotróficos como as ferrugens, pode ajudar a recuperar os tecidos colonizados, após o término da infecção, por aplicações de fungicidas curativos ou por ação de fatores ambientais desfavoráveis ao patógeno (PINHEIRO et al., 2011).

A deficiência de potássio promove o acúmulo de aminoácidos solúveis, nutrientes de patógenos. O teor de glutamina, por exemplo, é alto nas plantas deficientes em potássio e favorecem a germinação de alguns esporos como foi observado para brusone do arroz (GRAHAM, 1983). Além disso, em plantas deficientes há retardo de cicatrizações de ferimentos e acúmulo de açúcares solúveis, facilitando a penetração e colonização dos patógenos (YAMADA, 1995).

A deficiência de potássio aumenta a susceptibilidade das plantas hospedeiras tanto a parasitas facultativos quanto obrigatórios. Aumentando-se a oferta de K houve redução na incidência de podridão do caule em arroz e também maior crescimento da parte aérea, indicando que o alto suprimento com

K aumenta a resistência ou tolerância das plantas a essa doença. (HUBER; ARNY, 1985).



## REFERÊNCIAS

- AMARAL, J. F.; TEIXEIRA, C. G.; PINHEIRO, E. D. O bactério causador da mancha aureolada do cafeeiro. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 23, p. 151-155, 1956.
- ATKINSON, M. M. et al. Involvement of plasma membrane calcium influx in bacterial induction of the  $K^+/H^+$  and hypersensitive responses in tobacco. **Plant Physiology**, Washington, v. 92, n. 1, p. 215-221, Jan. 1990.
- BARTA, T. M.; WILLIS, D. K. Biological and molecular evidence that *Pseudomonas syringae* pathovars coronafaciens, striafaciens and garcae are likely the same pathovar. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 153, n. 7/8, p. 492-499, Aug. 2005.
- BATEMAN, D. F.; LUMSDEN, R. D. Relation of calcium content and nature of the pectic substances in bean hypocotyls of different ages to susceptibility to an isolate of *Rhizoctonia solani*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 55, p. 734-738, 1965.
- BRADBURY, J. F. **Guide to plant pathogenic bacteria**. Farhan House: CABI, 1986. 332 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Café**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cafe/saiba-mais>> Acesso em: 20 jul. 2016.
- CORDEN, M. E.; CHAMBERS, H. L. Vascular dysfunction in *Fusarium* wilt of tomato. **American Journal of Botany**, Lancaster, v. 53, n. 3, p. 284-287, Mar. 1966.
- COSTA, A. S.; SILVA, D. M. A mancha aureolada do cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 19, p. 62-68, 1960.
- DATNOFF, L. E.; ELMER, W.; HUBER, D. M. (Ed.). **Mineral nutrition and plant disease**. Saint Paul: APS Press, 2007. 278 p.
- GÁRCIA JÚNIOR, D. G. et al. Incidência e severidade da cercosporiose do cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 3, p. 286-291, jun. 2003.

GRAHAM, R. D. Effects of nutrient stress on susceptibility of plants to disease with particular reference to the trace elements. **Advances in Botanical Research**, New York, v. 10, p. 221-276, 1983.

GUERREIRO FILHO, O. **Mancha aureolada do cafeeiro causada por Pseudomonas syringae PV. garcae**. Campinas: IAC, 2008. 24 p. (Série tecnologia APTA. Boletim Técnico, 212).

HUBER, D. M.; ARNY, D. C. Interactions of potassium with plant disease. In: MUNSON, R. D. (Ed.). **Potassium in agriculture**. Madison: ASA/CSSA/SSA, 1985. chap. 20, p. 467-488.

HUBER, D. M. Disturbed mineral nutrition. In: HORSFALL, J. G.; COWLING, E. B. (Ed.). **Plant disease: an advanced treatise: how plants suffer from disease**. New York: Academic Press, 1978. v. 3, chap. 7, p. 163-181.

HUBER, D. M.; GRAHAM, R. D. The role of nutrition in crop resistance and tolerance to diseases. In: RENGEL, Z. (Ed.). **Mineral nutrition of crops: fundamental mechanisms and implications**. New York: Food Products Press, 1999. chap. 7, p. 169-206.

HUBER, D. M.; HANEKLAUS, S. Managing nutrition to control plant disease. **Landbauforschung Volkenrode**, Berlin, v. 57, n. 4, p. 313-322, 2007.

ITO, D. S. et al. Resistanceto bacterial blight in arabica coffee cultivars. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 8, n. 2, p. 99-103, June 2008.

KELMAN, A.; MCGUIRE, R. G.; TZENG, K-C. Reducing the severity of bacterial soft rot by increasing the concentration of calcium in potato tubers. In: ENGELHARD, A. W. (Ed.). **Soilborne plant pathogens: management of diseases with macro- and microelements**. Saint Paul: APS Press, 1989. p. 102-123.

KIMATI, H. et al. (Ed.). **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. 663 p.

KING, E. O.; WARD, M. K.; RANEY, D. E. Two simple media for the demonstration of pyocyanin and fluorescein. **Journal of Laboratory and Clinical Medicine**, Saint Louis, v. 44, n. 2, p. 301-307, Aug. 1954.

KIRALY, J. F.; WHEBY, M. S. Bone marrow necrosis. **The American Journal of Medicine**, New York, v. 60, n. 3, p. 361-368, Mar. 1976.

LELLIOT, R. A.; BILLING, E.; HAYWARD, A. C. A determinative scheme for the fluorescent plant pathogenic Pseudomonads. **Journal of Applied Bacteriology**, Oxford, v. 29, n. 3, p. 470-589, Dec. 1966.

LIMA, L. M. D. et al. Relationship between nitrogen/potassium with Phoma spot and nutrition of coffee seedlings cultivated in nutrient solution. **Tropical Plant Pathology**, Brasilia, v. 35, n. 4, p. 223-228, July/Aug. 2010.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. New York: Academic Press, 2012. 651 p.

MOHAN, S. K.; PAVAN, M. A. Resistência em cultivares e espécies de Coffea à Pseudomonas garcae Amaral et al. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 13, n. 1, p. 91-94, jan. 1978.

PATRÍCIO, F. R. A. et al. Controle químico da mancha aureolada em uma região montanhosa. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 35, p. 119, 2010. Suplemento.

PERRENOUD, S. **Potassium and plant health**. Bern: International Potash Institute, 1977. 201 p.

PINHEIRO, J. B. et al. Severidade da ferrugem de soja em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 58, n. 1, p. 43-50, jan./fev. 2011.

POZZA, E. A.; CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M. Sintomas de injurias causadas por doenças do cafeeiro. In: GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; BALIZA, D. P. (Ed.). **Semiologia do cafeeiro**. Lavras: Editora da UFLA, 2010. p. 67-106.

POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A. Relação entre nutrição e as doenças de plantas: implicações práticas. In: SIMPÓSIO AVANÇOS NA OTIMIZAÇÃO DO USO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS NO MANEJO FITOSSANITÁRIO, 12., 2012, Lavras. **Anais....** Lavras: Editora da UFLA, 2012. p. 259-281.



ROBBS, C. F. Sobrevivência de *Pseudomonas garcae* como epífita de folhas de cafeeiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 5., 1977, Guarapari. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA/UFRRJ, 1977. p. 152-153.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Foreign Agricultural Service. **Coffee**: world markets and trade. Washington, 2016. Disponível em: <<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/coffee.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2016.

YAMADA, T. A nutrição mineral e a resistência de plantas a doenças. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 72, p. 1-4, dez. 1995.

ZOCCOLI, D. M.; TAKATSU, A.; UESUGI, C. H. Ocorrência de mancha aureolada em cafeeiros na região do triângulo mineiro e alto Paranaíba. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 843-849, 2011.

**SEGUNDA PARTE – ARTIGO**

**ARTIGO 1 - EFEITO DA NUTRIÇÃO COM CÁLCIO E POTÁSSIO  
NA SEVERIDADE DA MANCHA AUREOLADA  
(*Pseudomonas syringae* pv. *garcae*) DO CAFEIEIRO**

Artigo submetido para publicação em periódico  
(*Coffea arabica*)

**Artigo a ser submetido para o periódico Ceres Preparado em  
concordância com as normas do periódico**

Natan Moura Carvalho<sup>1\*</sup>, Edson Ampélio Pozza<sup>1</sup>, Humberson  
Rocha da Silva<sup>1</sup>, Marcelo Loran de Oliveira Freitas<sup>1</sup>, Paulo Victor  
Augusto Azevedo de Paula<sup>1</sup>, Paulo Estevão de Souza<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Departamento de Fitopatologia, Universidade Federal de Lavras, Lavras,  
MG, Brazil..

\*Autor correspondente: Natan Moura Carvalho, <sup>1</sup>Departamento de  
Fitopatologia, Laboratório de epidemiologia e manejo de doença de  
plantas. Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil.  
Email: natanmoura@yahoo.com

## RESUMO

A mancha aureolada do cafeeiro causada por *Pseudomonas syringae* pv. *garcae* apresenta grande potencial destrutivo. Nutrientes como o Cálcio (Ca) e o Potássio (K) são frequentemente estudados em diversos patossistemas por estarem relacionados as barreiras defesa de planta. Desse modo o objetivo desse estudo foi avaliar o efeito de diferentes doses de Ca e de K na incidência e na severidade da mancha aureolada em mudas de cafeeiro cultivadas em solução nutritiva. Os tratamentos consistiram de 5 doses de Ca (0,5; 3; 6; 9 e 12 mmol.L<sup>-1</sup>) combinadas com 5 doses de K (0,5; 3; 7; 12 e 15 mmol.L<sup>-1</sup>) em esquema fatorial. Plantas da cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 foram cultivadas em solução nutritiva de Hoagland alterando somente as dosagens de Ca e K de acordo com o tratamento. A bactéria foi inoculada por pulverização e ao aparecer os primeiros sintomas foi avaliado a severidade da doença com auxílio de escala diagramática e posteriormente calculado a área abaixo da curva de progresso da severidade de todas combinações de Ca e K. Doses de Ca inferior a 3 mmol.L<sup>-1</sup> independente das doses de K e a combinação de doses de Ca e K ambos acima de 8 mmol.L<sup>-1</sup> proporcionaram maior severidade da mancha aureolada. Enquanto as doses de Ca entre 6 e 10 mmol.L<sup>-1</sup> combinadas com doses de K entre 4 e 8 mmol.L<sup>-1</sup> proporcionarem baixa severidade da doença, maior acumulo de matéria seca e menores teores de Nitrogênio no tecido foliar.

**Palavras-chaves:** cálcio, potássio, *Pseudomonas syringae* pv. *garcae*, *Coffea arábica*.

## INTRODUÇÃO

O cultivo do café no Brasil é um grande gerador de emprego e renda para o país (MAPA, 2016). Atualmente o Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café *Coffea arabica L.* do mundo (USDA, 2016). No entanto, a qualidade e a quantidade do café produzido é afetado por fatores abióticos como o clima e por fatores bióticos como as pragas e doenças.

Dentre as doenças a bacteriose mancha aureolada do cafeeiro causada por *Pseudomonas syringae* pv. *garcae* (AMARAL et al., 1956) é uma das principais doenças do cafeeiro, afetando as plantas desde a fase de mudas em viveiros até cafeeiros em produção incidindo sobre as folhas reduzindo a fotossíntese, causando desfolha e diminuindo a produção (POZZA et al., 2010). A identificação da doença é realizada observando a presença de manchas de coloração pardo escura de formato irregular rodeada por um halo amarelado nas folhas de café (ITO et al., 2008; ZOCCOLI et al., 2011). As lavouras situadas em regiões mais elevadas, expostas a ventos e a temperaturas mais baixas são severamente afetadas pela bacteriose. Como medida principal de manejo é utilizada pulverizações com fungicidas cúpricos e bactericidas os quais não asseguram controle eficaz (ZOCCOLI et al., 2011).

Dentre as medidas de manejo das doenças a nutrição mineral também é uma importante estratégia para manutenção das condições fitossanitárias das plantas (TAIZ e ZIGER, 2013). No processo de penetração e colonização a bactéria necessita vencer as barreiras naturais da planta. A eficácia dessas barreiras está ligada ao estado nutricional da

planta, dessa forma a nutrição contribui na determinação de resistência ou suscetibilidade aos patógenos (HUBER & GRAHAM, 1999).

A alteração da quantidade de um nutriente fornecido para uma planta tende a alterar a quantidade do mesmo em seu interior (MARSCHNER, 2012). Dessa forma pode se adotar como manejo a dosagem de um nutriente para planta visando o favorecimento da planta em relação ao patógeno. Estudos em outros patossistemas do cafeeiro como phoma *Phoma tarda* do cafeeiro relacionado com Nitrogênio (N) e Potássio (K) (LIMA et al., 2010) e cercosporiose *Cercospora coffeicola* relacionado com K e cálcio (Ca) (JUNIOR et al., 2003) revelaram interações significativas com a doença.

Nutrientes como o Ca e o K são frequentemente estudados em diversos patossistemas por estarem relacionados as barreiras defesa de planta. O Ca desempenha papel fundamental de mensageiro secundário e no reconhecimento de patógenos, na composição da membrana plasmática celular e na composição da lamela média da parede celular (MARSCHNER, 2012). Já o K atua nas células guardas do estômato regulando a abertura e o fechamento estomatal e a deficiência causa atraso na cicatrização de ferimentos em plantas deficientes favorecendo a penetração dos patógenos (MARSCHNER, 2012).

Embora conhecida a relação desses dois nutrientes com as doenças de plantas estudos prévios da interação com bacteriose são escassos. Desse modo o objetivo desse estudo foi avaliar a interação de diferentes doses de Ca e K proporcionadora da menor severidade da mancha aureolada em mudas de cafeeiro cultivadas em solução nutritiva *Pseudomonas siringae* pv. *garcae*.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi repetido por duas vezes para validar os resultados. O delineamento experimental, de cada experimento, foi em blocos casualizados, com 25 tratamentos e 3 repetições, com 3 plantas por unidade experimental cultivadas em solução nutritiva. Os tratamentos consistiram de 5 doses de Ca (0,5; 3; 6; 9 e 12 mmol.L<sup>-1</sup>) combinadas com 5 doses de K (0,5; 3; 7; 12 e 15 mmol.L<sup>-1</sup>) em esquema fatorial. Os experimentos foram conduzidos em câmara de crescimento a 23°C e fotoperíodo de 12 horas mantidos com lâmpadas fluorescentes de 2000 Watts.

Sementes da cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 foram lavadas, desinfestadas com álcool 50% por 50 segundos e em hipoclorito de sódio 1% por 1 minuto e enxaguadas em água destilada esterilizada. Após esses procedimentos, as sementes foram semeadas em bandejas de plástico, contendo areia lavada e esterilizada para germinarem permanecendo nesse local até a emissão da folha cotiledonar.

A solução referência utilizada para preparar a solução nutritiva de cada tratamento foi baseada na solução de Hoagland (HOAGLAND & ARNON, 1950) alterando somente as dosagens de Ca e K de acordo com o tratamento. Foram utilizadas como fontes de macronutrientes NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>; Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O; KNO<sub>3</sub>; KCl; NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>; MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O e CaCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O. A fonte de micronutriente utilizada foi 1ml.L<sup>-1</sup> da solução estoque composta por: H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> (2,8 mg.L<sup>-1</sup>); ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (0,22 mg/ L<sup>-1</sup>); MnSO<sub>4</sub>.4H<sub>2</sub>O (3 mg/ L<sup>-1</sup>); CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O (0,08 mg/ L<sup>-1</sup>); H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O (0,02 mg/ L<sup>-1</sup>) e 1 mmol.L<sup>-1</sup> de Solução Fe-EDTA. O pH da solução foi

monitorado semanalmente, mantido entre 5,0 e 5,5, com a adição de HCl 0,1 mmol.L<sup>-1</sup> ou NaOH 0,1 mmol.L<sup>-1</sup>. Quando necessário, o volume dos vasos foi completado com água destilada.

Após emissão da folha cotiledonar e com os primórdios do primeiro par de folha verdadeiro, as mudas foram transferidas para vasos de 4 litros contendo a solução de cada tratamento, a 50% da força iônica, sob aeração contínua, realizada por um conjunto compressor, kitasato e mangueiras. Após quinze dias as mudas permaneceram foram transferidas para as devidas unidades experimentais com solução a 100%, permanecendo por mais quinze dias.

O inóculo foi obtido por meio do semeio do isolado *P. syringae* pv. *garcae* souche pathotype (CFPB1634) (PSG) em meio 523 de Kado & Heskett (1970) a 28°C. Após 48 horas, foi preparada suspensão das células bacterianas utilizando-se solução salina (NaCl a 0,85%) estéril, com concentração de  $1,1 \times 10^9$  UFC.mL<sup>-1</sup> determinada em espectrofotômetro a 600 nm (OD600, absorvância 0,2). Todas as folhas das mudas foram inoculadas por meio da aspersão da suspensão bacteriana com pulverizador manual Strong® com bico cônico vazio até o ponto de escorrimento.

Após aparecimento dos primeiros sintomas foram realizadas sete avaliações da severidade da doença, com intervalos de dois em dois dias entre avaliações. Foram avaliadas os dois primeiros pares de folhas das mudas atribuindo-se notas de severidade com auxílio da escala diagramática proposta por Belan et al. (2014). Os índices médios da severidade observados foram utilizados para calcular a área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) da doença conforme

metodologia proposta por Shaner and Finney (1977) para cada combinação de dose de Ca e K.

Após o término das avaliações as plantas foram lavadas em água destilada, acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa, a 60°C, até atingirem peso constante. Foram pesadas parte aérea e encaminhadas ao Laboratório de análises do Departamento de Química da UFLA, para determinar os teores de macro e micronutrientes seguindo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

As trocas gasosas foram avaliadas ao 16 dia da instalação do experimento. Nesta ocasião foram determinadas a fotossíntese medido com analisador de gás no infravermelho (IRGA) LCpro + (Analytical Development, Kings Lynn, UK) com fonte de luz constante de 1.200 emol de fótons  $m^{-2}.s^{-1}$ .

Os dados de AACPS, matéria seca foliar e teor de macro e micronutrientes foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro Wilk), homoscedasticidade (Bartlett) e independência dos resíduos (Durbin Watson) para verificar se atendiam os pressupostos da análise de variância. Quando não atendidos os pressupostos os dados foram transformados por  $\ln(x)$ . A análise de variância foi realizada em esquema fatorial com auxílio o software "R" (versão 3.1.3) verificando a significância das interações no teste F ( $p < 0,05$ ). Quando a interação entre os fatores foi significativa no teste F, foram plotadas superfícies de resposta utilizando-se o software Sigma plot (versão 12.0).



## RESULTADOS

Houve interação significativa entre as concentrações de Ca e as concentrações de K para os dados de AACPS ( $P \leq 0,05$ ). Concentrações de Ca inferior a  $3 \text{ mmol.L}^{-1}$  independentes das doses de K e a combinação de doses de Ca e K ambas acima de  $8 \text{ mmol.L}^{-1}$  proporcionaram maiores AACPS's. A maior média de AACPS, em torno de 20, foi observada para a menor concentração de Ca combinada com a menor concentração de K avaliada (FIGURA 1a e FIGURA 1b).

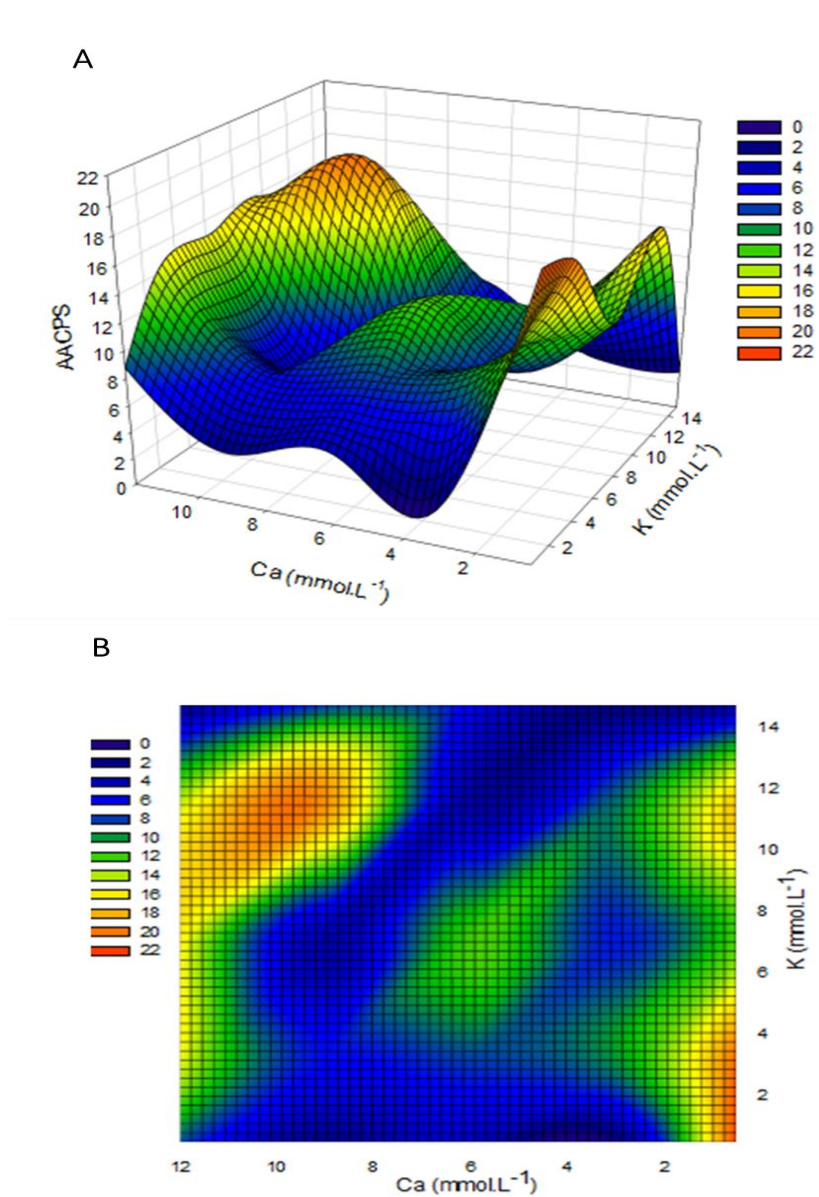


Figura 1 - A) Área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) da Mancha aureolada em mudas de café em função das concentrações de cálcio (Ca) (0,5, 3, 6, 9 e 12 mmol.L<sup>-1</sup>) e potássio (K) (0,5, 3, 7, 12 e 15 mmol.L<sup>-1</sup>) em solução nutritiva. B) Gráfico de contornos.

Houve interação significativa entre as concentrações de Ca e as concentrações de K para a massa seca da parte aérea ( $P < 0,05$ ). Os maiores valores de massa seca da parte aérea, em torno de  $0,9 \text{ g.parcela}^{-1}$ , foram observados para as concentrações de Ca entre 8 e  $12 \text{ mmol.L}^{-1}$  combinadas com as concentrações de K entre 8 e  $12 \text{ mmol.L}^{-1}$  em solução nutritiva (FIGURA 2a e FIGURA 2b).

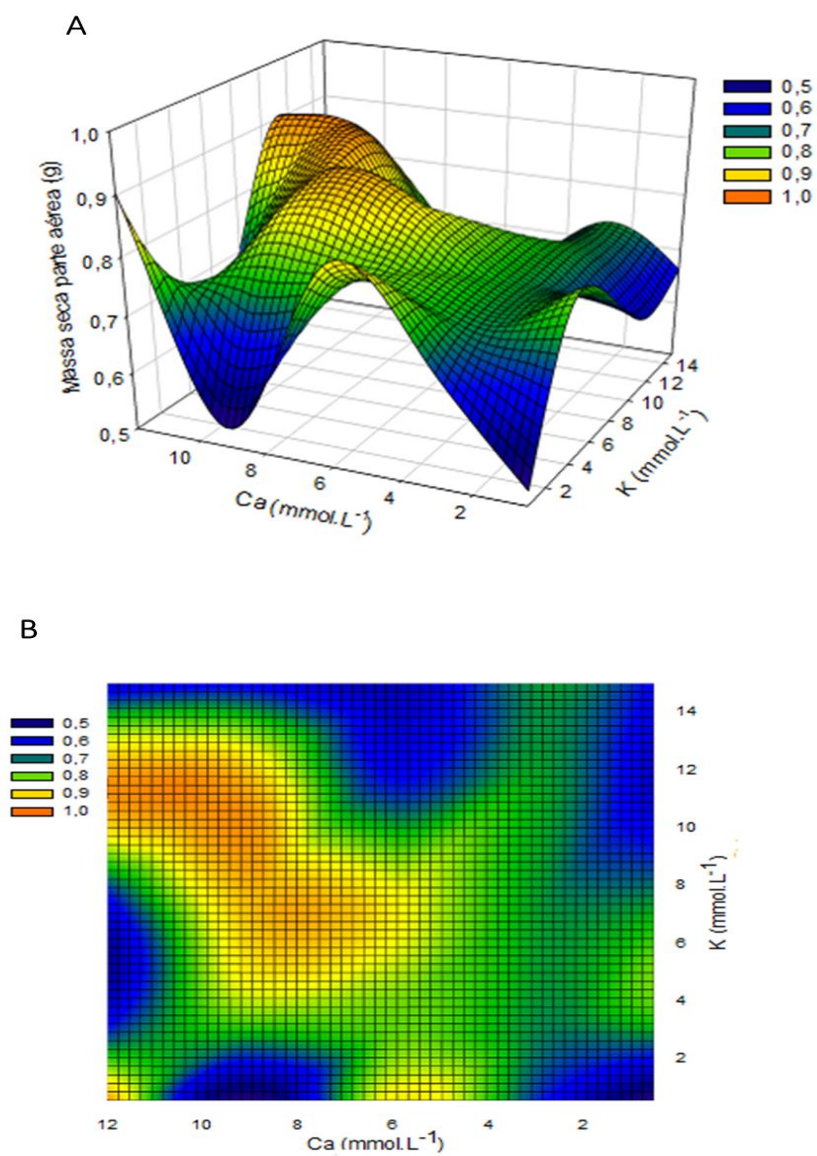


Figura 2 - A) Massa seca da parte aérea (g.parcela<sup>-1</sup>) de mudas de cafeeiro em função das concentrações de cálcio (Ca) (0,5, 3, 6, 9 e 12 mmol.L<sup>-1</sup>) e potássio (K) (0,5, 3, 7, 12 e 15 mmol.L<sup>-1</sup>) em solução nutritiva. B) Gráfico de contornos.

Houve interação significativa entre as concentrações de Ca e as concentrações de K nos teores de N na parte aérea das mudas ( $P < 0,05$ ). Os maiores teores de N na parte aérea foram observados para as concentrações de Ca entre 0,5 e 4,0  $\text{mmol.L}^{-1}$  e de K entre 2 e 12  $\text{mmol.L}^{-1}$ . Em contrapartida, com o aumento das concentrações de Ca e K em solução nutritiva, houve redução nos teores de N (FIGURA 3a. e FIGURA 3b.).

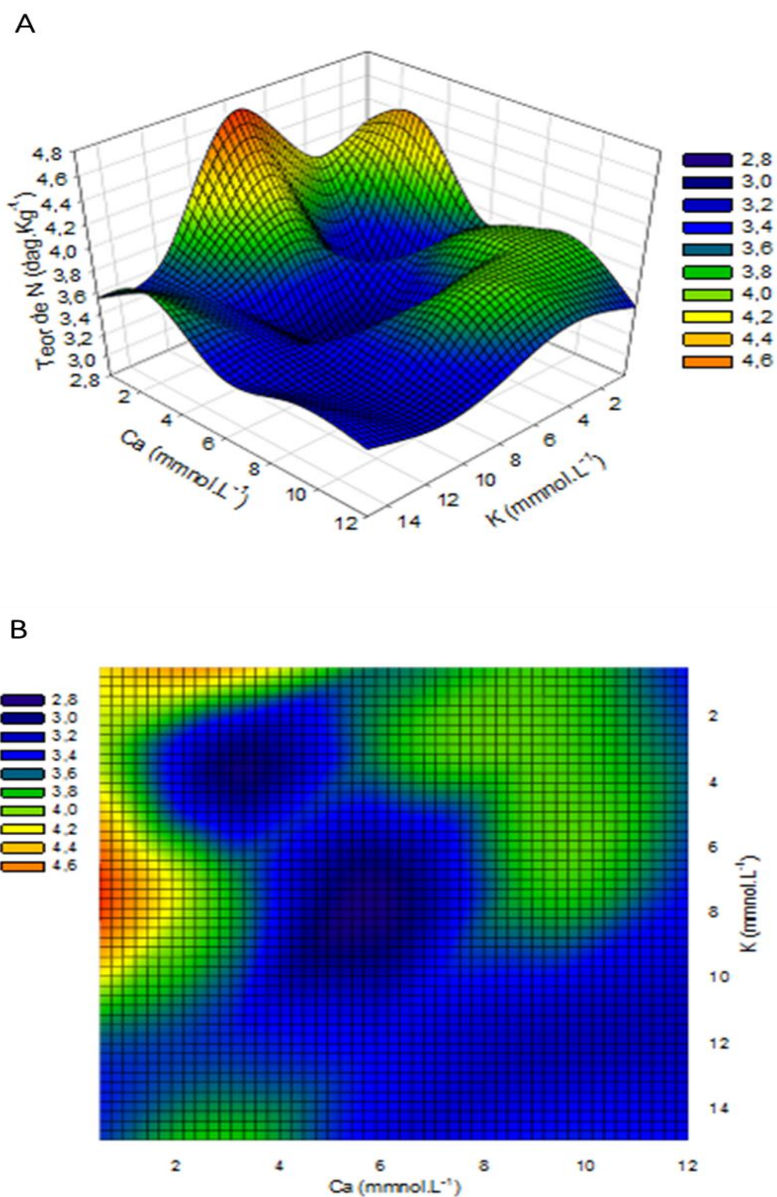


Figura 3 - A) Teores de nitrogênio (N) na parte aérea de mudas de cafeeiro em função das concentrações de cálcio (Ca) (0,5, 3, 6, 9 e 12 mmol.L<sup>-1</sup>) e potássio (K) (0,5, 3, 7, 12 e 15 mmol.L<sup>-1</sup>) em solução nutritiva. B) Gráfico de contornos.

De modo geral a combinação das doses de Ca e K ambas entre 8 e 12 mmol.L<sup>-1</sup> proporcionaram a maior severidade da doença, o maior acúmulo de matéria seca e os menores níveis de N. Enquanto doses de Ca entre 6 e 10 mmol.L<sup>-1</sup> combinadas com doses de K entre 4 e 8 mmol.L<sup>-1</sup> proporcionaram a menor severidade da doença, o maior acúmulo de matéria seca e níveis de N considerados adequados.

Não houve interação significativa entre as concentrações de Ca e as concentrações de K nos teores de K na parte aérea das mudas. Entretanto, as concentrações de Ca, bem como as concentrações de K, influenciaram, independentemente, os teores de K na parte aérea das mudas ( $P < 0,05$ ). Houve aumento linear nos teores de K na parte aérea com o aumento das concentrações de Ca em solução nutritiva, sendo a maior média igual a 2,43 dag.Kg<sup>-1</sup> de K para a concentração de 12 mmol.L<sup>-1</sup> de Ca (FIGURA 4a).

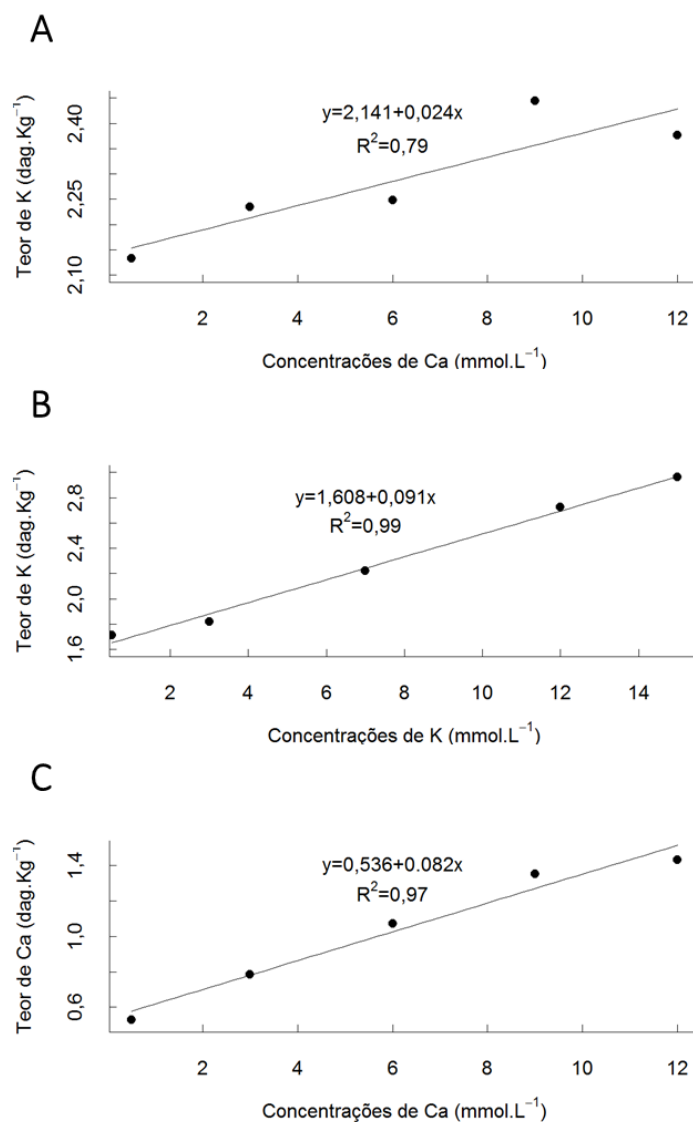


Figura 4 - A) Teores de potássio (K) na parte aérea de mudas de cafeeiro em função das concentrações de cálcio (Ca) (0,5, 3, 6, 9 e 12 mmol.L<sup>-1</sup>) em solução nutritiva. B) Teores de K na parte aérea de mudas de cafeeiro em função das concentrações de K (0,5, 3, 7, 12 e 15 mmol.L<sup>-1</sup>) em solução nutritiva. C) Teores de Ca na parte aérea de mudas de cafeeiro em função das concentrações de Ca (0,5, 3, 6, 9 e 12 mmol.L<sup>-1</sup>) em solução nutritiva.



Como esperado, houve aumento, de forma linear, nos teores de K na parte aérea com o aumento das concentrações desse nutriente em solução nutritiva. Cada mmol de K por litro de solução nutritiva proporcionou aumento de  $0,091 \text{ dag.Kg}^{-1}$  de K na parte aérea das mudas, com o maior teor,  $2,97 \text{ dag.Kg}^{-1}$ , observado para a concentração de K de  $15 \text{ mmol.L}^{-1}$  (FIGURA 4b).

Não houve interação significativa entre as concentrações de Ca e as concentrações de K para os teores de Ca na parte aérea. Entretanto, houve efeito isolado das concentrações de Ca em solução nutritiva sobre os teores de Ca na parte aérea das mudas ( $P < 0,01$ ). Ajustou-se o modelo de regressão linear simples, com aumento de  $0,082 \text{ dag.Kg}^{-1}$  de Ca na parte aérea das mudas a cada mmol de Ca por litro de solução nutritiva (FIGURA 4c). A maior média de Ca na parte aérea,  $1,52 \text{ dag.Kg}^{-1}$ , foi observada para a concentração de  $12 \text{ mmol.L}^{-1}$  de Ca.

Não houve efeito das concentrações de Ca e K em solução nutritiva sobre a taxa fotossintética, sendo a média geral para essa variável igual a  $2,75 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ .

## DISCUSSÃO

Concentrações de Ca abaixo de  $3 \text{ mmol.L}^{-1}$  independente das doses de K proporcionaram maior severidade da mancha aureolada sendo o Ca constituinte de estruturas ou reações químicas atribuídas a defesa da planta. A rigidez da parede celular vegetal depende dos pectatos de Ca os quais necessitam de Ca para serem formados (CAFFALL & MOHNEN, 2009). Desse modo a baixa disponibilidade de Ca resulta em menor

rigidez da parede celular e menor resistência a colonização. Outra função do Ca é conferir estabilidade na membrana plasmática celular (CLAPHAM, 2007) e atuar como mensageiro secundário importante na transdução de sinais para resposta de defesa das plantas contra patógenos (LECOURIEUX et al., 2006).

Doses de K superior a  $9 \text{ mmol.L}^{-1}$  combinadas com dose de Ca superior a  $8 \text{ mmol.L}^{-1}$  proporcionaram os maiores níveis de AACPS. Essas quantias estão acima do nível para cultivo do cafeeiro em solução nutritiva (HOAGLAND & ARNON, 1950). Essas quantias em excesso podem ter inibido a absorção de outros cátions provocando o desequilíbrio nutricional (MARSCHNER, 2012). Em estudos com outros patossistemas do cafeeiro foi observado o desequilíbrio nutricional propiciando maior severidade das doenças (JUNIOR et al, 2003, POZZA et al., 2001, LIMA et al., 2010).

A interação de Ca e K ambos nas doses entre 8 a  $12 \text{ mmol.L}^{-1}$  proporcionaram maior acúmulo da matéria seca. Possivelmente essas quantidades aceleraram o metabolismo e acúmulo de matéria seca devido o Ca ser componente de parede celular e o K ser ativador enzimático (MARSCHNER, 2012).

Com o aumento da matéria seca a quantidade de N decresceu no tecido foliar. Esse fato pode ser devido ao aumento de Ca e K na matéria seca diminuindo em proporção a quantia de N na folha. O nível de N foliar normal para café é de 2,5 a  $3,5 \text{ dag.Kg}^{-1}$  (GUIMARÃES et al., 1999). As doses de K inferior a  $3 \text{ mmol.L}^{-1}$  proporcionaram níveis de N acima de  $4 \text{ dag.Kg}^{-1}$  consideradas em excesso. Essas doses extremas

podem ser devido a falta de Ca estruturando a membrana plasmática e seletividade da membrana (CLAPHAM, 2007).

Por estarem dentro da faixa de atendimento das exigências da cultura as doses de Ca entre 6 e 10 mmol.L<sup>-1</sup> combinadas com doses de K entre 4 e 8 mmol.L<sup>-1</sup> proporcionaram a menor severidade da doença, o maior acúmulo de matéria seca e níveis de N considerados adequados. Os menores níveis de doença também foram observados por outros autores em patossistemas do cafeeiro quando utilizadas doses de nutriente adequada e equilibrada (JUNIOR et al, 2003, POZZA et al., 2001, LIMA et al., 2010).

O aumento do Ca em solução proporcionou aumento de Ca e K em folhas e o aumento do K em solução proporcionou aumento de K na folha. O aumento de um nutriente em solução tende a aumentar a quantidade deste mesmo nutriente no tecido foliar (LIMA et al., 2010). O aumento do Ca no tecido foliar possibilita o crescimento pois para a alongação e formação da parede celular é necessário a presença do Ca (CLAPHAM, 2007; CAFFALL & MOHNEN, 2009) e por conseguinte com o crescimento, a planta absorve mais K para atuar como ativador enzimático nas novas células (MARSCHNER, 2012).

## **CONCLUSÃO**

Doses de Ca entre 6 e 10 mmol.L<sup>-1</sup> combinadas com doses de K entre 4 e 8 mmol.L<sup>-1</sup> proporcionaram a menor severidade da doença, o maior acúmulo de matéria seca e níveis de N considerados adequados.

## REFERÊNCIAS

AMARAL, J.D., TEIXEIRA, C., PINHEIRO, E. A bactéria causadora da mancha aureolada do cafeeiro. Arquivo do Instituto Biológico, v. 23, p. 151. 1956.

BELAN, L. L., POZZA, E. A., FREITAS, M. L. D. O., SOUZA, R. M., JESUS JUNIOR, W. C., & OLIVEIRA, J. M. Diagrammatic Scale for Assessment of Bacterial Blight in Coffee Leaves. Journal of Phytopathology, v. 162, n. 11-12, p. 801-810, 2014.

CAFFALL, K. H., & MOHNEN, D. The structure, function, and biosynthesis of plant cell wall pectic polysaccharides. Carbohydrate research, v. 344, n. 14, p. 1879-1900, 2009.

CLAPHAM, David E. Calcium signaling. Cell, v. 131, n. 6, p. 1047-1058, 2007.

GUIMARÃES, P. T. G.; GARCIA, A. W. R.; ALVAREZ V., V. H.; PREZOTTI, L. C.; VIANA, A. S.; MIGUEL, A. E.; MALAVOLTA, E.; CORREA, J. B.; LOPES, A. S.; NOGUEIRA, F. D.; MONTEIRO, A. V. C.; OLIVEIRA, J. A. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação. Viçosa: UFV, 1999. p. 289-302.

HOAGLAND, D. R., & ARNON, D. I. The water-culture method for growing plants without soil. Circular. California Agricultural Experiment Station, v. 347, n. 2nd edit, 1950

HUBER DM, GRAHAM RD (1999) The role of nutrition in crop resistance and tolerance to diseases. In: Rengel Z (ed) Mineral nutrition of crops : fundamental mechanisms and implications. New York : Food Products Press, pp 169-206

ITO, D.S., SERA, T., SERA, G.H., DEL GROSSI, L., KANAYAMA, F.S. Resistance to bacterial blight in arabica coffee cultivars. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* v. 8, p. 99-103, 2008.

JÚNIOR, D.G., POZZA, E.A., POZZA, A.A.A, SOUZA, P.E., CARVALHO, J.G. & BALIEIRO, A.C. Incidência e severidade da cercosporiose do cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. *Fitopatologia Brasileira* 28:286-291. 2003

KADO, C., HESKETT, M. Selective media for isolation of *Agrobacterium*, *Corynebacterium*, *Erwinia*, *Pseudomonas*, and *Xanthomonas*. *Phytopathology*, v. 60, p. 969-976, 1970.

LECOURIEUX, D., RANJEVA, R., & PUGIN, A. Calcium in plant defence-signalling pathways. *New Phytologist*, v. 171, n. 2, p. 249-269, 2006.

LIMA, L. M. D., POZZA, E. A., TORRES, H. N., POZZA, A. A., SALGADO, M., & PFENNING, L. H. Relationship between nitrogen/potassium with Phoma spot and nutrition of coffee seedlings cultivated in nutrient solution. *Tropical Plant Pathology*, v. 35, n. 4, p. 223-228, 2010.

MALAVOLTA, E. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações/Eurípedes Malavolta, Godofredo Cesar Vitti, Sebastião Alberto de Oliveira.—2. ed., ver. e atual. Piracicaba: Potafos, 1997.

MARSCHNER, H. Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic press, 2012.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Café. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cafe/saiba-mais>> acessado em: Julho de 2016.

POZZA, A. A. A., MARTINEZ, H. E. P., CAIXETA, S. L., CARDOSO, A. A., ZAMBOLIM, L., & POZZA, E. A. Influência da nutrição mineral na intensidade da mancha-de-olho-pardo em mudas de cafeeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, n. 1, p. 53-60, 2001.

POZZA EA, CARVALHO VL, CHALFOUN SM. (2010) Sintomas de injúrias causadas por doenças do cafeeiro. In: Guimarães RJ, Mendes

ANG, Baliza DP (eds) *Semiologia do Cafeeiro*. Lavras, Editora UFLA, pp 67–106.

SHANER, G., & FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. *Phytopathology*, v. 67, n. 8, p. 1051-1056, 1977.

TAIZ, L. ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 5. Ed. – Porto Alegre: Artmed, 918p. 2013.

USDA 2016 Coffee: World Markets and Trade Foreign Agricultural Service/USDA 2016. Disponível em: <<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/coffee.pdf>> acessado em: Julho de 2016.

ZOCCOLI, D.M., TAKATSU, A., UESUGI, C.H. Ocorrência de mancha aureolada em cafeeiros na Região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. *Bragantia*. v. 70, p. 843-849, 2011.