



**ANDREANE BASTOS PEREIRA**

**FONTES DE COBRE NO CONTROLE DA FERRUGEM  
DO CAFEIEIRO**

**LAVRAS - MG  
2018**

**ANDREANE BASTOS PEREIRA**

**FONTES DE COBRE NO CONTROLE DA FERRUGEM DO CAFEIEIRO**

Dissertação apresentada a 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. Edson Ampélio Pozza  
Orientador  
Prof. Dra. Adélia Aziz Pozza  
Coorientadora

**LAVRAS - MG  
2018**

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

Pereira, Andreane Bastos.

Fontes de cobre no controle da Ferrugem do cafeeiro : Fontes  
de cobre no controle da Ferrugem do cafeeiro / Andreane Bastos  
Pereira. - 2018.  
50 p. : il.

Orientador(a): Edson Ampélio Pozza.

Coorientador(a): Adélia Aziz Pozza.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Ferrugem do cafeeiro. 2. Fontes de cobre. 3. Quelatos. I.  
Pozza, Edson Ampélio. II. Pozza, Adélia Aziz. III. Título.

**ANDREANE BASTOS PEREIRA**

**FONTES DE COBRE NO CONTROLE DA FERRUGEM DO CAFEIRO**

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

APROVADA em 03 de agosto de 2018.

Dr. Hudson Teixeira

Dr. Mário Sobral de Abreu

Dr. Rubens José Guimarães

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2018**

*A Deus.  
Aos meus amados pais, Silvana Bastos e Leandro Alvarenga.  
À minha querida irmã, Andressa  
Aos meus queridos e amados avós.  
Dedico!*

## **AGRADECIMENTOS**

A DEUS, por tudo!

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Fitopatologia, pela oportunidade de cursar o mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza, pela excelente orientação, ensinamentos, apoio e exemplo de profissionalismo.

A Prof. Dra. Adélia, pelo apoio e orientação com meus experimentos em solução nutritiva.

Aos meus pais pelo amor, apoio e por estarem presentes em minha vida me apoiando.

A minha irmã Andressa, pela amizade, carinho, conselhos e incentivo.

Ao Rodrigo, por todo o incentivo, amor e apoio.

Ao Silvio, técnico do Laboratório de Epidemiologia, por todo o apoio, ensinamentos, conselhos e ajuda com meus experimentos.

Aos meus colegas de laboratório Cristian, Mauro e Renata, pela excelente convivência e estarem sempre tão dispostos a me ajudar nos momentos que mais precisei.

Aos professores, Flávio Henrique de Medeiros, José da Cruz Machado, Ludwig, Heinrich Pfenning, Antônia dos Reis Figueira, Ricardo Magela de Souza, Eduardo Alves, Vicente Paulo Campos, Mario Lúcio Vilela de Resende pelos ensinamentos e exemplo de profissionalismo.

Aos bolsistas, Daniel, Rafaela, Isa Karla por toda ajuda na condução dos experimentos.

Aos funcionários do Departamento de Fitopatologia, Ariane, Carzinho, Klebér, Tarley, Angélica, Ana Maria e Edinho pelos serviços prestados.

A todos que, direta e indiretamente, contribuíram para a finalização de mais essa etapa,

**MUITO OBRIGADA!!!**

## RESUMO

Com o objetivo de avaliar os efeitos das diferentes fontes e doses de quelatos de cobre, no controle da ferrugem do cafeeiro, dois experimentos foram conduzidos, um “in vitro” realizado em laboratório, e outro “in vivo”, em mudas, conduzido, em casa de vegetação. Os tratamentos para ambos os experimentos foram os mesmos, os quais consistiram de oxiclureto de cobre 5 g.L<sup>-1</sup>, óxido de cobre 2,5 g.L<sup>-1</sup>, hidróxido de cobre 5,0 g.L<sup>-1</sup>, nitrato de cobre 0,35 g.L<sup>-1</sup>, cobre quelatizado com glucona 3,75 g.L<sup>-1</sup>, cobre EDTA (1,02 g.L<sup>-1</sup>; 2,5 g.L<sup>-1</sup>; 5,0 g.L<sup>-1</sup>; 12 g.L<sup>-1</sup>) e sulfato de cobre + cal 20 g.L<sup>-1</sup>, em 4 repetições. O delineamento experimental foi em blocos casualizados. No experimento “in vitro” avaliou o efeito dos tratamentos na germinação de urediniósporos de *Hemileia vastatrix*. No segundo avaliou a eficiência das diferentes fontes e doses de cobre no controle da ferrugem do cafeeiro. As avaliações da doença foram realizadas semanalmente, a severidade foi realizada com escala diagramática. As variáveis foram analisadas estatisticamente, aplicando-se o teste de Tukey a 5% de significância. No experimento 1, todos os tratamentos foram eficientes na inibição da germinação dos urediniósporos, com exceção do Cu-EDTA, que em todas as doses não diferiu da testemunha. No experimento 2, observou-se menor incidência com aplicação de nitrato de cobre e cobre quelatizado com glucona, com controle de 65,2% e 62,6%, respectivamente, em relação a testemunha. Para a severidade o controle foi de 81,5% e 80,4% quando aplicado hidróxido de cobre e nitrato de cobre. O peso da parte aérea seca dos tratamentos diferiram da testemunha, com exceção do Cu-EDTA em suas diferentes doses. Não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos para a fotossíntese e teor de clorofila.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, *Hemileia vastatrix*, quelatos de cobre, controle alternativo.

## ABSTRACT

This study aimed at to evaluate of sources and doses of copper chelates of different concentrations on the control of coffee rust, two experiments were conducted, one *in vitro* in the laboratory, and another *in vivo*, in seedlings conducted in a greenhouse. The treatments for both experiments were the same, which consisted of 5 g. L<sup>-1</sup> copper oxychloride, copper oxide 2.5 g.L<sup>-1</sup>, copper hydroxide 5.0 g.L<sup>-1</sup>, copper nitrate 0.35 g.L<sup>-1</sup>, chelated copper with glucone 3.75 g.L<sup>-1</sup>, copper EDTA (1, 2 g.L<sup>-1</sup>; 2.5 g.L<sup>-1</sup>; 5.0 g.L<sup>-1</sup>; 12 g.L<sup>-1</sup>) and copper sulfate 10 g.L<sup>-1</sup> in 4 replicates. The experimental design was in randomized blocks. In the experiment "*in vitro*" evaluated the effect of the treatments on the germination of uredinióspores of *Hemileia vastatrix*. In the second, it evaluated the efficiency of the different sources and doses of copper in the control of coffee rust. Evaluations of the disease were performed weekly, severity was performed with a diagrammatic scale. The variables were statistically analyzed, applying the Tukey test at 5% of significance. In Experiment 1, all treatments were efficient in inhibiting the germination of urediniopores, with the exception of Cu-EDTA, which at all doses did not differ from the control. In experiment 2, a decrease incidence was observed with the application of copper nitrate and chelated copper with glucone, with control of 65.2% and 62.6%, respectively, in relation to the contro. For the severity the control was 81.5% and 80.4% when applied copper hydroxide and copper nitrate. The weight of the dry aerial part of the treatments differed from the control, with the exception of Cu-EDTA in its different doses. There was no statistical difference between treatments for photosynthesis and chlorophyll content.

Key words: *Coffea arabica*, *Hemileia vastatrix*, copper chelates, alternative control.

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	13
<b>3. REFERÊNCIAL TEÓRICO</b> .....	14
<b>3.1 A ferrugem do cafeeiro (<i>Hemileia vastatrix</i>)</b> .....	14
<b>3.2 A nutrição mineral de plantas</b> .....	15
<b>3.3 Cobre - fungicida</b> .....	16
<b>3.4 Cobre – Micronutriente e formação de barreiras de resistência</b> .....	18
<b>3.5 Quelatos</b> .....	21
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	25
<b>4.1 Área de estudo e tratamentos</b> .....	25
<b>4.1.1 Avaliação in vitro da toxicidade das diferentes fontes e doses de cobre</b> .....	25
<b>4.1.2 Experimento em mudas</b> .....	26
<b>4.2 Obtenção de inóculo e inoculação</b> .....	26
<b>4.3 Avaliações da doença</b> .....	27
<b>4.4 Variáveis para análise do experimento “in vivo”</b> .....	27
<b>4.4.1 Incidência e Severidade</b> .....	27
<b>4.4.2 Área abaixo da curva do progresso da doença</b> .....	27
<b>4.4.3 Teor de clorofila e fotossíntese</b> .....	28
<b>4.4.4 Peso da parte aérea seca e análises nutricionais</b> .....	28
<b>4.5 Análise estatística</b> .....	29
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	30
<b>5.1 Experimento I</b> .....	30
<b>Avaliação in vitro da toxicidade das diferentes fontes de cobre na germinação de uredinósporos de <i>H. vastatrix</i></b> .....	30
<b>5.2 Experimento II</b> .....	31
<b>Eficiência das diferentes fontes e doses de cobre na ferrugem do cafeeiro</b> .....	31
<b>5.2.1 Área abaixo da curva do progresso da doença</b> .....	31

<b>5.2.2</b>	<b>Peso da parte aérea seca e teores foliares de cobre .....</b>	<b>34</b>
<b>5.2.4</b>	<b>Clorofila e Fotossíntese .....</b>	<b>37</b>
<b>6.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>39</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>40</b>
<b>8.</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>41</b>
<b>ANEXO – A</b>	<b>.....</b>	<b>48</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O café é a ‘commodity’ agrícola mais comercializada no mundo. O Brasil ocupa o primeiro lugar no ranking mundial de produção e exportação de café, além de ser o segundo maior consumidor mundial. O país produziu 44,9 milhões de sacas na safra 2017 o que gerou receita de R\$ 24,7 bilhões (CECAFE, 2018).

Entre os estados brasileiros produtores de café, Minas Gerais ocupa o primeiro lugar, sendo responsável por cerca de 50% da produção nacional. Para a safra 2018, a produção para esse estado está estimada em 30,6 milhões de sacas, representando uma área de produção de 1.033.636 hectares (CONAB, 2018). Apesar dessa alta produção, a demanda por maiores produtividades ainda é crescente, porém, vários fatores bióticos e abióticos podem reduzir tanto a produtividade quanto a qualidade da bebida (POZZA et al, 2010, DE LIMA et al, 2012).

Entre os fatores limitantes à produção de café encontram-se a falta ou fornecimento inadequado de água e nutrientes, as geadas, a ocorrência de pragas e de doenças, entre outros. Dentre as doenças, destaca-se a ferrugem alaranjada, cujo agente etiológico é o fungo *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome, encontrada em lavouras de todas as regiões brasileiras, causando perdas na produtividade de até 50%, se medidas de controle não forem tomadas (POZZA et al., 2010).

Dessa forma, o manejo adequado é essencial para controlar essa doença e o uso de cultivares resistentes é o mais indicado, porém, mais de 90% da área plantada no território nacional tem cultivares suscetíveis à doença. Com isso, ocorre o aumento na frequência de pulverizações de fungicidas. Caso seja utilizado o mesmo grupo químico pode ocorrer a seleção de populações resistentes, além de reduzir a sustentabilidade ambiental, financeira e conseqüentemente social desse importante agroecossistema.

Além do controle químico, amplamente empregado na lavoura cafeeira, outros métodos de manejo podem ser empregados. Entre os métodos culturais, destaca-se o fornecimento equilibrado de água e nutrientes. A nutrição mineral equilibrada da lavoura, tem levado a resultados satisfatórios em relação à redução na intensidade de doenças (POZZA e POZZA, 2012), devido a gerar maiores possibilidades de formação e manutenção de barreiras de resistência. De acordo com Marschner (2012) plantas bem nutridas possuem maior capacidade para sintetizar barreiras físicas e químicas de

resistência, impedindo ou retardando a penetração e a colonização de tecidos foliares por patógenos.

A defesa das plantas tem relação direta com a disponibilidade e equilíbrio de nutrientes. Entre eles, os micronutrientes desempenham importante papel na constituição de barreiras de defesa das plantas, por estarem envolvidos em rotas metabólicas associadas à formação desses mecanismos, como a lignina, capaz de formar barreira física e evitar a penetração de patógenos (TAIZ e ZEIGER, 2013). Isso foi comprovado por Graham & Webb (1991), que perceberam maior suscetibilidade a penetração de patógenos em plantas com baixos teores de Mn, devido a menor produção de lignina na folha. Enquanto o ferro, o zinco e o cobre além de possuírem ação antifúngica, podem estar relacionados tanto à indução de resistência quanto a formação dessas barreiras (BÉLANGER et al., 2003).

O grupo químico dos cúpricos ( $\text{Cu}^{2+}$ ) tem sido utilizado como fungicida no controle da ferrugem do cafeeiro, desde os primeiros relatos dessa doença no continente asiático e africano (CHALFOUN, 2004) e além disso, é essencial as plantas como micronutriente. A deficiência desse nutriente reduz a síntese de compostos de defesa, acumulação de carboidratos solúveis e redução na lignificação, reduzindo a capacidade de defesa das plantas a doenças.

Porém, o cobre é um metal largamente utilizado em altas doses na agricultura (ANDREI, 2005). Segundo Camargo et al. (2001), a aplicação de defensivos agrícolas e fertilizantes, é uma das principais atividades responsáveis da contaminação de metais no solo e eventualmente contribui para poluição de fontes e massas de água próximas as áreas agrícolas. Portanto, o uso de produtos, com eficiência, em menores doses, menor utilização de cobre metálico e maior disponibilidade do micronutriente nos tecidos vegetais, poderia fazer parte de rotas metabólicas para constituir barreiras de defesa, além de ser mais seguro ao meio ambiente.

Considerando a pressão dos consumidores para reduzir o uso de fungicidas, a perda de eficácia dessas moléculas por seu uso inadequado, a importância da nutrição mineral e o uso do cobre no controle da ferrugem do cafeeiro, objetivou-se com esse trabalho estudar os quelatos de cobre, de baixa concentração desse elemento, no controle da ferrugem alaranjada em mudas de cafeeiro.

## **2. OBJETIVOS**

Avaliar fontes e doses de quelatos de cobre, de diferentes concentrações, no controle da ferrugem do cafeeiro.

### 3. REFERÊNCIAL TEÓRICO

#### 3.1 A ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*)

A ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*), foi relatada no Brasil pela primeira vez na Bahia no ano de 1970 (Carvalho et al., 1989). É considerada a doença de maior ocorrência em cafeeiros, causando redução de 35 a 50% na produtividade, quando se atinge o nível de dano econômico (POZZA et al, 2010).

Para ocorrer a germinação do urediniósporo e a penetração através dos estômatos, são necessárias condições favoráveis como, temperatura na faixa de 22 a 23°C (Kushalappa et al., 1983; 1989), molhamento foliar mínimo de 48 horas (Ward, 1882b) e baixa luminosidade (RAYNER, 1961).

Os sintomas iniciais da doença podem aparecer em folhas jovens e velhas. Caracterizados em manchas cloróticas na face adaxial da folha, aumentando de tamanho e número com o progresso da infecção. Se convertem em pústulas de cor alaranjadas na face abaxial. Como consequência da infecção ocorre diminuição da área fotossintética, ocasionando desfolha da planta e conseqüentemente queda de produtividade (POZZA et al, 2010).

A disseminação desses patógenos pode ocorrer por meio de fatores ambientais, por meio do vento, gotas de chuva e insetos, podendo também ocorrer por mudas infectadas que são transportadas por diferentes regiões ou até mesmo continentes, ocorrendo assim a disseminação do patógeno a longas distâncias (OPINIÃO, 2012; AGRIOS, 2005).

O principal método de controle da doença é o químico. Entretanto, o uso indiscriminado desses produtos pode causar seleção de patógenos resistentes e reduzir a sustentabilidade do agroecossistema, causando impactos negativos na exportação do café e no custo de produção (MÁXIMO et. al., 2009).

Em vista disso, uma alternativa de manejo seria o controle preventivo com o uso de nutrientes, pois a nutrição equilibrada age nos mecanismos de defesa dos vegetais, diminuindo a severidade de doenças (Tomazela et al, 2006). Dentre os nutrientes minerais utilizados no controle da ferrugem do cafeeiro, o mais relevante é o cobre, sendo utilizado na forma de fungicida protetor, porém em altas doses, desde os primeiros relatos do aparecimento dessa doença em países do continente asiático e africano (CHALFOUN, 2004).

### 3.2 A nutrição mineral de plantas

Macro e micronutrientes são essenciais para a planta crescer e desenvolver (Epstein, 1975). Quinze elementos minerais são considerados essenciais, sendo divididos de acordo com a concentração exigida pela planta, em macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Cl, B, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Co e Zn) (MALAVOLTA, 2006).

Além de auxiliar no crescimento das plantas, a presença ou ausência desses nutrientes juntamente com o suprimento de água influenciam diretamente na composição química, anatomia e metabolismo das plantas (Taiz e Zieger, 2013). Segundo Huber (1990,1997) as doenças de plantas podem ser influenciadas por nutrientes, tanto seus teores quanto sua interação e equilíbrio.

A defesa das plantas está relacionada com a nutrição equilibrada. Esses nutrientes podem participar de rotas metabólicas de compostos capazes de inibir a infecção e a colonização de patógenos, relacionados com a indução de resistência na planta (Pozza e Pozza, 2012). Parede celular e cutículas mais espessas, maior suberização e lignificação dos tecidos e produção de compostos tóxicos, são arquitetadas por meio da nutrição mineral, reduzindo a presença de patógenos nas plantas (MARSCHNER, 1995).

Diferentes estudos relacionando nutrição e doenças de plantas vêm sendo realizados. Santos et al., (2005) determinaram a importância do equilíbrio do silício na produção de lignina. A aplicação de Si via solo influenciou diretamente a redução da severidade da cercosporiose no cafeeiro. Do mesmo modo, a eficiência do cálcio na redução da intensidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro foi estudada por Gárcia Júnior et al. (2003), bem como Pozza et al. (2001) citaram o aumento da intensidade da cercosporiose em função do aumento de doses de potássio, que favoreceu a deficiência de cálcio, facilitando a entrada do patógeno através da parede celular.

Carvalho et al., (2012) e Guimarães et al. (2011) estudaram a influência do cobre e o seu uso na cafeicultura, relatando a importância do micronutriente no desenvolvimento das plantas e seus efeitos fungicidas, enquanto Lopes et al. (2012) citaram a eficiência dos fungicidas cúpricos como bacteriostáticos, agindo no controle da “mancha aureolada” em mudas de cafeeiro.

### 3.3 Cobre - fungicida

O cobre é usado extensivamente no Brasil como fungicida protetor, desde os primeiros relatos da ferrugem no país, devido à grande parte dos cafezais implantados serem de variedades suscetíveis a doença.

Entre as moléculas do grupo químico dos cúpricos, disponíveis no mercado, as mais empregadas entre os produtores são o oxiclreto de cobre, o óxido cuproso, o hidróxido de cobre e o sulfato de cobre, esse último utilizado na composição das caldas Bordalesa e Viçosa. As caldas além de poder serem preparadas por produtores, como os demais fungicidas também podem ser encontradas no mercado em formulações, contendo de 35 a 50 % de cobre metálico (VENEZIANO, 1999).

É recomendada a aplicação de 1-2 kg de cobre metálico por hectare para o controle da ferrugem do cafeeiro, correspondente a 2-4 kg/ha de formulações com 50% de Cu, ou seja, aplicações de 1250 a 2500 mg. kg<sup>-1</sup> de Cu<sup>2+</sup> por hectare (KUSHALAPPA & ESKES, 1989).

Embora a quantidade de cobre toxica aos microrganismos seja inferior à da planta (10 a 30 mg. kg<sup>-1</sup>), além de serem poucos tolerantes ao excesso desse elemento (Graham & Webb, 1991), ainda assim é encontrado em bulas de fabricantes recomendações bem acima do necessário. O oxiclreto de cobre por exemplo, é recomendado na dose de 2500 a 6250 mg. kg<sup>-1</sup> de Cu<sup>2+</sup> para ferrugem do cafeeiro, enquanto o óxido de cobre e o hidróxido de cobre em dosagens equivalentes a 1750 mg. kg<sup>-1</sup> Cu<sup>2+</sup> e 1487 a 1970 mg. kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Em contraste, produtos quelatizados são recomendados em doses mais baixas; o cobre EDTA é recomendado em doses equivalentes a 725 mg. kg<sup>-1</sup> de Cu<sup>2+</sup>, enquanto o cobre quelatizado com glucona 202 mg. kg<sup>-1</sup> de Cu<sup>2+</sup> e o nitrato de cobre 67,3 a 146,25 mg. kg<sup>-1</sup> de Cu<sup>2+</sup>.

Portanto, ainda que o cobre possa ser usado em altas doses como fungicida, equivalentes a 2500 mg.kg<sup>-1</sup> de Cu<sup>2+</sup>, esse micronutriente pode ser também utilizado como indutor de resistência, sendo a dose recomendada equivalente a 725 mg. kg<sup>-1</sup> de Cu<sup>2+</sup>. Nojosa et. al, (2009) relatam em seu trabalho a redução de 63,40% da incidência de *Phoma costarricensis* quando utilizado 4ml.L<sup>-1</sup> de fertilizante foliar a base de boro, cobre, enxofre, manganês e zinco em mudas de cafeeiro. Carvalho (2010), observou redução na severidade da ferrugem asiática da soja, quando aplicado fosfito de potássio + Cu e fosfito de cobre aplicado isoladamente na dose 0,8 L. ha<sup>-1</sup>, segundo o autor esses produtos têm ação na fase de latência do fungo, retardando o início da epidemia.

Monteiro et al. (2011) observaram redução de 78% na incidência da ferrugem em mudas de cafeeiro, quando utilizado fosfito de cobre na dose de 5 ml. L<sup>-1</sup> associados com fosfito de manganês e extrato de folhas de café. Enquanto Toyota (2008) relatou que o fosfito de cobre quando aplicado na dose de 1000 mL/100L reduziu a severidade da ferrugem do cafeeiro em 81% semelhante ao fungicida epocoxinazol + piracostrobina, em condições de campo. Em casa de vegetação esse mesmo autor observou aumento da atividade das peroxidases, quitinases, e B-1,3-glucanases, além do aumento do teor de fenóis solúveis totais em mudas de cafeeiro.

Os fungicidas cúpricos apresentam boa eficiência, devido ao seu amplo espectro de ação, baixo custo e ausência resistência por apresentarem múltiplos sítios de ação, porém têm baixo efeito residual quando comparado a fungicidas sistêmicos (Chalfoun, 1999). Agem formando barreira tóxica capaz de evitar a germinação de fungos e o crescimento do tubo germinativo (GARCIA, 1999).

Cunha et al. (2004) verificaram a importância de medidas de controle com o uso de fungicidas cúpricos, tais como o oxiclureto de cobre e a calda Viçosa, aplicados preventivamente ou associados com o produto sistêmico triazol, onde esses produtos foram eficientes no controle da ferrugem, se aplicados quando a incidência da doença é baixa, preservando o enfolhamento e, conseqüentemente, proporcionando bons índices de produtividade.

A eficiência de fungicidas a base de cobre consiste no tamanho da partícula, suspensibilidade e boa tenacidade. A permanência do produto na folha tem a ver com a liberação lenta e gradual das moléculas de cobre (ZAMBOLIM, 1999).

Aplicação de altas doses de fungicidas cúpricos, podem causar desequilíbrio para o bicho mineiro e os ácaros. Enquanto a redução drástica nas doses, pode resultar em baixa eficiência dos cúpricos, especialmente diante do aumento da área foliar e da produtividade nas lavouras cafeeiras da atualidade (MATIELLO E ALMEIDA, 2006).

Entretanto é necessário manter a concentração de cobre nas células em níveis abaixo de 30 mg. kg<sup>-1</sup> pois este elemento pode ser extremamente tóxico em vista de suas altas propriedades 'redox' (Malavolta et al., 1997). Ao mesmo tempo essas propriedades o tornam o elemento essencial como também contribuem para sua inerente toxicidade. As reações de redox entre Cu<sup>+</sup> e Cu<sup>2+</sup> podem catalisar a produção de radicais hidroxílicos altamente tóxicos, com subseqüentes danos no DNA, proteínas, lipídeos e outra biomoléculas (YRUELA, 2005).

Segundo Gontijo (2007), a faixa de teor de cobre para mudas de saquinho, é entre 6,94 e 9,29 mg. kg<sup>-1</sup>, e para plantas em produção 15 a 30 mg. kg<sup>-1</sup> (Malavolta, Vitt e Oliveira, 1997). Em vista disso, empresas têm investido em pesquisas com produtos de boa eficiência em menores doses, geralmente na forma de quelatos. Enquanto fungicidas cúpricos são aplicados em doses equivalentes a 1500 mg. kg<sup>-1</sup> de Cu<sup>+</sup>, produtos quelatados têm recomendação abaixo de 750 mg. kg<sup>-1</sup> de Cu<sup>2+</sup>.

Os agentes quelantes ou complexantes mais utilizados na agricultura são o EDTA, DTPA, NTA e alguns aminoácidos. Moléculas de cobre ligadas a esses agentes complexantes, apresentam maior biodisponibilidade do micronutriente as culturas, pois essa complexação do íon cobre, proporciona maior absorção, assimilação e translocação dentro da planta. Após absorvido esse micronutriente é utilizado em rotas metabólicas essenciais para constituição de barreiras de defesa das plantas. Além de proporcionar menor impacto ambiental, por ser uma fonte de cobre aplicada em baixa doses (VALE & ALCARDE (1999).

Segundo Tomazela et al. (2006) a eficiência do sulfato de cobre foi eficiente na supressão da ferrugem tropical em milho, o que foi verificado também por Carvalho; Cunha e Silva no ano de 2012 no sul de Minas Gerais, onde o uso do cobre reduziu em mais de 60% a incidência da ferrugem do cafeeiro e 38% de desfolha. Além disso o uso do cobre no manejo do cafeeiro, pode influenciar a produção de frutos e na qualidade de bebida do café (LACERDA, 2014).

### **3.4 Cobre – Micronutriente e formação de barreiras de resistência**

O cobre é um metal de transição. Embora as plantas demandem esse elemento em menores quantidades a sua função está relacionada com vários processos fisiológicos dos vegetais, como respiração e fotossíntese (Brinate et al, 2015). Além de proporcionar efeito nutricional as plantas, resultando maior vigor e retenção de folhas, é amplamente usado como fungicida para controlar a ferrugem do cafeeiro e outras doenças (CUNHA; MENDES; CHALFOUN, 2012).

Segundo Graham & Webb, (1991), a maioria dos nutrientes minerais influenciam a intensidade e severidade de doenças. O cobre está envolvido na rota do ácido chiquímico, agindo como co-fator na síntese de quinonas e lignina, conforme esquema de

Graham e Webb (1991) (Figura 1), compostos esses associados a constituição de barreiras de resistência que estão relacionados com a defesa da planta.

Silva et al. (2013) com o objetivo de avaliar indução de resistência no manejo da ferrugem do cafeeiro e sua toxicidade aos urediniósporos do patógeno, observaram eficiência de controle de 51,4% na severidade da ferrugem e 99% de inibição da germinação dos urediniósporos de *H. vastatrix*, quando utilizou fosfito de cobre.

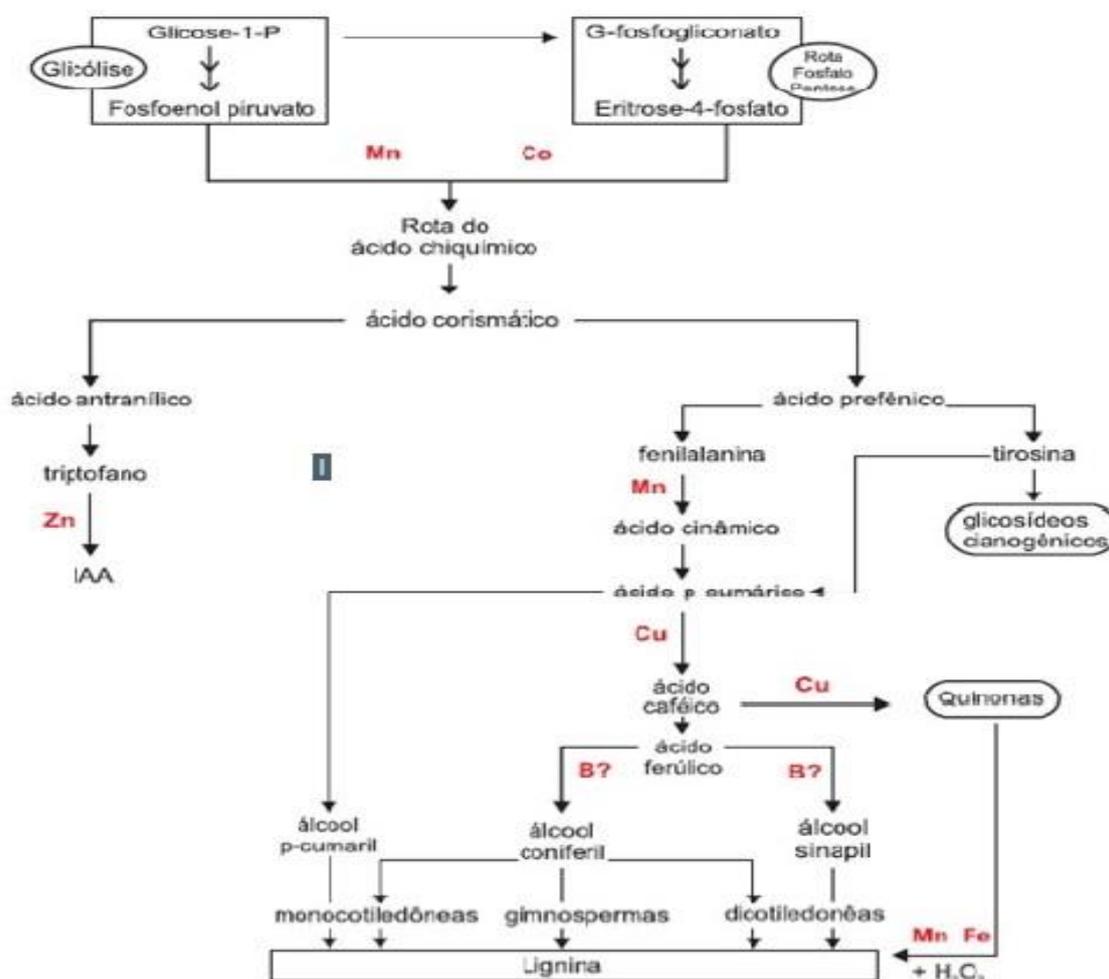


Figura 1: Micronutrientes como cofatores enzimáticos na rota para síntese de lignina e quinona a partir do ácido chiquímico (GRAHAM; WEBB, 1991).

Esse micronutriente está presente na solução do solo na forma cuprosa ( $\text{Cu}^+$ ) e cúprica ( $\text{Cu}^{2+}$ ). O  $\text{Cu}^+$  é oxidado a  $\text{Cu}^{2+}$  e absorvido por processo ativo pelas plantas. Embora o cobre seja um micronutriente importante nos processos fisiológicos da planta, seu excesso, concentrações acima de  $30 \text{ mg.kg}^{-1}$  ou deficiência, abaixo de  $3 \text{ mg.kg}^{-1}$ ,

podem causar desordem no crescimento e desenvolvimento da planta, pois afetam importantes processos fisiológicos. O transporte de elétrons na fotossíntese, por exemplo, é alterado em ambas as condições, seja de deficiência ou excesso de Cu (MALAVOLTA, 2006).

A toxicidade desse nutriente impede a ocorrência de diversos processos celulares, inibe o crescimento, ocorre morte de raízes, atrofia, descoloração, seca e queda das folhas, dificultando assim o crescimento das plantas. Na célula, a toxicidade pode resultar em ligação de grupos sulfídricos em proteínas, inibindo assim atividade de enzimas ou função de proteínas, indução da deficiência de outros íons essenciais, além de prejudicar processos de transporte celular (Yruela, 2005). Em baixa concentração desse micronutriente os sintomas de deficiência ocorrem em órgãos e folhas jovens, sendo ondulações na face adaxial, com nervuras salientes. Essa lesão evolui para folhas mais velhas, causando amarelecimento e branqueamento. Além disso pode ocorrer murcha, deformação do limbo das folhas e exsudação de goma em ramos e frutos (Malavolta et al., 1997). Em relação à anatomia das folhas ocorre a redução de lignificação, deixando a planta mais suscetível a entrada de patógenos (MARSCHNER, 2012).

Segundo Bélanger et al. 2003, plantas equilibradas nutricionalmente são mais resistentes a doenças, devido ao acúmulo de compostos inibidores ao redor do sítio de infecção ou barreiras mecânicas que impedem a penetração e a infecção por patógenos. Após a ocorrência da infecção por patógenos são produzidos compostos resultantes das rotas metabólicas secundárias dos vegetais como as fitoalexinas, fenóis, flavonoides e auxinas, esses são capazes de acumular ao redor do sítio de infecção agindo diretamente na defesa dos vegetais (TAIZ E ZEIGER, 2013).

O cobre possui ação antifúngica em mudas de cafeeiro, atuando como cofator na síntese de enzimas, inclusive naquelas ligadas à patogênese, podendo estar relacionada à indução de resistência sistêmica. Acredita-se que o cobre pode estar envolvido na síntese de várias enzimas ligadas à síntese de lignina, fenóis e quinonas (Marschner, 1995). Plantas deficientes em cobre mostram maior suscetibilidade ao míldio, devido a vários fatores, entre eles a inibição da lignificação. A lignina mostra importante papel na defesa de plantas contra patógenos. Por apresentar estabilidade química ela se torna parcialmente indigerível, tornando-se mais resistente ao ataque de enzimas hidrolíticas e a difusão das toxinas produzidas por patógenos, além de bloquear o crescimento e o avanço de patógenos por meio de estabelecimento de barreiras mecânicas (RIDE, 1978).

A presença de altas concentrações de Cu nas folhas e brotações estimulam a redução da atividade da peroxidase e da catalase, que resulta no acúmulo de peróxidos, substância altamente bactericida (Graham & Webb, 1991). Íons de Cu atuam na constituição de várias proteínas (Malavolta, 2006) sendo a plastocianina e a superóxido dismutase as responsáveis por conter a maior parte de cobre nas células foliares. Essas proteínas possuem como função a transferência de elétrons no fotossistema I e a detoxicação de radicais superóxido, respectivamente (Epstein; Bloom, 2006). Além disso desempenham importante papel no metabolismo de carboidratos, lipídeos e nitrogênio, síntese de lignina, mobilização de ferro (Yruela, 2005) e formação e fertilização do pólen (Taiz; Zeiger, 2013). Segundo esses autores, concentrações adequadas de cobre induzem a atividade da polifenoloxidase, responsável por converter compostos fenólicos em quinonas, ou seja, o íon cobre pode induzir a resistência ao aumentar a síntese de peróxidos, compostos fenólicos e quinonas.

### 3.5 Quelatos

Atualmente os quelatos tem ganhado espaço no mercado devido a serem uma alternativa para fornecer nutrientes as plantas em baixas doses devido a sua facilidade de absorção e maior estabilidade na calda de pulverização, ou seja, tem menor probabilidade de reagir com os outros componentes (MORTEVEDT, 1991).

Segundo Cruz Filho & Chaves (1985), o sulfato de cobre quando aplicado em misturas com cal e micronutrientes, possui eficiência no controle da ferrugem do cafeeiro mesmo em dose com concentração de  $\text{Cu}^{2+}$  inferior em 50% a quantidade quando recomendado o oxiclreto de cobre. A maioria das recomendações de produtos com Cu quelatizados ocorrem em doses abaixo de  $750 \text{ mg. kg}^{-1}$  de  $\text{Cu}^{2+}$ , devido ao fato da maioria desses quelatos possuírem como característica, maior absorção que os nutrientes não quelatizados, o que é um fato importante pois, alguns sais podem apresentar toxicidade as plantas.

A palavra “quelato”, originada do grego, significa pinça, quimicamente refere-se a uma configuração em anel resultante da combinação do íon metálico com dois ou mais grupos doadores de elétrons, agente quelante, formando uma ou mais estruturas cíclicas estáveis, quando ligadas a cátions, por exemplo o  $\text{Cu}^{2+}$  (MORTVEDT, 2001).

Em fertilizantes agrícolas é desejável a maior disponibilização do nutriente para as plantas. Essa característica é encontrada nos quelatos, pois os íons metálicos são

ligados ao agente quelante perdendo suas características catiônicas, devido o bloqueio dos sítios de reações desses íons, sendo menos sujeitos a reações de precipitação ou insolubilização. Portanto fornecem nutrientes as plantas impedindo sua inativação na calda, mantendo a sua disponibilidade para a planta (Cadahia, 2005). Normalmente os íons metálicos estão presentes em solução de uma forma altamente hidratada, o  $\text{Cu}^{2+}$  por exemplo é hidratado com quatro moléculas de água. A quelação nada é mais que a substituição dessas moléculas de água por outro tipo de agente ligante (LINDSAY & SOMMERS, 1997).

A complexação (quelação) de cobre, entre outros nutrientes, por ácidos orgânicos de baixo peso molecular, aumenta a sua disponibilidade, pois o quelato se separa facilmente desses elementos (Knepper, 2003). Segundo Bayer & Mielniczuk (1999), quelatos de baixo peso molecular, são mais solúveis, portanto disponibilizam o nutriente mais facilmente.

Os quelatos são considerados eficientes quando a taxa de substituição do micronutriente quelatizado por outros cátions é relativamente baixa, mantendo o micronutriente na forma de quelato até o momento de ser absorvido pelas plantas (Laurie & Marthey, 1994). Outra característica importante no uso desses compostos é a estabilidade relativa do complexo formado com o metal, conhecido como constante de estabilidade ( $\log k$ ), a partir dessa constante é possível estimar a capacidade do metal em competir com outro pelo mesmo agente quelante, cada quelato possui uma constante de estabilidade e se comporta de acordo com o íon acompanhante (ALVAREZ, 1987).

Segundo Stoller (1982) a constante de estabilidade para os quelatos sintéticos podem ser determinadas com precisão, devido à estrutura química desses compostos serem bem definidas. Esse autor citou alguns exemplos para o ácido etilenodiamino tetra acético (EDTA -  $\log K_{20}$ ) para  $\text{Fe}^{+3}$  25,1;  $\text{Fe}^{+2}$  14,3;  $\text{Cu}^{+2}$  10,6;  $\text{Mn}^{+2}$  14,0 e  $\text{Zn}^{+2}$  16,5. Entretanto, o mesmo não é observado para os complexantes orgânicos, por dependerem da natureza dos produtos orgânicos e dos seus processos de fabricação (FERREIRA et al, 2001).

Os agentes quelantes podem ser ácidos (ácido cítrico, ácido málico, ácido glutâmico, ácido glucônico, ácido fenólico, ácido láctico, ácido acético); aminados (NTA- ácido nitrilo acético, EDTA- ácido etilenodiaminotetracético, EDDHA- ácido etilenodiamino o-hidrofênil acético) e outros (alguns aminoácidos, açúcar, ácidos lignossulfônicos, poliflavonóides, polissacarídeos e poliálcoois) (Mortvedt, 1991). Entre os mencionados os mais utilizados na agricultura são, o EDTA, DTPA, NTA, EDDHA,

ácido cítrico, os lignossulfônico, alguns aminoácidos e polissacarídeos (ÁLVAREZ-FERNÁNDEZ et al., 2003).

O EDTA é o agente quelante mais conhecido, utilizado para diferentes aplicações industriais, agrícolas, entre outras. Segundo Blair et al. (1979), em solução aquosa, o íon Cu é absorvido mais rapidamente que o Cu quelatado por agentes como EDTA ou DTPA. Isso ocorre devido a esse complexo formado ser mais estável quimicamente, devido às fortes ligações, pois a ligação do metal e ligante é recoberta por moléculas do solvente que protegem a interação química (Andrade, 2009). Além disso, segundo Zhang et al. (2014), entre os agentes quelantes, o EDTA apresenta baixo grau de biodegradabilidade nas águas subterrâneas e no solo, e uma elevada capacidade de complexação com metais pesados.

Assim como o EDTA, os aminoácidos também são utilizados na agricultura há décadas, entretanto poucos trabalhos científicos são encontrados demonstrando a eficiência destes. Segundo Castro et al., 2009 esse fato é devido à ausência de fiscalização e classificação como fertilizantes para a comercialização, dificultando a avaliação da eficiência do uso desses nas plantas.

O uso de quelatos na adubação foliar permite um aproveitamento até 10 vezes mais eficiente do nutriente em comparação com outras fontes (Alvarez, 1987). Isto foi comprovado por Medcalf & Lott (1956), no Cerrado de Matão – SP, em que os quelatos EDTA de cobre, ferro, manganês e zinco e suas misturas multiplicaram por até 4 vezes as produtividades, além de terem os quelatos reduzido a toxicidade de manganês.

Em experimento utilizando melão híbrido Gold Mine, Pereira (1997) comparou fontes de cálcio, CaCl e cálcio quelatizado. O autor avaliou número e peso de frutos por planta, e observou que a presença de frutos menores ocorreu incremento na produtividade quando aplicado cálcio quelatizado.

Igarashi et al., (2010) relataram o aumento da tolerância contra a infecção de *Pseudomonas syringae* pv *Maculicola* e *Colletotrichum higginsianum*, em folhas de *Arabidopsis thaliana*, por meio da ativação de defesa vegetal, quando realizou a aplicação foliar do produto (Ajifol) à base de aminoácidos, macro e micronutrientes. Os autores relataram o aumento da expressão de genes e enzimas (quitinase e glucanase) relacionados com a defesa vegetal.

Lana (2006) avaliou o uso de aminoácidos em feijão, em diferentes doses e aplicações, verificou um aumento de 7,5 sacas ha<sup>-1</sup> em relação a testemunha (sem

aplicação de aminoácidos) quando utilizou  $100 \text{ mL.ha}^{-1}$  de aminoácidos no tratamento de sementes e  $1 \text{ L.ha}^{-1}$  via aplicação foliar 15 dias após a emergência de plântulas.

Castro 1981, relata efeitos na pré-florada de soja quando realizado pulverizações foliares com aminoácidos. O autor observou aumento na área foliar e na produção de matéria seca por unidade de área foliar. No entanto, em cafeeiro, ainda faltam muitos estudos para averiguar a respostas das plantas quando submetidas ao uso desses produtos quelatados.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo e tratamentos

Foram realizados dois experimentos. Um “in vitro”, realizado no laboratório de Epidemiologia/Manejo de Doenças, e outro “in vivo”, em mudas, conduzido na casa de vegetação, no Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras.

#### 4.1.1 Avaliação in vitro da toxicidade das diferentes fontes e doses de cobre

Os experimentos ‘in vitro’ e ‘vivo’ foram realizados com os mesmos 11 tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1: Tratamentos utilizados para teste “in vitro” e “in vivo” e suas respectivas doses. Lavras, MG, UFLA, 2018.

Tratamentos	Dose/ha	Dose aplicada/ 500 mL	Cu <sup>++</sup>	Equivalente em Cu <sup>2++</sup> (mg.kg <sup>-1</sup> )
Testemunha				
Oxicloreto de cobre	2,0 kg	2,5 g	50%	2500
Oxido cuproso	1L	1,25 ml	50%	1750
Hidróxido de cobre	2,0 kg	2,5 g	35%	1750
Nitrato de cobre	450 ml	0,175 ml	13%	146,25
Cobre quelatizado com glucona	1,5 L	1,875 g	5,4%	202
Cobre quelatizado com EDTA	0,406 kg	0,51 g	14,5%	147,17
Cobre quelatizado com EDTA	1 kg	1,25 g	14,5%	362,5
Cobre quelatizado com EDTA	2 Kg	2,5 g	14,5%	725
Cobre quelatizado com EDTA	4,8 Kg	6 g	14,5%	1740
Sulfato de cobre + cal (Calda bordalesa)	1L	10g*	25%	636,25

\* sendo 5g de Sulfato de Cobre e 5g de cal hidratada

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições. Cada placa de Petri constituiu uma repetição onde foram avaliados 100 urediniosporos.

O teste de germinação foi montado em placas de Petri de 8,0 cm de diâmetro, contendo 20 mL de meio ágar-água (2%). No meio fundente foi diluído o tratamento, e

posteriormente vertido na placa de Petri. Após a solidificação do meio, foi depositado 0,2 µL da suspensão de inóculo na concentração de  $1 \times 10^4$  mL<sup>-1</sup> uredinósporos de *H. vastatrix*, contados em hemacitômetro e homogeneizados com o auxílio de alça de Drigalsky. As placas foram incubadas em BOD a 23°C por 18 h no escuro. Após esse período, utilizou-se 4 mL por placa de solução de lactoglicerol para paralisar a germinação do urediniósporo.

As avaliações foram realizadas em microscópio estereoscópio, onde foi avaliada a porcentagem de germinação dos urediniósporos. Foi considerado como germinado o urediniósporo que apresentava tubo germinativo com comprimento superior ao seu tamanho.

A porcentagem de esporos germinados foi analisada no programa estatístico SISVAR versão 5.1 (FERREIRA, 2000).

#### **4.1.2 Experimento em mudas**

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 11 tratamentos (Tabela 1) e 4 repetições. Cada parcela experimental foi composta por cinco mudas da Cultivar Catuai 99. Os tratamentos foram pulverizados nas duas faces das folhas até o ponto de escorrimento. Após 20 dias de aplicação dos tratamentos, foram inoculados os esporos de *Hemileia vastatrix*.

#### **4.2 Obtenção de inóculo e inoculação**

O patógeno para a realização da inoculação dos experimentos foi obtido de folhas infectadas no campo, que foram levadas ao Laboratório de Epidemiologia e Manejo de Doenças. As folhas foram submetidas previamente a câmara úmida por 24 horas. Após esse período foram lavadas com água deionizada e com auxílio de um pincel adicionar-se-á suspensão em Becker de vidro. Logo após a calibragem da mesma foi determinada em hemacitômetro, a concentração ajustada a  $1,0 \times 10^6$  urediniósporos/mL e aplicada com atomizador 'De Vilbiss' nº 15 na face abaxial das folhas de café a partir do ápice até o ponto de escorrimento. Após a inoculação os vasos foram cobertos com saco plástico por 72 horas, para gerar as condições adequadas para o fungo penetrar (CRUZ FILHO e CHAVES, 1973).

### 4.3 Avaliações da doença

As avaliações foram iniciadas quando observado os primeiros sinais do patógeno. As avaliações de incidência e severidade da doença foram realizadas em intervalos de 7 dias.

### 4.4 Variáveis para análise do experimento “in vivo”

#### 4.4.1 Incidência e Severidade

A incidência foi avaliada contabilizando folhas com lesão em relação ao número total de folhas por parcela, empregando a equação:

$$I (\%) = (Nf/Nt) \times 100$$

Onde,

Nf: número de folhas lesionadas

Nt: número total de folhas do hospedeiro

A severidade da doença foi avaliada usando a escala diagramática de Cunha et. al., 2001, onde foi dado notas que variam de 1 – de 0 a 3% de severidade; 2 – de 3 a 6% de severidade; 3 – de 6 a 12% de severidade; 4 – de 12 a 25% de severidade; 5 – de 25 a 50% de severidade; 6 – mais de 50% de severidade.

#### 4.4.2 Área abaixo da curva do progresso da doença

Foi calculada a área abaixo da curva do progresso da doença da incidência e da severidade para a Ferrugem do cafeeiro, de acordo com a seguinte forma:

$$AACPD = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(Y_i + Y_{i+1})}{2} * (T_{i-1} - T_i)$$

Onde,

AACPD = área abaixo da curva de progresso da doença;

$Y_i$  = proporção de doença na  $i$ -ésima observação;

$T_i$  = tempo, em dias, na  $i$ -ésima observação;

$n$  = número total de observações

#### 4.4.3 Teor de clorofila e fotossíntese

O teor de clorofila foi medido com leituras realizadas com SPAD-502<sup>®</sup> (Soil Plant Analysis Development). Utilizou-se uma curva padrão com diferentes tons de verde, a clorofila a será obtida por meio da fórmula  $((0,0008 \times A_{663} - 0,0053 \times A_{645}) \times 1000 \text{ MF})$ , enquanto a clorofila b por  $(0,0004 \times A_{663} - 0,0032 \times A_{645}) \times 1000 \text{ MF}$  e a clorofila total calculada a partir do somatório da clorofila a + b.

Para as avaliações da fotossíntese foi utilizado o (IRGA), analisador de gás por infravermelho (LI-6400XT Portable Photosynthesis System, LI-COR, Lincoln, USA). As leituras foram realizadas com fonte de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) em câmara fechada fixada em  $600 \mu\text{mol de f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Blue + Red LED LI-6400-02B, LI-COR, Lincoln, USA).

Essas avaliações foram realizadas semanalmente, com início 10 dias após ser realizada a inoculação com o fungo *Hemileia vastatrix*, totalizando cinco avaliações (AMARANTE et al., 2007) e foram feitas em uma folha do terço médio por planta.

#### 4.4.4 Peso da parte aérea seca e análises nutricionais

Após realizadas todas as avaliações citadas, foi coletada toda a parte aérea. Essas amostras foram lavadas com água destilada, e armazenadas dentro de sacos de papel, secos em estufa de circulação forçada a  $60^\circ\text{C}$  por 4 dias até atingirem peso constante. Após secagem foram realizadas a pesagem e a moagem da parte aérea seca em moinho tipo Willey, passado em peneira fina (40 mesh) e homogeneizadas para determinação dos teores de nutrientes, seguindo os métodos descritos por Miyazawa et al. (2009).

#### **4.5 Análise estatística**

As variáveis AACPDI, AACPDS, os teores de clorofila total e a fotossíntese foram submetidas ao teste de Shapiro-Wilk para avaliar os pressupostos da análise de variância, entre eles a distribuição normal de resíduos. Apresentando distribuição normal, essas variáveis foram submetidas à análise de variância sem a necessidade de transformação dos dados. Em seguida, as médias dos tratamentos foram comparadas por teste F ( $P < 0,05$ ). As análises foram realizadas no programa SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2011).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Experimento I

#### Avaliação *in vitro* da toxicidade das diferentes fontes de cobre na germinação de urediniósporos de *H. vastatrix*.

No teste de avaliação de toxidez direta a *H. vastatrix*, *in vitro*, todos os tratamentos diferiram da testemunha ( $p < 0,05$ ). Porém o cobre EDTA, independente de sua dose, apresentou % de germinação superior aos demais. Sua porcentagem de inibição variou de 19% a 31,6%, enquanto a dos demais foi superior a 90% (Tabela 2).

Tabela 2: Germinação de urediniósporos de *Hemileia vastatrix* e porcentagem de inibição submetidos a tratamentos com diferentes fontes de Cobre. Lavras, MG, 2018.

Tratamentos	Germinação (%)	Inibição (%)
Testemunha	46,63 c*	---
Oxicloreto de cobre	3,25 a	93,0
Oxido de cobre	0,50 a	98,9
Hidróxido de cobre	0,00 a	100
Nitrato de cobre	0,13 a	99,7
Cobre quelatizado com glucona	1,00 a	97,9
Cobre EDTA (0,406 kg/ha)	31,87 b	31,6
Cobre EDTA ( 1kg/ha)	35,88 b	23,1
Cobre EDTA ( 2kg/ha)	37,75 b	19,0
Cobre EDTA (4,8 kg/ha)	37,00 b	20,6
Sulfato de cobre + cal	0,75 a	98,4

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $P < 0,05$ ).

O nitrato de cobre e o cobre quelatizado com glucona, aplicados nas doses (146,5 e 202 mg. kg<sup>-1</sup> de Cu<sup>2+</sup>) apresentaram inibição de 99,7% e 97,9% mesmo em baixas doses, já com as baixas e altas doses aplicadas de cobre EDTA, esses apresentaram baixa inibição da germinação. O íon cobre se soltou mais facilmente da molécula de nitrato e do quelato de glucona, sendo esse composto um complexo com menor estabilidade quando comparado ao EDTA (LUCENA, 2009).

A menor eficiência, ou seja, maior germinação *in vitro* foi provavelmente devido à forte ligação do agente quelante EDTA com o Cu, não o disponibilizando, ou seja, não foram dissociados no meio. Segundo Andrade (2009), o EDTA é um composto multidentado, o que determina a formação de ligações mais fortes. Portanto, esses compostos são mais estáveis quimicamente em comparação com outras moléculas,

devido ao metal estar protegido em um “tipo de esfera interna”, resultando baixa dissociação em solução.

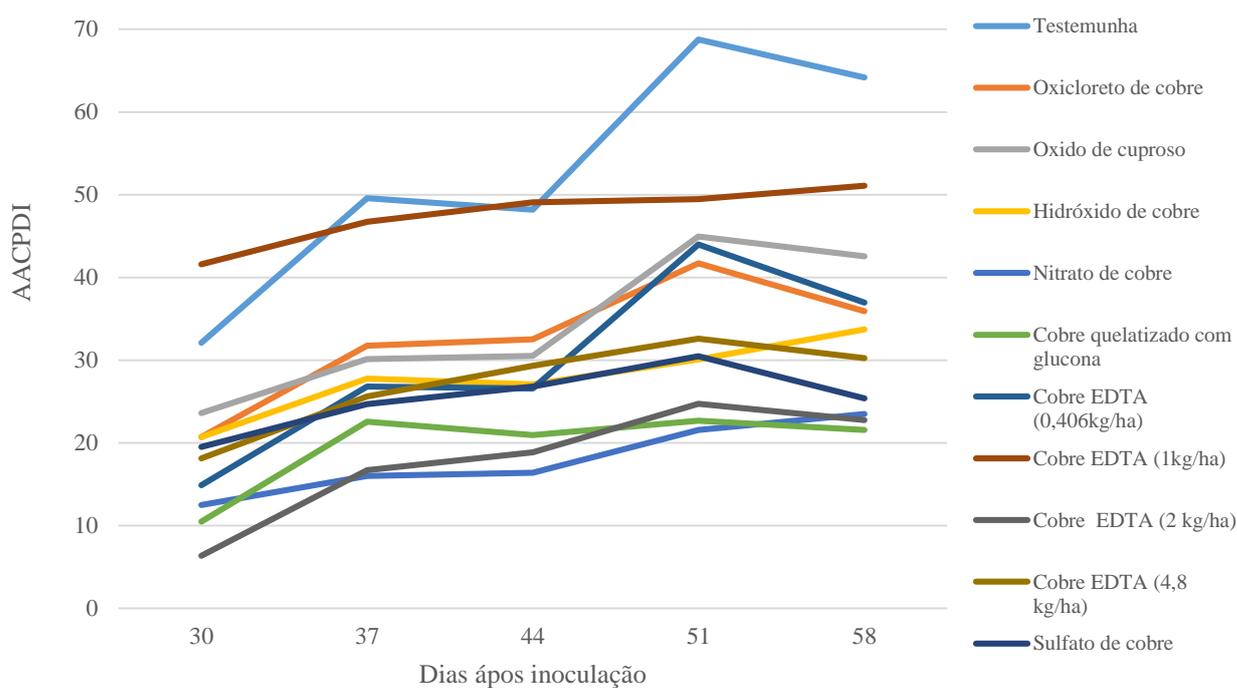
Foi observado alta inibição dos urediniósporos quando utilizado o cobre quelatizado com glucona, que são compostos quelatizados com moléculas orgânicas. Isso é explicado segundo Knepper (2003), devido ao fato do cobre quando complexado por ácidos orgânicos de baixo peso molecular, aumenta a sua disponibilidade, pois o quelato se separa facilmente desses elementos. Além disso segundo Ferreira et al. (2001) essa menor estabilidade dos complexantes orgânicos é devido a dependência da natureza dos produtos orgânicos e dos seus processos de fabricação.

## 5.2 Experimento II

### Eficiência das diferentes fontes e doses de cobre na ferrugem do cafeeiro

#### 5.2.1 Área abaixo da curva do progresso da doença

A doença ocorreu durante todo o período de avaliação do experimento (2 a 30 de maio) com o máximo de 68,75 para área abaixo da curva do progresso da incidência (AACPDI) e 67,3 para área abaixo da curva do progresso da severidade (AACPDS) na testemunha (Figura 2A e 2B).



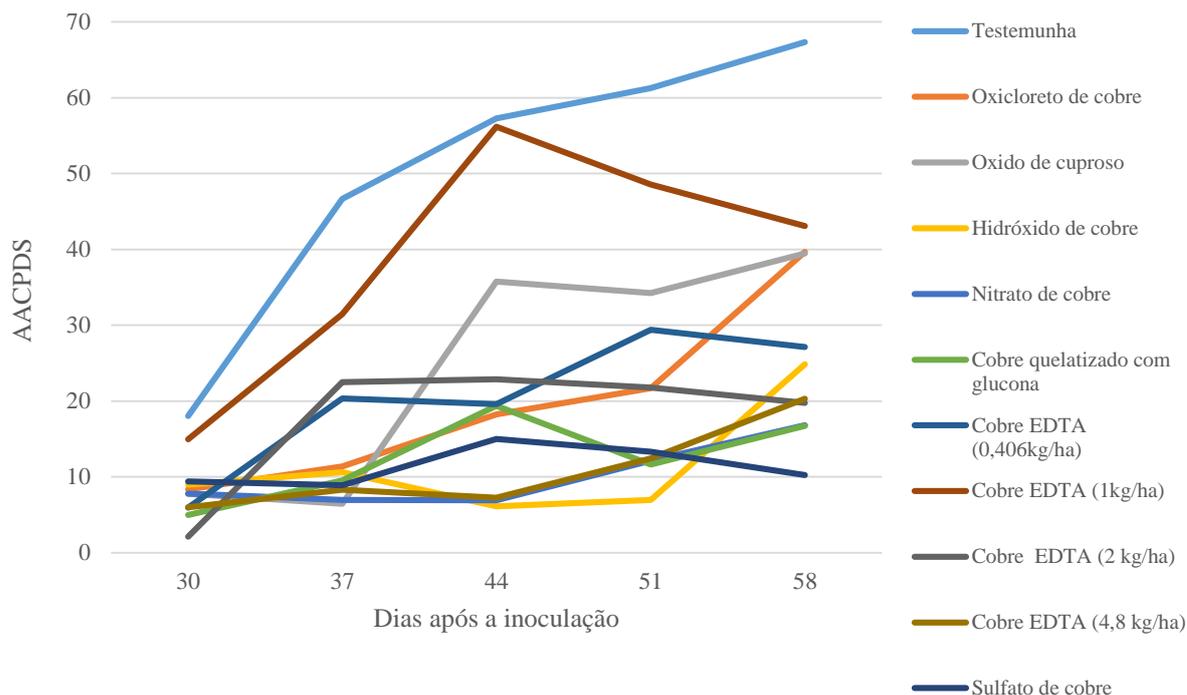


Figura 2: (A) Curva de progresso da incidência da ferrugem do cafeeiro (AACPDI) e (B) Curva de progresso da severidade da ferrugem do cafeeiro (AACPDS). Pulverização dos tratamentos foi feita 20 dias antes da inoculação. Lavras, MG, 2018.

Houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) para os tratamentos em relação à testemunha. O tratamento com menor área abaixo da curva do progresso da incidência da ferrugem do cafeeiro (AACPDI) foi o nitrato de cobre, com 65% de redução em relação à testemunha, seguidos do cobre EDTA 2kg/ha e cobre quelatizado com glucona 63,6% e 61,9% respectivamente e o cobre EDTA 1kg/ha com 48,4 % de redução na incidência da Ferrugem (Tabela 3).

Tomazela (2006) verificou maior eficiência do sulfato de cobre em relação ao hidróxido de cobre na supressão da Ferrugem Tropical, em milho. Assim como observado no presente trabalho, o sulfato de cobre + cal reduziu a incidência em 45,7%, enquanto o hidróxido de cobre apresentou 41% de controle. Tomazela atribuiu tal efeito à maior solubilidade do sulfato em relação ao hidróxido, portanto ocorreu maior concentração de sulfato na cutícula foliar, agindo diretamente sobre o patógeno.

Tabela 3: Efeito dos tratamentos para área abaixo da curva do progresso da incidência (AACPDI) e área abaixo da curva do progresso da severidade (AACPDS) e porcentagem de controle para ferrugem, em mudas de cafeeiro.

Tratamentos	AACPDI	% de		
		Controle <sup>2</sup>	AACPDS	Controle <sup>2</sup>
Testemunha	1258,6b <sup>1</sup>	0	14,6b <sup>1</sup>	0
Oxicloreto de cobre	859,2a	31,7	5,3a	63,8
Oxido de cuproso	854,5a	32,1	7,0a	51,9
Hidróxido de cobre	742,4a	41,0	2,8a	80,5
Nitrato de cobre	440,4a	65,0	2,7a	81,6
Cobre quelatizado com glucona	479,5a	61,9	3,6a	75,3
Cobre EDTA (0,406kg/ha)	759,5a	39,7	6,0a	58,7
Cobre EDTA (1kg/ha)	649,1a	48,4	8,0a	20,5
Cobre EDTA (2 kg/ha)	458,4a	63,6	5,5a	62,4
Cobre EDTA (4,8 kg/ha)	696,4a	44,7	2,9a	80,2
Sulfato de cobre + cal	685,4a	45,7	3,3a	77,4

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

<sup>2</sup>Em relação à testemunha

Para área abaixo da curva de progresso da severidade da ferrugem do cafeeiro (AACPDS), todos os tratamentos propostos tiveram AACPDS menores que a testemunha. Observou-se redução de 81,6% em relação à testemunha para o nitrato de cobre, seguidos dos tratamentos hidróxido de cobre e cobre EDTA na dose 4,8 kg/ha com redução de 80,5% e 80,2% respectivamente (Figura 2B).

Possivelmente, o modo de ação do cobre EDTA foi exclusivamente indireto. Mesmo apresentando baixa toxidez sobre os urediniósporos de *H. vastatrix*, todas as doses de Cu-EDTA apresentaram redução da incidência e severidade nas diferentes doses aplicadas de Cu-EDTA, podendo ser um indicador de indução de resistência ou ainda da toxidez ao fungo nos parênquimas.

Entretanto para os tratamentos, oxicloreto de cobre, óxido de cobre, hidróxido de cobre, nitrato de cobre, cobre quelatizado com glucona e sulfato de cobre, ocorreu ação direta e indireta, pois além de ter ocorrido redução na incidência e na severidade para todos os tratamentos, esses apresentaram ação direta de toxidez na germinação dos uredinósporos de *H. vastatrix* (Tabela 2).

Além disso foi observado para AACPDI e AACPDS, os tratamentos em baixas doses de cobre controlaram a ferrugem do cafeeiro com porcentagens de controle maiores

que os tratamentos em maiores doses de cobre. Para AACPDI foi observada redução na incidência de 65% e 61,9% quando aplicadas 146,25 mg. kg<sup>-1</sup> de Cu<sup>2+</sup> e 202 mg. kg<sup>-1</sup> de Cu<sup>2+</sup>, em contraste com oxiclreto de cobre e hidróxido de cobre com doses de 2500 e 1750 mg. kg<sup>-1</sup> de Cu<sup>2+</sup>, com redução na incidência de 31,7 e 32,1% respectivamente.

Existem diversos estudos com a utilização de cobre no manejo de controle da ferrugem do cafeeiro, porém com o uso de altas doses. Cunha et al, (2004) relatou a eficiência do uso de oxiclreto de cobre na dose de 3kg.ha<sup>-1</sup> aplicado preventivamente quando o índice da doença era baixo, em cafeeiro com 6 anos de idade, a incidência foi reduzida em 60% quando utilizado oxiclreto de cobre. O mesmo foi observado por Matiello et al., (2009), esses autores observaram controle da incidência da ferrugem, em cafeeiros com 12 anos de idade, somente quando aplicado doses equivalentes a 1200 mg.ha<sup>-1</sup> de Cu<sup>+</sup>.

Souza et al (2005), quando avaliaram diferentes tipos de adubações e o efeito de tratamentos fitossanitários, observou em ano de baixa carga os tratamentos utilizando oxiclreto de cobre 3 kg.ha<sup>-1</sup> e calda Viçosa 5 kg.ha<sup>-1</sup> foram eficientes no controle da ferrugem em condições de campo, a incidência foi mantida abaixo de 20%. Entretanto os tipos de adubações, não influenciaram na incidência da ferrugem e na produtividade do cafeeiro.

Entretanto, Monteiro (2011) avaliando a mistura de fosfito de cobre + extrato de folha de cafeeiro + fosfito de manganês observou redução de 84% de controle da ferrugem em mudas de cafeeiro. Porém o fosfito de cobre quando avaliado isolado, reduziu em 56% a severidade da doença.

San Juan et al, (2016) avaliaram o efeito do hidróxido de cobre e cobre em mistura com aminoácidos, nas doses de 2,2 kg.ha<sup>-1</sup> e 1 L.ha<sup>-1</sup>, respectivamente, em condições de campo. Esses autores relataram redução na incidência da ferrugem com a aplicação do aminoácido no mesmo nível observado com aplicação do hidróxido de cobre 2,2 kg.ha<sup>-1</sup>.

### **5.2.2 Peso da parte aérea seca e teores foliares de cobre**

Houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) para o peso da parte área seca e teores foliares de cobre (Tabelas 4 e 5). Foi observado maior peso da parte área para o tratamento sulfato de cobre (SC) e nitrato de cobre com valores de 12,06 g e 11,54 g respectivamente,

seguidos do hidróxido de cobre com 11,07 g, óxido cuproso com 10,97 g, oxicloreto de cobre 10,84 g e cobre quelatizado com glucona com 10,43 g.

Dias et al (2015) também observaram maior valor do peso da parte aérea seca com a aplicação foliar de SC na dose de 500 g.ha<sup>-1</sup> e 1000 g.ha<sup>-1</sup>. Esse aumento na produção da parte aérea seca, pode ser explicado devido ao cobre fazer parte da síntese de várias proteínas e enzimas que são fundamentais nos processos de transporte de elétrons, fotossíntese, respiração, lignificação e desintoxicação de radicais superóxido (KIRKBY; RÖMHELD, 2007).

Tabela 4: Efeito dos tratamentos no peso da parte aérea seca. Lavras, MG, UFLA, 2018.

Tratamento	Peso (gramas)
Testemunha	8,66b <sup>1</sup>
Oxicloreto de cobre	10,84 <sup>a</sup>
Oxido de cuproso	10,97a
Hidróxido de cobre	11,01 <sup>a</sup>
Nitrato de cobre	11,54 <sup>a</sup>
Cobre quelatizado com glucona	10,43 <sup>a</sup>
Cobre EDTA (0,406kg/ha)	9,11b
Cobre EDTA (1kg/ha)	7,27b
Cobre EDTA (2 kg/ha)	7,35b
Cobre EDTA (4,8 kg/ha)	7,09b
Sulfato de cobre + cal	12,06 <sup>a</sup>

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

Tabela 5: Valores de concentração foliar em  $\text{mg.kg}^{-1}$  (ppm) de cobre de mudas de cafeeiro. Lavras, MG, UFLA, 2018.

Tratamento	Cobre $\text{mg/kg}$ (ppm)
Testemunha	55,6e
Oxicloreto de cobre	347,3c
Oxido de cuproso	673,5b
Hidróxido de cobre	342,3c
Nitrato de cobre	94,1e
Cobre quelatizado com glucona	80,4e
Cobre EDTA (0,406kg/ha)	61,7e
Cobre EDTA (1kg/ha)	63,2e
Cobre EDTA (2 kg/ha)	121,5d
Cobre EDTA (4,8 kg/ha)	176,0d
Sulfato de cobre + cal	827,1 <sup>a</sup>

<sup>1</sup>Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $P < 0,05$ ).

Carvalho et al., (2012), observaram que os cúpricos aplicados preventivamente, isoladamente ou associados ao epoxiconazole nas doses equivalentes a  $2500 \text{ mg. kg}^{-1}$  de  $\text{Cu}^{2+}$ , foram eficientes no enfolhamento e no controle da ferrugem, quando a incidência se apresentava com níveis abaixo de 25%. No presente trabalho observa-se que nitrato de cobre e cobre quelatizado com glucona em doses de  $146,25$  e  $202 \text{ mg. kg}^{-1}$  de  $\text{Cu}^{2+}$ , apresentaram valor de peso da parte área seca equivalentes aos tratamentos que foram aplicados com concentração acima de  $1000 \text{ mg. kg}^{-1} \text{ Cu}^{2+}$ . Segundo Rosolem et. al. (2000), isso pode ser explicado devido a maior taxa diferencial de translocação que os nutrientes quelatizado possuem. Citado também por Ferrandon e Chamel (1988), embora alguns quelatos de moléculas maiores apresentam baixa penetração na cutícula foliar, na translocação os quelatos em geral possuem 1,5 vezes mais eficiência quando comparado aos íons catiônicos não quelatizados.

Foi observado maior peso da parte aérea seca para a maior parte dos tratamentos, exceto para os tratamentos com Cu-EDTA, que apresentaram também baixa concentração de cobre foliar. O Cu-EDTA quando aplicado em proporção semelhante do nitrato de cobre, com doses equivalentes a  $146 \text{ mg. kg}^{-1}$  de  $\text{Cu}^{2+}$ , observa-se que ocorreu menor absorção em relação ao nitrato. O mesmo ocorre em relação ao cobre quelatizado com glucona (Tabela 5).

Deste modo, pode-se dizer que a velocidade de absorção do EDTA é menor em comparação com as outras fontes. O mesmo foi observado por Gonçalves et al. (2017),

quando comparou aplicações foliares de óxido, sulfato e quelatos de cobre nas doses de 25, 50, 100 e 150 mg.kg<sup>-1</sup> em soja, observando menor absorção do quelato em relação as outras duas fontes em todas as doses. Segundo os autores esse fato é devido a cinética de absorção e translocação do nutriente na folha. Assim, o quelato EDTA, com menor absorção pela cutícula, pode ter ficado mais retido na mesma, não sendo translocado ao interior da folha.

Franco et al. (2005) observaram menor absorção foliar do Zn-EDTA em relação ao Zn<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> em mudas de cafeeiro e feijão, em casa de vegetação. Entretanto o Zn-EDTA apresentou maior translocação. Os autores associaram isso ao ligante EDTA, que funciona como uma espécie de carregador do íon catiônico, transportando-o através da cutícula e dentro do tecido vascular.

Segundo Ferrandon e Chamel (1989), o EDTA no processo de absorção é 1,4 vezes menos eficiente que o sulfato. Esse fato é devido o tamanho da molécula, que no caso do EDTA, são grandes, resultando menor penetração cuticular e nos tecidos foliares.

#### 5.2.4 Clorofila e Fotossíntese

Não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) para fotossíntese (Tabela 6) e teores de clorofila (Tabelas 7).

Tabela 6: Efeitos das fontes e doses de cobre testadas na capacidade fotossintética de mudas de cafeeiro. Lavras, MG, 2018

<b>Tratamento</b>	<b>Capacidade fotossintética (<math>\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}</math>)</b>
Testemunha	8,5a*
Oxicloreto de cobre	7,8a
Oxido de cuproso	9,4a
Hidróxido de cobre	9,5a
Nitrato de cobre	8,1a
Cobre quelatizado com glucona	8,1a
Cobre EDTA (0,406kg/ha)	9,4a
Cobre EDTA (1kg/ha)	7,9a
Cobre EDTA (2 kg/ha)	9,9a
Cobre EDTA (4,8 kg/ha)	8,0a
Sulfato de cobre + cal	9,5a

\*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $P < 0,05$ ).

Tabela 7: Efeito das fontes e doses de cobre testadas no teor de clorofila total, em mudas de cafeeiro. Lavras, MG, 2018.

Tratamentos	CloT (mg. gmf <sup>-1</sup> )
Testemunha	0,0414a*
Oxicloreto de cobre	0,0404a
Oxido de cuproso	0,0449a
Hidróxido de cobre	0,0395a
Nitrato de cobre	0,0501a
Cobre quelatizado com glucona	0,0485a
Cobre EDTA (0,406kg/ha)	0,0396a
Cobre EDTA (1kg/ha)	0,0413a
Cobre EDTA (2 kg/ha)	0,0465a
Cobre EDTA (4,8 kg/ha)	0,0487a
Sulfato de cobre + cal	0,0533a

\*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso do mesmo grupo químico de fungicidas é frequente no controle da ferrugem do cafeeiro. Isso pode resultar em seleção de populações de patógenos resistentes, além de gerar altos custos de produção, alterações ecológicas e contaminação do solo e da água, reduzindo a sustentabilidade ambiental.

Atualmente a sociedade se mostra cada vez mais preocupada com o uso desse método de controle, exigindo a adaptação dos produtores a um modelo de produção sustentável na cadeia produtiva, com o menor uso possível desses produtos químicos.

O equilíbrio na nutrição mineral, tem levado a resultados satisfatórios em relação à redução na intensidade de doenças, gerando respostas de defesa das plantas a patógenos e pragas.

O cobre é amplamente utilizado no controle da ferrugem do cafeeiro, pois esse nutriente além de ser essencial ao desenvolvimento e nutrição da planta, apresenta alta toxicidade a patógenos. No presente estudo, as fontes de baixas doses de cobre (abaixo de 400 ppm de  $\text{Cu}^{2+}$ ), foram eficientes no controle da ferrugem do cafeeiro. Mostraram eficiência direta na inibição de urediniósporos e na redução da incidência e da severidade da doença, indicando possível indução de resistência na planta. Mesmo aqueles com baixa eficiência na redução da germinação, ou seja, não liberaram o cobre, foram eficientes no controle da ferrugem em mudas.

Apesar desses resultados promissores, sugere-se a realização de experimentos em condições de campo. Além disso, para melhor entendimento dos mecanismos envolvidos na indução de resistência, torna-se necessário um estudo bioquímico mais detalhado, quantificando lignina, fenóis totais e enzimas envolvidas na resposta de defesa da planta como, peroxidase, quitinase, B-1,3-glucanase, bem como o estudo da expressão de genes que codificam para expressão dessas enzimas de defesa.

## 7. CONCLUSÃO

Houve redução na intensidade e na severidade da ferrugem do cafeeiro em mudas, quando utilizadas doses com concentrações abaixo de 400 ppm de  $\text{Cu}^{2+}$ , mostrando eficiência equivalente ao uso em altas dosagens.

Todos os quelatos de cobre testados mostraram eficiência na redução da incidência e severidade da ferrugem do cafeeiro.

Cu-EDTA apresentou resultados promissores em relação a indução de resistência ou toxicidade no parênquima, mesmo não tendo reduzido a germinação 'in vitro', sendo necessários estudos bioquímicos para melhor compreensão dos efeitos desse composto na planta.

## 8. REFERÊNCIAS

AGRIOS, G. M. **Plant pathology**. 5. ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press. p. 948. 2005.

ÁLVAREZ, J.M.; RICO M.I.; OBRADOR, A. Lixiviation and extraction of zinc in a calcareous soil treated with zinc chelate fertilizers. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 44: 3383-3387, 1987.

ÁLVAREZ, F. A.; GARCÍA, M. S.; LUCENA, J. J. Evaluation of synthetic iron (III) - chelates (EDDHA/Fe<sup>3+</sup>, EDDHMA/Fe and EDDHSA/Fe<sup>3+</sup>) to correct iron chlorosis. *European Journal of Agronomy*, 22: 119-130, 2003.

AMARANTE, C.V.T.; STEFFENS, C.A.; MOTA, C.S.; SANTOS, H.P. Radiação, fotossíntese, rendimento e qualidade de frutos em macieiras 'Royal Gala' cobertas com telas antigranizo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.7, p.925- 931, 2007.

ANDRADE, J. C. Conceitos básicos de químicas IN: **Química e mineralogia do solo**. Eds. MELO, V. de F.; ALLEONI, L. R. Viçosa, MG: SBCS, 2009.

ANDREI, E. (Ed.) *Compêndio de defensivos agrícolas: guia prático de produtos fitossanitários para uso agrícola*. 7. ed. São Paulo: Organização Andrei, 2005. 1142p

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F.A. de O. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.9-26.

BÉLANGER, R. R.; BENHAMOU, N.; MENEZIES, J.G. Mineral nutrition in the management of plant diseases. **Phytopathology**, St. Paul, v. 93, n.4, p. 402-412, Apr. 2003.

BRINATE, S. V. B.; FERREIRA, D. S.; TOMAZ, M. A.; MARTINS, L. D.; RODRIGUES, W. N.; COLODETI, T. V.; CUNHA, V. V.; ROSA, G. N. G. R.; OLIVEIRA, R. Da S. O.; SOTERO, A. de J.; JUNIOR, J. de C. W.; AMARAL, J. F. T. do A. Teores foliares de cobre no cafeeiro arábica submetido aos efeitos da adição de cal ao sulfato de cobre. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL**, 2., 2015, Curitiba. Resumos. Vitória: Embrapa Café. p. 77-78. 2001.

CADAHIA, C.: *Fertirrigación / Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales*, Ediciones Mundi-prensa, pp. 33-46, España, 2005.

CAMARGO, A. O.; ALLEONI, L. R. F.; CASAGRANDE, J. C.; Reações e elementos tóxicos do solo na agricultura In: Manoel Evaristo et al. *Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura*. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 89 – 150.

CARVALHO, A.; ESKES, A. B.; CASTILLO, J.; SREENIVASAN, M. S.; ECHEVERRI, J. H.; FERNANDEZ, C. E.; FAZUOLI, L. C. (1989) *Breeding*

programmes. In: KUSHALAPPA, A. C.; ESKES, A. B. Coffee rust: epidemiology, resistance and management. Boca Raton, CRC Press, p. 293-335, 1989.

CARVALHO, E. A. Indutores de resistência no manejo da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow). Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, 2010.

CARVALHO, V. C. de.; CUNHA, R. L. da.; SILVA, N. R. N. Alternativas de controle de doenças do cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 42-49, jan/abr. 2012.

CASTRO, P.R.C., MORAES, R.S. Ação de fitorreguladores na produtividade da soja cultivar Davis. Anais da Escola Superior de Agriculture “ Luiz de Queiroz”, Piracicaba, v.38, n.1 p. 127-137, 1981.

CASTRO, P.R.C. Princípios da adubação foliar. Jaboticabal: FUNEP, 2009. 42p.

CHALFOUN, S.M.; CHALFOUN, I. Efeito de aplicações do viça café sobre o controle de doenças, bicho-mineiro e vigor dos cafeeiros: Doenças. In: **Simpósio de pesquisa dos cafés do brasil**, 2004, Poços de Caldas-MG. Anais ... Poços de Caldas, 2004. p. 197-200.

CHALFOUN, S.M. Aspectos da utilização de fungicidas cúpricos na cultura do cafeeiro: revisão de literatura. 2. ed. Lavras: Griffin, 1999. 88 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de café, safra 2017, segundo levantamento, maio de 2017. Brasília, 2017. Disponível em <<http://www.conab.gov.br/>> Acesso em: 14 jun. 2017.

CONSELHO DOS EXPORTADORES DO CAFÉ DO BRASIL – CECAFE. Relatório mensal de exportações, maio de 2017. São Paulo, 2017. Disponível em: <http://www.cecafe.com.br/publicacoes>

CRUZ, F.J.; CHAVES, G.M. Efeito da adubação N, P, K e micronutrientes (F.T.E) na incidência da Ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.). In: **Congresso brasileiro de pragas e doenças do cafeeiro**, Vitória, 1973. Resumos, Rio de Janeiro, IBC-GERCA, 60 p.1973.

CRUZ, F.J. & CHAVES, G.M. Calda Viçosa no controle da ferrugem do cafeeiro. Viçosa. UFV, 1985. 22p.

CUNHA, R.L.; POZZA, E. A.; DIAS, W. P.; BARRETTI, P. B. Desenvolvimento e validação de uma escala diagramática para avaliar a severidade da Ferrugem (*Hemileia vastatrix*) do cafeeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. Resumos. Vitória: Embrapa Café. p. 77-78. 2001.

CUNHA, R. L. da; MENDES, A. N. G.; CHALFOUN, S. M. Controle químico da ferrugem do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) e seus efeitos na produção e preservação do enfolhamento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 990-996, set./out. 2004.

CUNHA, R. L. da C.; MENDES, A. N. G.; CHALFOUN, S. M.; Controle químico da Ferrugem do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) e seus efeitos na produção e preservação do enfolhamento. **Coffee Science**, Lavras, v.7, n.1, p. 42-49, jan./abr. 2012.

DE LIMA, L. M.; POZZA, E.A.; SANTOS, F.S. Relationship between of Brown Eye Spot of Coffee Cherries and the Chemical Composition of Coffee Beans. *Journal of Phytopathology*, 2012

DIAS, K. G. L.; CARMO, D. L DO C, POZZA, A. A. A. POZZA, E. A.; GUIMARAES, P. T. G. Cobre via foliar na nutrição e na produção de mudas de cafeeiro. *Coffee Science*, Lavras, v. 10, n. 4, p. 516 - 526, out./dez. 2015

EPSTEIN, E. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. 341p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. 2. ed. Londrina, PR: Ed. Planta, 2006. Ix 401 p.

FRANCO, I. A. de L; MARTINEZ, H. E. P.; ZABINI, A. V; FONTES P. C. R. Translocação e compartimentalização de Zn aplicado via ZnSO<sub>4</sub> e ZnEDTA nas folhas de cafeeiro e feijoeiro. *Cienc. Rural* vol.35 no.2 Santa Maria Mar./Apr. 2005

FERRANDON, M., CHAMEL, A. Cuticular retention, foliar absorption and translocation of Fe, Mn, and Zn supplied in organic and inorganic forms. *J. Plant Nutrition*, 11: 247-263. 1988.

FERREIRA, M. E., CRUZ, M.C.P. de; RAIJ, B.V. *Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura*. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, p.1039-1042, 2011.

GARCIA, A. Fungicidas I: utilização no controle químico de doenças e sua ação contra os fitopatógenos. Porto Velho: EMBRAPA-CPAF Rondônia (EMBRAPA-CPAF Rondônia. Documentos, 46) 1999. 32p.

GÁRCIA, J. D.; 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.

GRAHAM, R.D.; WEBB, M. J. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants. In: Montvedt JJ, Cox FR, Shuman LM, Welch RM (Eds) *Micronutrients in Agriculture*, 2 ed. Madison, Soil Society of America. Pp. 329-370. 1991.

GONÇALVES, F.G.R; XAVIER, F.O; OLVEIRA, T.F; JUNIOR, J. D. G.; AQUINO, L.A. Aplicação foliar de doses e fontes de cobre e manganês nos teores foliares destes micronutrientes e na produtividade da soja. **Cultura Agronômica**, Ilha Solteira, v.26, n.3, p.384-392, 2017.

GONTIJO, R. A. N. et al. Faixas críticas de teores foliares de micronutrientes em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). *Coffee Science*, Lavras, v. 2, n. 2, p. 135-141, jul./dez. 2007

- HUBER, D. M. Fertilizers and soil borne diseases. *Soil use Manage* 6:168-173. 1990.
- HUBER, D.M. Manejo de la nutrición para el combate de patógenos de plantas. *Agronomía Costarricense, Costa Rica*, v.2, no.1, p.99-102. 1997.
- KIRKBY, R. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. *International Plant nutrition. Informações agronômicas* n° 118, junho, 2007
- KNEPPER, T. P. Synthetic chelating agents and compounds exhibiting complexing properties in the aquatic environment. Elsevier, v.22 p. 708-724, 2003.
- KUSHALAPPA, A. C., AKUTSU, M., LUDWIG, A. Application of survival ratio for monocyclic process of *Hemileia vastatrix* in predicting coffee rust infection rates. ***Phytopathology*** 73,96–103. 1983.
- KUSHALAPPA, A.C., HERNANDEZ, T.A., LEMOS, H.G. Evaluation of simple and complex coffee rust forecasts to time fungicide application. *Fitopatol. Bras.* 11, 515–526. 1989.
- KUSHALAPPA, A. C.; ESKES, A. B. Advances in coffee rust research. ***Annual Review of Phytopathology***, Palo Alto, v. 27, p. 503-531, Sept. 1989.
- LACERDA, J. S. de. Produção, composição química e qualidade da bebida de café arábica em razão da dose de cobre e zinco. **Tese** (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa , 2014, 9CA7p.
- LANA, R.Q.M. Aplicação de aminoácidos macro e micronutrientes (Plantin CaB2, Plantin Plus, Ferty-Mould e Cofermol-Plus) via foliar na soja In: **Relatório Técnico Laboratório Pfizer LTDA**. Uberlândia, MG, PFISER, 2006. p.11.
- LAURIE, S. H., MARTHEY, J. A. The chemistry and role of metal ion chelation in plant uptake processes. In: MANTHEY, J. A.; CROWLEY, D. E.; LUSTER, D. G. **Biochemistry of metal micronutrients in the rizosphere**. Boca raton: Lewis Publisher, 1994. p. 165-182. LOPES, A. S. **Micronutrientes: filosofias de aplicação e eficiência agrônômica**. São Paulo: ANDA, 1999. 72 p. (Boletim Técnico, 8).
- LINDSAY, W.L. & SOMMERS, L.E. Complexation of metals by synthetic chelating agents. In DC Adriano Ed. *Biogeochemistry of Trace metals*. Northwood, Science Reviewers. Pp. 283-303, 1997.
- LOPES, M.V.; PATRÍCIO, F.R.A.; BORBA, R.S.; ALMEIDA, I.M.G.; MACIEL, K.W. Avaliação da eficiência de fungicidas cúpricos no controle da Mancha aureolada (*Pseudomonas syringae* pv. *garcae*) em mudas de cafeeiro. **38° Simpósio Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 2012**.
- LUCENA, J. J. El empleo de complejantes y quelatos en la fertilización de micronutrientes. *Revista Ceres, Madri*, p. 527-535, 2009.

MALAVOLTA, E.; VITTI G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. Avaliação do estado nutricional das plantas, princípios e aplicações. POTAFOS. Piracicaba. BR. 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de Plantas. CERES. São Paulo. 2006 638 p.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London, ENK. Academic Press, 889 p. 1995.

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

MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S. R. A Ferrugem do cafeeiro no Brasil e seu controle. MAPA/PROCAFE, Varginha, 98p. 2006.

MATIELLO, J.B.; ALMEIDA S.R.; CARVALHO, M. L.; BARBOSA C. M. Comparativo de fontes e doses de fungicidas à base de cobre no controle da ferrugem do cafeeiro Araxá, MG, **35º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras.**, 2009

MÁXIMO, G. B.; MACIEL, A. L. de R. Manejo alternativo de Ferrugem e Cercosporiose em *Coffea arabica*. In: **VI Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, 2009.

MONTEIRO, A. C. A. Associação de indutores de resistência para o manejo da Ferrugem do cafeeiro e análise bioquímica da resposta de defesa induzida. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras , 2011.

MORTVEDT, J.J. Micronutrientes in agriculture. Soil Science Society of America, Madison, WI. 1991. 760p.

MORTVEDT, J.J. Tecnologia e produção de fertilizantes com micronutrientes. Presença de elementos tóxicos. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. van; ABREU, C. A. (Eds). Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal, CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.237-253.

NOJOSA, G. B. A. et al. Efeito de indutores de resistência em cafeeiro contra a mancha de Phoma. Summa Phytopathologica, Botucatu, v.35, n.1, p. 60-62, jan/fev, 2009.

OPINIÃO, A. I. B. Caracterização cariológica do fungo *Hemileia vastatrix* responsável pela Ferrugem alaranjada do cafeeiro, Lisboa, Universidade Nova de Lisboa. Dissertação. Março, 2012.

POZZA, A. A. A.; MARTINEZ, H. E. P.; CAIXETA, A. A. C.; ZAMBOLIM, L.; POZZA, E.A. Influencia da nutrição mineral na intensidade da mancha-de-olho-pardo em mudas de cafeeiro pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v.36, n1, p53-60, jan. 2001.

POZZA, E. A.; CARVALHO, V. L. CHALFOUN, S. M. Sintomas de injúrias causadas por doenças em cafeeiro. In: Guimaraes, R. J.; Mendes, A. N. G.; Baliza, D.P. **Semiologia do cafeeiro: Sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas**. Lavras: UFLA, 215 p. 2010.

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**, 12:259-281. (2012a).

RAYNER, R. W. Germination and penetration studies on coffee rust (*Hemileia vastatrix* B. & Br.). **Annals of Applied Biology**, v. 49, p. 497–505, 1961.

RIDE, J. P. The role of cell wall alterations in resistance to fungi. *Annual Applied biology*. 302-306p. 1978.

ROSOLEM, C. A.; FRANCO, G. R.. Translocação de zinco e crescimento radicular em milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 24, n. 4, p. 807-814, 2000.

SAN JUAN, R. C. C.; CAPATO, S. B.; ANDRADE, R. J. O uso de Bayfolan cobre, no manejo da ferrugem do cafeeiro. **42 ° Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 2016**, Serra Negra – SP.

SANTOS, D. M. B.; POZZA, E. A.; POZZA, A. A.; CARVALHO, J.G.; BOTELHO, C.E.; SOUZA, P.E. Intensidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro em função de fontes e doses de silício. **Fitopatologia Brasileira** 30: 582-588. 2005.

SILVA, DA J. A. G.; MONTEIRO A. C. A.; RESENDE, DE M.L.V.; COSTA, B.H.G.; JÚNIOR, P M. R.; M B DA S JUNIOR.; M H L RENNO.; L R VITORINO. Indutores de resistência no manejo da ferrugem do cafeeiro e sua toxicidade aos esporos do patógeno. **VIII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, Salvador – BA, 2013.

SOUZA, A. F.; CAPUCHO, A. S.; BARBOSA, J. C.; VALE, F.X.R.; MANTOVANI, E. C.; ZAMBOLIM, L. Controle integrado da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk e Br.). **Simpósio de Pesquisa de Café do Brasil**, Londrina-PR, 2005.

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

TOMAZELA, A. L.; FAVARIN, J. L.; FANCELLI, A. L.; MARTIN, T. N.; DOURADO NETO, D.; REIS, A. R. dos. Doses de nitrogênio e fontes de Cu e Mn suplementar sobre a severidade da Ferrugem e atributos morfológicos do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 5, n. 2, p. 192-201, 2006.

TOYOTA, M. Extratos vegetais e produtos comerciais no manejo da ferrugem e nos mecanismos da defesa do cafeeiro à cercosporiose. **Dissertação** (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras , 2008.

VALE, F.; ALCARDE, J.C.; Solubilidade e disponibilidade dos micronutrientes em fertilizantes, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, p. 441-451, 1999.

VENEZIANO, W. Controle da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) no estado da Rondônia. **Recomendações técnicas**, n° 12, p. 1-8 . **EMBRAPA**, maio, 1999.

WARD, H. M. Research on the life history of *Hemileia vastatrix*, the fungus of the coffee leaf disease. **Journal of the Linnean Society of London, Botany**, London, v. 19, n. 121, p. 299-335, Aug. 1882b.

YRUELA, I.; Copper in plant. In: Plant Physiology. p.146-156. 2005.

ZAMBOLIM, L.; Fungicidas: benefícios e riscos. **Ação ambiental**, Viçosa, MG, n.5, p. 24-27, 1999.

## ANEXO – A

Tabela 9: Resumo da análise de variância para área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPDI). Quelatos de cobre no controle da Ferrugem do cafeeiro. Lavras, MG, UFLA, 2018.

<b>FONTES DE VARIAÇÃO</b>	<b>G.L</b>	<b>QUADRADOS MÉDIOS</b>
Tratamentos	10	216253.436376*
Blocos	3	32265.081509
Resíduos	30	57551.400525
<b>CV (%)</b>	<b>33,48</b>	

\*Significativo pelo teste de F, 5% de probabilidade.

Tabela 10: Resumo da análise de variância para área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPDS). Quelatos de cobre no controle da Ferrugem do cafeeiro. Lavras, MG, UFLA, 2018.

<b>FONTES DE VARIAÇÃO</b>	<b>G.L</b>	<b>QUADRADOS MÉDIOS</b>
Tratamentos	10	59.884486*
Blocos	3	9.609062
Resíduos	30	12.748982
<b>CV (%)</b>	<b>60,26</b>	

\*Significativo pelo teste de F, 5% de probabilidade.

Tabela 11: Resumo da análise de variância para peso da parte aérea seca. Quelatos de cobre no controle da Ferrugem do cafeeiro. Lavras, MG, UFLA, 2018.

<b>FONTES DE VARIAÇÃO</b>	<b>G.L</b>	<b>QUADRADOS MÉDIOS</b>
Tratamentos	10	13.484795*
Blocos	3	0.231742
Resíduos	30	2.269050
<b>CV (%)</b>	<b>15,58</b>	

\*Significativo pelo teste de F, 5% de probabilidade.

Tabela 12: Resumo da análise de variância para análise foliar do cobre. Quelatos de cobre no controle da Ferrugem do cafeeiro. Lavras, MG, UFLA, 2018.

<b>FONTES DE VARIAÇÃO</b>	<b>G.L</b>	<b>QUADRADOS MÉDIOS</b>
Tratamentos	10	285033.842260*
Blocos	3	3898.964257
Resíduos	30	6482.264895
<b>CV (%)</b>	<b>31,14</b>	

\*Significativo pelo teste de F, 5% de probabilidade.

Tabela 13: Resumo da análise de variância para fotossíntese. Quelatos de cobre no controle da Ferrugem do cafeeiro. Lavras, MG, UFLA, 2018.

<b>FONTES DE VARIAÇÃO</b>	<b>G.L</b>	<b>QUADRADOS MÉDIOS</b>
Tratamentos	10	2.59552 <sup>ns</sup>
Blocos	3	3.141477
Resíduos	30	3.913455
<b>CV (%)</b>	<b>22,64</b>	

<sup>ns</sup>não significativo, 5% de probabilidade

Tabela 14: Resumo da análise de variância para clorofila total diferença entre avaliações. Quelatos de cobre no controle da Ferrugem do cafeeiro. Lavras, MG, UFLA, 2018.

<b>FONTES DE VARIAÇÃO</b>	<b>G.L</b>	<b>QUADRADOS MÉDIOS</b>
Tratamentos	10	0.000199 <sup>ns</sup>
Blocos	1	0.002012
Resíduos	87	0.000192
<b>CV (%)</b>	<b>27,85</b>	

<sup>ns</sup> não significativo, 5% de probabilidade

Tabela 15: Resumo da análise de variância para clorofila total. Quelatos de cobre no controle da Ferrugem do cafeeiro. Lavras, MG, UFLA, 2018.

<b>FONTES DE VARIAÇÃO</b>	<b>G.L</b>	<b>QUADRADOS MÉDIOS</b>
Tratamentos	10	0.000092 <sup>ns</sup>
Blocos	3	0.000020
Resíduos	30	0.000099
<b>CV (%)</b>	<b>22,20</b>	

<sup>ns</sup> não significativo, 5% de probabilidade

Tabela 16: Resumo da análise de variância para teste de germinação de urediniósporos de *Hemileia vastatrix*. Quelatos de cobre no controle da Ferrugem do cafeeiro. Lavras, MG, UFLA, 2018.

<b>FONTES DE VARIAÇÃO</b>	<b>G.L</b>	<b>QUADRADOS MÉDIOS</b>
Tratamentos	10	1671.872727 <sup>ns</sup>
Blocos	3	20.765152
Resíduos	30	18.398485
<b>CV (%)</b>	<b>23,16</b>	

<sup>ns</sup> não significativo, 5% de probabilidade