

EDUARDO GRANADOS BRENES

**RESÍDUOS DE FUNGICIDAS EM FOLHAS DE CAFEIRO,
SUBMETIDOS À PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA, NO
CONTROLE DA FERRUGEM**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

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

T

G748r
2018 Granados Brenes, Eduardo, 1987-
Resíduos de fungicidas em folhas de cafeeiro, submetidos à
precipitação pluviométrica, no controle da ferrugem / Eduardo Granados
Brenes. - Viçosa, MG, 2018.
viii, 57 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Laércio Zambolim.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. *Hemileia vastatrix*. 2. *Coffea arabica*. 3. Chuvas. 4. Ferrugem-do-
cafeeiro - Controle. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Fitopatologia. Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia. II. Título.

CDD 22. ed. 632.492

EDUARDO GRANADOS BRENES

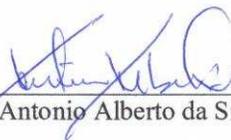
**RESÍDUOS DE FUNGICIDAS EM FOLHAS DE CAFEIRO,
SUBMETIDOS À PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA, NO
CONTROLE DA FERRUGEM**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

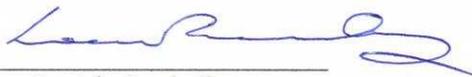
APROVADA: 17 de julho de 2018.



Jorge Luis Badel Pacheco



Antonio Alberto da Silva



Laercio Zambolim
(Orientador)

Ao meu esposa Laura e meu filho Santiago

Ao meu família

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo o d[omi]nio da minha vida e pelas for[ca]s nos momentos dif[ic]eis do caminho.

A meu esposa Laura e meu filho Santiago, pelo apoio, companhia, compreens[ã]o e sustem, pelas palavras de apoio nos momentos de angustia.

A mi fam[il]ia Granados Brenes y Rojas Murillo, pela ajuda e motiva[ç]ão em tudo momento a pesar da dist[â]ncia.

A Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós Gradua[ç]ão em Fitopatologia, pela oportunidade de realizar meus estudos

A Universidade de Costa Rica, pela bolsa brindada para poder realizar meus estudos de post gradua[ç]ão.

Ao professor Dr. La[er]cio Zambolim, pela orienta[ç]ão e confian[ça] em mim depositada.

A todos meus amigos do laborat[ó]rio de Prote[ç]ão de Plantas, pela ajuda e companhia, por fazer os momentos dif[ic]eis mais fáci[is].

A os funcion[á]rios Sergio Milagres e Sr. Geraldo, pelas facilidades brindadas para a execu[ç]ão dos trabalhos.

A mi amiga Renata, pela paci[ên]cia, ajuda e conselhos em todos os momentos.

A os professores e funcion[á]rios do Departamento de Fitopatologia pela forma[ç]ão brindada e as ajudas brindadas.

A todos meus amigos e familiares que de uma ou outra maneira contribu[í]ram tanto em Costa Rica como em Brasil, para meu crescimento profissioal e pessoal.

Muito Obrigado!!

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIA	5
CAPÍTULO I	6
1. INTRODUÇÃO	9
2. MATERIAL E MÉTODOS	12
2.1. Preparo mudas de café e multiplicação ferrugem	12
2.2. Testes de germinação	12
2.3. Aplicação dos produtos	12
2.4. Simulação de chuva	13
2.5. Técnica de inoculação	14
2.6. Experimentos	14
2.7. Avaliação da severidade	15
2.8. Delineamento Experimental	15
3. RESULTADOS	15
4. DISCUSSÃO	19
REFERÊNCIAS	23
CAPÍTULO II	27
1. INTRODUÇÃO	32
2. MATERIAL E MÉTODOS	35
2.1. Material vegetal	35
2.2. Produção de inoculo de <i>Hemileia vastatrix</i>	35
2.3. Teste de germinação	36
2.4. Aplicação dos produtos químicos	36
2.5. Simulação da chuva	36
2.6. Preparo dos discos de folhas	37
2.7. Teste de inoculação	38
2.8. Análise de retenção de cobre nas folhas	38
2.9. Determinação do porcentagem de controle de ferrugem do cafeeiro	38
2.10. Avaliação da severidade	38

2.11. Experimento 1. Efeito da chuva na retenção de cobre nas folhas aplicando uma mistura de adjuvantes.....	39
2.12. Experimento 2. Efeito dos tratamentos que apresentaram retenção de cobre igual ou superior a 30%, após as folhas serem submetidas a chuva, no controle da ferrugem do cafeeiro.	40
3. RESULTADOS	40
4. DISCUSSÃO	47
REFERÊNCIAS	54

RESUMO

GRANADOS BRENES, Eduardo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2018. **Resíduos de fungicidas em folhas de cafeeiro, submetidos à precipitação pluviométrica, no controle da ferrugem.** Orientador: Laercio Zambolim

A ferrugem do cafeeiro causada pelo fungo *Hemileia vastatrix* vem causando grandes perdas na cafeicultura ao longo dos anos. O controle químico envolvendo fungicidas sistêmicos e protetores tem sido uma ferramenta importante, visando controle eficiente e evitando o surgimento de mutantes resistentes, na população do fungo aos fungicidas sistêmicos. Dentro os produtos mais utilizados, destacam-se os fungicidas cúpricos, preventivamente por sua eficiência, na inibição da germinação dos esporos; quando a incidência atinge 5 %, nos anos de alta carga de frutos pendentes nas plantas, torna-se necessário a utilização de fungicidas sistêmicos. A ocorrência de chuva tem efeito direto no sucesso do controle, pois pode alterar a dinâmica dos fungicidas na superfície foliar. Neste trabalho foi avaliado os efeitos e ocorrências de chuvas após aplicação de fungicidas sistêmicos e protetores, em folhas de cafeeiro, no controle da ferrugem. Foram realizados dois experimentos em casa de vegetação, onde as folhas destacadas de *Coffea arabica* var. Caturra foram submetidas a uma chuva de 30 mm. No primeiro teste avaliou-se fungicidas sistêmicos (epoxiconazole + piraclostrobina), hidróxido de cobre, sulfato de zinco e ácido bórico, misturados e sozinhos, utilizando a dose comercial. As folhas foram atomizadas e em seguida submetidas a chuva. No primeiro experimento aguardou-se 30 minutos para a aplicação da chuva. Os melhores resultados foram aqueles que continham (epoxiconazole + piraclostrobina) + hidróxido de cobre, onde a severidade foi praticamente zero Independente do tempo de chuva após pulverização dos tratamentos. Concluiu-se que a aplicação destes fungicidas, mesmo após serem submetidos a chuva, teve controle eficiente da doença. No segundo experimento foi avaliado o oxiclreto de cobre adicionado adjuvantes. Com ocorrência de chuva de 30 mm após os tempos zero, 30, 120 e 480 minutos, depois da pulverização. Os tratamentos mais eficientes foram onde houve a mistura de oxiclreto de cobre 3,0 kg há⁻¹ + OM a 0,75%, demonstrando maior retenção na superfície da folha e maior controle da doença. Os menos eficientes foram aqueles que tinham oxiclreto de cobre + PAFE a 0,10% e 0,20%. Conclui-se que o uso de adjuvantes, pode favorecer

a tenacidade e eficiência dos produtos, tendo em consideração a formulação do fungicida.

ABSTRACT

GRANADOS BRENES, Eduardo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2018. **Fungicide residues in lives of coffee trees, submitted to rainfall, in the control of rust.** Adviser: Laercio Zambolim

Coffee rust, caused by the fungus *Hemileia vastatrix*, has been causing significant yield losses of coffee crop over the years. Chemical control involving systemic curative and protective fungicides have been considered important tools, aiming the effective control and avoiding the emergence of resistant mutants in the fungal population to systemic fungicides. Among the most commonly used products, copper fungicides are prominent due to their preventative and efficient mode of action in inhibiting spore germination; when the incidence reaches 5% in the years of high pending fruits' load, the use of systemic fungicides becomes necessary. In addition, rain has a direct impact on the management success due to the removal of deposits of products on the leaf surface. Thus, the objective of this study was to evaluate the retention time of systemic and protective fungicide residues on coffee leaves submitted to rain, aiming the control of rust. Two experiments were carried out, in which leaves of *Coffea arabica* var. Caturra were subjected to a 30-mm rainfall treatment. The first assay employed systemic fungicides (epoxiconazole + pyraclostrobin), copper hydroxide, zinc sulfate, and boric acid, mixed and alone, using the commercial dose. The leaves were atomized and then exposed to precipitation regime. In the first experiment, we allowed 30 minutes before the rainfall application. The best results were those containing (epoxiconazole + pyraclostrobin) + copper hydroxide, in which the severity was practically zero. Therefore, the application of these fungicides, even after being submitted to rain, showed effective control over the disease. Copper oxychloride added to the OM and PAFE was used in the second trial. 30-mm rainfall was applied after the times zero, 30, 120, and 480 minutes, respectively after spraying. The most efficient treatments were the mixture of copper oxychloride + OM at 0.75 %, showing greater retention at the leaf surface and greater control of the disease. The least efficient were those having copper oxychloride + 0.10% and 0.20% PAFE. To conclude, the use of mineral oil adjuvant may favor the tenacity and efficiency of the product, taking into account the formulation of the fungicide.

INTRODUÇÃO GERAL

A ferrugem do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) causada por *Hemileia vastatrix* Berk. et Br., foi identificada atacando o cafeeiro em 1869, no Sri Lanka (Zambolim et al., 1997). No Brasil, essa doença foi identificada em 1970 no Estado da Bahia (Chaves et al., 1970). Entre tantos quatro meses após sua identificação já estava disseminada todas as regiões produtoras de café do Brasil, inclusive para as regiões onde se cultiva o café canéfora. Do Brasil a ferrugem disseminou-se para todos os países cafeicultores da América do Sul, México e América Central (McCook, 2006, 2009).

Na ausência de medidas de controle, a ferrugem do cafeeiro pode causar perdas da ordem de 35 a 50 % no Brasil. Nos anos de 2012 a 2014, na América Central a ferrugem causou prejuízos de 25 a 60 % nas produtividades das lavouras, nos países produtores de café arábica, notadamente na Nicarágua, El Salvador, Guatemala e Panamá. De acordo com os dados de PROMECAFÉ, o efeito da ferrugem à cafeicultura regional, no ano-safra de 2012/13 foi estimado em 2,7 milhões de sacas, custando à região cerca de US\$ 500 milhões. Em média, mais de 50% de todo o parque cafeeiro da América Central foram afetado pela doença. As taxas de incidência da doença foram as seguintes: El Salvador 74%, Guatemala 70%, Costa Rica 64%, Nicarágua 37% e Honduras 25% (Avelino et al., 2015).

Os danos causados pela ferrugem do cafeeiro, sempre ocorrem no ano posterior ao da alta carga de frutos nas plantas, devido a desfolha ocasionada pela doença, após a colheita no ano anterior (Avelino, 2004; Zambolim 2016).

Além das perdas econômicas pelo fungo da ferrugem do cafeeiro, também se observa-se impacto social significativo. Isto ocorre porque a maior parte do café da América Central é cultivada por pequenos cafeicultores, para os quais será difícil absorver as perdas estimadas. Segundo se estima, por volta de 374.000 empregos desapareceram em 2012/13 devido à ferrugem, pois a mão de obra usada para a colheita não seria necessária. Além disso, em muitas áreas a perda de receita pelos cafeicultores teve reflexo na segurança alimentar. Em termos do mercado cafeeiro mundial, a América Central (excluindo o México) produziu 15,8 milhões de sacas em 2011/12, respondendo cerca de 12% da produção mundial. As perdas estimadas para 2012/13, com um volume estimativo de 2,7 milhões de sacas, representariam uma queda de

17,1% em relação ao ano anterior. (Avelino 2015). Os danos da ferrugem, nos países da América Central foram causados por vários fatores, dentre os quais destacam-se: cultivo de variedades Caturra e Bourbon altamente suscetíveis a ferrugem e cultivadas extensivamente, clima favorável (chuvas intensas e contínuas, temperatura mínima alta), adensamento de plantas no campo, lavouras formadas sob sombra, e desequilíbrio nutricional em mais de 50% das lavouras. O sombreamento do cafeeiro nos países da América Central, também é um fator que favorece a infecção da ferrugem o ano todo. Aliados a esses fatos, o regime de chuva é superior a 1500 mm por ano e raramente são efetuadas pulverizações para o controle da ferrugem (Zambolim¹).

As ferrugens têm uma série de características que os diferenciam dos demais fungos, entre elas destacam-se o carácter holobiótico (parasitos obrigatório), alta especificidade com seus hospedeiros e ciclos de vida complexos (Zuluaga et al. 2008). Em se tratando do ciclo da ferrugem do cafeeiro, são conhecidos os estádios de urédia - uredosporos ($n+n'$), télia - teliosporos ($2n$) e basídio – basidiósporos (n); entretanto, não se conhece a função dos basidiósporos no ciclo da ferrugem. Portanto os uredosporos são considerados os conídios das ferrugens e os responsáveis pela disseminação do fungo a pequena e longas distâncias (Chaves et al. 1970).

Em se tratando da variabilidade genética, estudo realizado por Carvalho et al., (2011) constatou que no ciclo do fungo ocorre o que se denomina de criptogamia, onde os uredosporos funcionam como se fossem teliosporos.

O processo de germinação dos uredosporos, inicia nas folhas na face abaxial na presença de água no estado líquido (orvalho) e inicia a penetração nos estômatos pela formação de apressório e hifa de penetração. Em seguida ocorre a infecção e colonização dos tecidos da folha e, posteriormente surgem os sintomas e sinais que são as urédias e uredosporos do fungo. O período latente do fungo em condições de sol, em campo varia de 25 a 35 dias, dependendo da temperatura. Sob condições de sombreamento, como nos países cafeicultores da América Central o período latente pode ser menor devido à baixa amplitude de temperatura nas lavouras pelo efeito da sombra (Romero, 2010; Avelino, 2015).

¹ Comunicação pessoal, Viçosa, Minas Gerais, 2017.

A estratégia mais importante para o controle da ferrugem é o emprego de variedades resistentes (Zambolim, 2016). Entretanto, como no Brasil e na maioria dos países da América Central cultiva-se variedades suscetíveis (Catuaí, Bourbon, Caturra e Mundo Novo) tornando-se necessário o emprego do controle químico. Dentre os produtos químicos que apresentam grande eficiência no controle da ferrugem, destacam-se os produtos de ação preventiva como a calda bordalesa, fungicidas inorgânicos (oxicloreto, hidróxido, óxidos e sulfatos de cobre); dentre os fungicidas sistêmicos destacam-se os triazóis e as estrobilurinas (Zambolim, 2016).

Não tem sido detectadas diferenças no controle da ferrugem quando se comparam as diferentes fontes de fungicidas cúpricos (Rivillas et al., 2011; Zambolim, 2016).

Os fungicidas cúpricos são recomendados em anos de alta carga de frutos nas plantas preventivamente; já os sistêmicos quando a incidência da doença atingir 5 %. Entretanto, num programa de controle da ferrugem é imprescindível o emprego dos fungicidas cúpricos, devido a várias razões: o elemento cobre é considerado nutriente quase essencial ao cafeeiro e, pelo fato dos fungicidas cúpricos impedirem o surgimento de resistência na população de *Hemileia vastatrix*, em programas de controle envolvendo fungicidas sistêmicos (Souza et al. 2011; Avelino et al. 2015; Zambolim, 2016).

Dentre os fungicidas sistêmicos destacam-se os triazóis que devem ser aplicados em formulação com as estrobilurinas ou com os cúpricos (Rivillas et al., 2011; Zambolim, 2016). Os triazóis mais empregados no controle da ferrugem são o ciproconazole e o epoxiconazole; as estrobilurinas mais empregadas são azoxystrobina e piraclostrobina.

Um dos problemas no controle da ferrugem tanto no Brasil quanto na América Central por meio de pulverizações é o fato das aplicações coincidir com a época das chuvas. Fato é importante porque o depósito dos produtos quer sejam fungicidas protetores ou sistêmicos e estrobilurinas estão sujeitas a remoção pela ação da chuva.

Como estratégia de controle da ferrugem e do manejo da resistência da população de *H. vastatrix*, a recomendação é utilizar formulações em mistura, envolvendo fungicidas triazóis + estrobilurinas, estrobilurinas + cúpricos ou triazóis +

cúpricos. Há também a possibilidade de se empregar fungicidas cúpricos, isoladamente de modo preventivo, isto é antes do surgimento dos sintomas da doença. Em ambos os casos envolvendo misturas ou somente cúpricos, há que se levar em consideração as condições de precipitação pluvial nas pulverizações. Dessa forma, torna-se necessário avaliar, o intervalo de tempo entre a aplicação dos fungicidas versus a precipitação de chuva, na superfície foliar para se obter o controle da ferrugem do cafeeiro.

Diante desses fatos, o objetivo geral desse trabalho foi conhecer os efeitos de fungicidas protetor e sistêmico, no controle do ferrugem, quando submetidos a uma chuva de 30 mm, em diferentes intervalos após aplicação de fungicidas.

Os objetivos específicos foram:

1. Avaliar a retenção de fungicidas cúpricos e adjuvantes, submetidos a chuva de 30 mm em diferentes intervalos de tempo após aplicação dos produtos;
2. Avaliar o efeito de fungicida triazol + estrobilurina no controle da ferrugem do cafeeiro, submetido a uma intensidade de chuva simulada de 30mm após pulverização dos produtos;
3. Avaliar o efeito da chuva simulada de 30 mm, nos resíduos de fungicidas nas folhas de cafeeiro e seu efeito no controle da ferrugem.

REFERÊNCIA

- Avelino, J.; Cristancho, M.; Georgiou, S.; Imbach, P.; Aguilar, L.; Bornemann, G.; Läderach, P.; Anzueto, F.; Hruska, A.J.; Morales, C. 2015. The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. Food Sec. DOI: 10.1007/s12571-015-0446-9.
- Avelino, J.; Willocquet, L.; Savary, S. 2004. Effects of crop management patterns on coffee rust epidemics. Plant Pathol. 53: 541-547.
- Carvalho, C.; Fernández, R.; Méndez, G.; Barreto, R.; Evans, H. 2011. Crypto sexuality and the genetic diversity paradox in Coffee rust, *Hemileia vastatrix*. Plos One. Volume 6. Issue 2.
- Chaves, G.M. 1970. A ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.). Seiva, Viçosa, MG, v. 30, p. 1-76. Edição especial.
- Mc Cook, S. 2009. LA Roya del café en Costa Rica: Epidemias, innovación y medio ambiente, 1950-1995. Revista Historia. 59-60: p. 99-117.
- Mc Cook, S. 2006. Global rust belt: *Hemileia vastatrix* and the ecological integration of word coffee production since 1850. Journal of Global History. p177-195.
- Rivillas, C.; Serna, C.; Cristancho, M.; Gaitán, A. 2011. La roya del cafeto en Colombia: Impacto, manejo y costo de control. Boletín técnico. Cenicafé 36:1-51
- Romero, A. 2010. Efecto de los sistemas agroforestales del café y del contexto del paisaje sobre la roya (*Hemileia vastatrix*), broca (*Hypothenemus hampei*), y los nematodos (*Meloidogyne* spp.) con diferentes certificaciones en la provincia de Cartago, Costa Rica. CATIE, Turrialba. 102p.
- Souza, A.F.; Zambolim, L.; Cecon, P.R. 2011 Chemical approaches to manage coffee leaf rust in drip irrigated trees. Austral Plant Pathol 40: 293–300
- Zambolim, L. 2016. Current status and management of coffee leaf rust in Brazil. Tropical Plant Pathology, v. 41:1, p.1-81.
- Zambolim, L., Vale, F.X.R., Pereira, A.A. & Chaves, G.M. 1997. Café (*Coffea arabica* L.), controle de doenças causadas por fungos, bactérias e vírus. In: Vale, F.X.R. & Zambolim, L. (Eds.) Controle de doenças de plantas. Viçosa, Minas Gerais. Suprema Gráfica e Editora. pp.83-180.
- Zuluaga, C.; Buritica, P.; Marín, M. 2008. Generalidades de los uredinales (fungi: Basidiomycota) y sus relaciones filogenéticas. Acta Biológica. Colombia. 14. 1:41-56.

CAPÍTULO I

Efeito de fungicidas sistêmicos e cúpricos aplicados em diferentes tempos antes da simulação de chuva, no controle da ferrugem do cafeeiro

RESUMO

O controle químico envolvendo fungicidas do grupo dos triazóis e estrobilurinas é importante no controle da ferrugem do cafeeiro. Devido ao fato da aplicação ser feita no período de chuva, torna-se necessário estudar a resistência do depósito do ingrediente ativo. O objetivo foi estudar, o tempo entre a aplicação de fungicida triazol + estrobilurina + cúpricos + micronutrientes em mistura e isoladamente e a remoção dos depósitos pela chuva de 30 mm, no controle da ferrugem do cafeeiro. Os produtos foram empregados na dose comercial, sendo o hidróxido de cobre na dose de 2 g L⁻¹, epoxiconazole + piraclostrobina 1,5 L ha⁻¹, ácido bórico 2 g L⁻¹ e o sulfato de zinco 4 g L⁻¹ e quatro tempos diferentes de simulação de chuva após pulverização. Foram realizados dois experimentos, no primeiro aguardou-se 30 minutos, após a aplicação dos tratamentos foram submetidos a chuva; no segundo experimento, aplicou-se os produtos e aguardou-se os tempos sem chuva de zero, 30, 120 e 480 minutos. Foi avaliado severidade e área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. No primeiro experimento, houve diferenças significativas entre os tratamentos e a testemunha; os melhores resultados foram os que continham (epoxiconazole + piraclostrobina) + hidróxido de cobre onde a severidade e a AACPD foram zero. No segundo experimento no tempo zero, o controle da ferrugem foi total (0,0 % severidade) em os tratamentos que envolveram epoxiconazole + piraclostrobina, excetuando-se quando foi adicionada a essa mistura o ácido bórico e o sulfato de zinco. Entretanto, após 30, 120 e 480 minutos da aplicação, o controle da ferrugem foi total. Conclui se que a mistura de triazol + estrobilurina proporciona controle eficiente na ferrugem do cafeeiro, submetidos a chuva, mesmo após a pulverização. A mistura de hidróxido de cobre com triazol + estrobilurina + ácido bórico + sulfato de zinco é uma mescla, que além de eficiente no controle da ferrugem ainda atua dificultando o surgimento de mutantes resistentes na população de *H. vastatrix*.

ABSTRACT

The chemical control involving fungicides of the triazoles and strobilurins group is important in the control of coffee leaf rust. Because the application is made during the rainy period, it is necessary to study the resistance of the deposit of the active ingredient of the chemicals. The objective of this work was to study the effect of rain on the removal of residual, systemic fungicides and nutrients on coffee leaves and how it correlate with leaf rust. The treatments employed in a comercial dose were: copper hydroxide 2 g L⁻¹, epoxiconazole + pyraclostrobin 1.5 L ha⁻¹, boric acid 2 g L⁻¹ and zinc sulfate 4 g L⁻¹. In all the two experiments performed, it was study the effect of rain on the removal of fungicides residues and their effect on coffee leaf rust. In the first experiment, 30 mm of rain was applied after 30 minutes of the application of the treatments. In the second experiment, 30 mm of rain was applied after zero, 30, 120 and 480 minutes, respectively. In the first experiment, there were significant differences between the treatments and the control; the best results were obtained with the products (epoxiconazole + pyraclostrobin) + copper hydroxide with severity and the AACPD zero (absence of disease). In the second experiment at the time zero, rust control was completely (0.0% severity) in the treatments epoxiconazole + pyraclostrobin, except when boric acid and zinc sulfate were added to this mixture. However, after 30, 120 and 480 minutes of application it was obtained 100 % control. It was concluded that the triazole + strobilurin mixture provides efficient control of coffee rust, subjected to rain, even after spraying. The association of copper hydroxide with triazole + strobilurin + boric acid + zinc sulfate is an efficient mixture in the control of coffee leaf rust.

1. INTRODUÇÃO

A cultura do café ao longo dos anos vem apresentado uma série de doenças que tem provocado severos danos na cafeicultura de diversos países. Dentre essas doenças a ferrugem do cafeeiro causada por *Hemileia vastatrix*, causa prejuízos a cultura por mais de 150 anos nos trópicos (Talhinhas et al., 2017).

No Sri Lanka em 1869, a cultura do café foi substituída por chá, devido a epidemia da ferrugem (Zambolim et al., 1997). Em 1970 a ferrugem foi identificada no Brasil e atualmente causa de 35 a 50 % de perdas na produção (Zambolim 2016). A epidemia da ferrugem na América Central foi uma das piores que ocorreu nos países produtores nos anos 2010 a 2015. O efeito da ferrugem à cafeicultura regional da América Central no ano safra de 2012/13 foi estimado em 2,7 milhões de sacas, custando à região cerca de US\$500 milhões. Em média, mais de 50% de todo o parque cafeeiro da América Central foram afetados pela doença. As taxas de incidência da doença foram as seguintes: El Salvador 74%, Guatemala 70%, Costa Rica 64%, Nicarágua 37% e Honduras 25% (Avelino et al., 2015).

A doença causa queda de folhas precocemente o que ocasiona seca de ramos produtivos e dos frutos. Conseqüentemente no ano seguinte, as plantas apresentam baixa carga de frutos (Avelino et al. 2015; Zambolim, 2016).

Como no Brasil, existe grande variabilidade fisiológica na população do patógeno, condições climáticas favoráveis e variedades de café arábica cultivada altamente suscetíveis à ferrugem (Mundo Novo, Bourbon e Catuaí) o emprego do controle químico da doença torna-se necessário visando reduzir o impacto da doença na produtividade. A eficiência do controle está associada a aderência, tenacidade, persistência, tecnologia de aplicação utilizada e estratégias anti-resistência dos fungicidas nas folhas (Santos et al., 2002; Zambolim, 2016). A quantidade de produto que adere à folha durante a pulverização e a quantidade de material que permanece na folha após a ação de intempéries são os principais fatores que determinam a quantidade de resíduo ativo nas superfícies foliares para um efetivo controle dos patógenos (Rich, 1954). A chuva é considerada como o maior removedor de depósitos fungicidas sobre a superfície foliar (Oliveira et al., 2002).

A aplicação foliar de fungicidas é um processo crítico na agricultura moderna. Um dos fatores para o sucesso do tratamento fitossanitário, depende da retenção de ingrediente ativo na folha e da resistência a fatores adversos como a chuva. A retenção e a tenacidade são influenciadas por características físico-químicas da superfície da folha, que podem ser intrínsecas de cada cultura ou cultivar (Reynolds et al., 1994).

Vários fatores afetam a relação da chuva com os agroquímicos, mas os mais importantes são a intensidade da chuva, quantidade da chuva, intervalo de tempo entre o tratamento e a chuva, a formulação comercial dos fungicidas, a solubilidade do produto em água e o tipo de cultura (Cabras et al., 2001; Green, 2001; Capucho et al., 2013a).

Portanto, fungicidas protetores multi-sítios, sempre devem ser recomendados no controle da doença, em mistura ou alternados com fungicidas sistêmicos, visando minimizar ou até mesmo eliminar o risco de surgimento de mutantes resistentes na população do fungo (Chalfoun et al., 1999; Zambolim, 2016; Souza et al., 2017). Evitar o surgimento da resistência na população dos fungos fitopatogênicos a fungicidas foi e continua sendo um grande desafio na cafeicultura (Staub e Sozzi, 1984; Zambolim, 2016).

A partir do surgimento dos fungicidas sistêmicos, principalmente do grupo dos triazóis, na década de 1980, cuja sistemicidade revolucionou a agricultura, proporcionando opções mais avançadas para o controle eficaz de fungos causadores de ferrugens, tem sido uma ferramenta muito importante para a cafeicultura mundial (Garcia, 1999). Fungicidas do grupo dos triazóis e estrobilurinas tem sido muito importantes nos últimos dez anos no controle de doenças do cafeeiro. A mistura dos dois grupos de fungicidas, quando são empregados no controle da ferrugem do cafeeiro, dificulta o surgimento de mutantes resistentes na população de *H. vastatrix*, pelo fato dos triazóis, inibidores da demetilação (DMI), atuarem na redução da biossíntese do ergosterol (Koller; Scheinplug, 1987) e, as estrobilurinas que são inibidores extracelulares de quinona (QoI), atuarem no complexo III, da cadeia transportadora de elétrons, na mitocôndria, impedindo a produção de ATP (Bartlet, 2002). Além disso, a formulação dos dois grupos de fungicidas (triazol + estrobilurina) são mais eficientes do que os produtos isoladamente (Zambolim, 2016).

Os fungicidas triazóis são recomendados no controle da ferrugem do cafeeiro, baseados na incidência da doença e ou nas condições climáticas e carga pendente dos frutos nas plantas (Souza et al., 2011). Em anos de alta carga pendente de frutos nas plantas, os primeiros sinais de *H. vastatrix* são observados na face inferior das folhas do cafeeiro, em novembro/dezembro atingindo o pico em junho/julho. O intervalo de aplicação em geral varia de 60 a 75 dias (Souza et al., 2011; Zambolim, 2016). Entretanto, como no Brasil as aplicações são feitas na estação chuvosa, de dezembro a março/abril, há sempre a possibilidade do depósito do produto, ser removido a tal ponto, que o controle da ferrugem seja ameaçado. O tempo de penetração dos fungicidas sistêmicos (triazóis) nos tecidos foliares é crucial no controle de doenças e é variável em função de inúmeros fatores, mas que em geral varia de 30 minutos a duas horas em cafeeiro.

Como o controle das doenças do cafeeiro deve sempre ser integrado, visando atingir a ferrugem e outras doenças importantes do cafeeiro como a mancha de olho pardo e mancha aureolada deve-se sempre adotar também estratégias anti-resistência, visando a prevenção do surgimento de mutantes resistentes, na população dos patógenos. Além disso, no controle integrado tem por objetivo também a correção de deficiências nutricionais de microelementos como zinco, cobre, boro e até manganês, considerados importantes ao cafeeiro. Daí a importância de se estudar misturas de produtos que são empregados na cultura do cafeeiro, como os fungicidas triazóis, estrobilurinas, cúpricos e micronutrientes boro e zinco. Não se tem conhecimento na literatura disponível, o efeito da precipitação pluviométrica, na remoção dos resíduos de fungicidas triazóis, formulados com estrobilurinas, cúpricos e de micronutrientes no controle da ferrugem do cafeeiro.

Diante desses fatos, o objetivo desse trabalho foi estudar o efeito do tempo entre a aplicação do fungicida triazol + estrobilurina + cúpricos + micronutrientes em mistura e isoladamente e a remoção dos depósitos por uma chuva de 30 mm, no controle da ferrugem do cafeeiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1.Preparo mudas de café e multiplicação ferrugem

Em todo os experimentos foram empregados mudas de *Coffea arabica* cv. Caturra devido a sua alta suscetibilidade a ferrugem do cafeeiro. A multiplicação do inóculo de *Hemileia vastatrix* foi feita em mudas de café, com alto vigor vegetativo com três meses de idade, mantidas em casa-de-vegetação com temperatura variando de 23 a 25 °C. e umidade relativa de 60 a 80 %. Cerca de 50 mg de uredosporos do fungo da raça II provenientes da coleção do Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Viçosa foram inoculados com auxílio de pincel de camelo número 2, em folhas de mudas de café, da variedade Caturra, com 3 meses de idade. Setenta e duas horas após a incubação em câmara de nevoeiro (temperatura 22 °C e umidade relativa próxima a 100 %), as plantas foram transferidas para câmara de incubação com temperatura de 22 °C, onde permaneceram por 30 dias para multiplicação dos uredosporos. Parte dos uredosporos foram armazenados em freezer a -80 °C, visando preservação a longo prazo, e parte foram acondicionados em capsulas de gelatina, dentro de beaker de 50 mL de capacidade, no interior de dessecador a 5°C, com umidade relativa de 50% (Zambolim e Chaves, 1974).

2.2. Testes de germinação

Os testes de germinação dos uredosporos antes do emprego nos testes foram realizados em placas de ágar-água a 1%. Os uredosporos foram espalhados com ajuda de um pincel de pelo de camelo número 2 e logo após foram colocados em câmara escura por 24 horas a uma temperatura de 22 °C. A contagem dos esporos germinados e não germinados foram sob microscópio estereoscópico, considerando germinados aqueles que tinham tubo germinativo e alcançava o dobro do diâmetro dos uredosporos.

2.3.Aplicação dos produtos

Os produtos foram preparados para um volume de 500 mL, baseados nas doses comerciais, visando a atomização das folhas destacadas de café. As folhas foram pulverizadas na face abaxial, no interior de casa de vegetação, até o ponto de escorrimento.

2.4. Simulação de chuva

Utilizou-se um simulador de chuva (Figura 1), especialmente projetado para representar uma chuva ou irrigação. Este aparelho possibilita a simulação de lâminas de chuva mediante o uso de pontas de pulverização especiais, com jato plano e gotas grossas. O equipamento fornece diferentes intensidades de chuva em determinado tempo e foi calibrado para fornecer uma chuva de 30mm (Silva et al., 2014; Faustino et al., 2015; Perreira et al., 2017). A aplicação foi feita a noite com temperatura variando entre 20 a 22 °C, umidade relativa em torno de 50%, na ausência de sol e vento.



Figura 1. Simulador de chuva utilizado no experimento. (A) Bicos de simulação de chuva. (B) Controle e ajuste velocidade dos bicos. (C) Mesa de pulverização. (D) Folhas de café. (E) Reservatório de água e controle da pressão.

2.5. Técnica de inoculação

Em todos os experimentos foram utilizados discos de folhas, oriundas de mudas de café, com três meses de idade. Empregou-se folhas desenvolvidas que não apresentavam nenhum sintoma de injúria e de deficiência nutricional. Quatro discos foram retirados do centro das folhas, sendo dois de cada lado da nervura principal. A remoção dos discos foram feitas com auxílio de um furador de rolhas com 2,0 cm de diâmetro.

A inoculação foi feita espalhando-se cerca de 1,0 mg de uredosporos, com germinação acima de 45 %, com auxílio de um pincel de camelo número 2, em cada disco de folha de café com 2,0 cm de diâmetro, da variedade Caturra (Esques 1982). Dezesesseis discos de folhas inoculados por tratamento foram depositados, com a face abaxial para cima, sobre tela de aço inoxidável em caixa de plástico (12 x 12 x 3,0 cm) e borrifados com água destilada esterilizada. As caixas plásticas foram incubadas em câmara escura 48 horas (22 ± 2 °C). Posteriormente foram levadas para câmara de incubação, com foto-período de 12 horas luz/escuro, com temperatura controlada para 22 ± 2 °C, permanecendo por 45 dias até a leitura final da presença ou não de uredosporos.

Os tratamentos empregados, para estudo da retenção dos produtos nas folhas do cafeeiro, em ambos experimentos visando avaliar o controle da ferrugem estão na Tabela 1.

2.6. Experimentos

No experimento 1, após a pulverização dos produtos químicos, aguardou-se 30 minutos, para que fosse aplicada uma chuva simulada de 30 mm. Logo após, as folhas foram secas a temperatura ambiente até não se observar mais água visível na face abaxial. Posteriormente os discos foram removidos das folhas com um furador de rolhas e colocados sobre tela de nylon em caixas de plástico visando a inoculação dos uredosporos de *H. vastatrix* 24 horas após a simulação da chuva.

No experimento 2, chuva de 30 mm foi simulada e aplicada nos tempos zero, 30, 120 e 480 minutos, respectivamente após a pulverização dos produtos químicos. Após cada simulação de chuva, as folhas foram secas a temperatura ambiente até não se observar mais água visível na face abaxial. Posteriormente os discos foram

removidos das folhas e colocados sobre tela de nylon em caixas de plástico, com a face abaxial para cima, visando a inoculação dos uredosporos de *H. vastatrix* 24 horas após simulação da chuva.

2.7. Avaliação da severidade

A severidade da ferrugem foi avaliada nos discos de folhas, diariamente após 18 dias até 45 dias, nos 16 discos em cada caixa de plástico. A escala de severidade da ferrugem adotada foi preparada previamente, onde: 0 (ausência de sinais nos discos); 1 ($\leq 10\%$); 2 ($\geq 10\%$ e $\leq 15\%$), 3 ($\geq 15\%$ e $\leq 30\%$), 4 ($\geq 30\%$ e $\leq 50\%$) e 5 ($\geq 50\%$) da área dos discos cobertas com uredosporos do fungo, respectivamente.

2.8. Delineamento Experimental

A partir dos dados de severidade calculou-se a área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD), utilizada por Campbell e Madden (1990).

O experimento foi instalado em delineamento experimental no esquema inteiramente casualizado com 32 tratamentos e três repetições (caixa de plástico com 16 discos de folhas) por tratamento. Para a realização dos análises estatísticas os dados foram transformados em $\sqrt{x + 1}$. A comparação das medias foi feita pelo teste de Tukey a 5% de significância

Para realização das análises estatísticas dos experimentos utilizou-se o programa InfoStat (Di Rienzo et al.2015).

3. RESULTADOS

Os primeiros sintomas de ferrugem surgiram aos 14 dias e a presença de uredosporos nos discos de folhas foram observados aos 20 dias após inoculação; a partir dessa data os discos foram examinados diariamente para a avaliação da severidade da ferrugem.

Experimento 1. Foram medidos os efeito de (epoxiconazole + piraclostrobina) + hidróxido de cobre + ácido bórico + sulfato de zinco em mistura ou isoladamente, após 30 mm de chuva, no controle da ferrugem do cafeeiro (Tabela 1). Constatou-se que houve diferença significativa entre os tratamentos com aplicação de produtos químicos e a testemunha, pela análise da severidade e AACPD (Tabela 1). Os melhores resultados no controle de ferrugem foram obtidos quando se empregou os tratamentos que continham (epoxiconazole + piraclostrobina). Nestes tratamentos a severidade e a

AACPD foram zero. A aplicação de ácido bórico + sulfato de zinco diferiu da testemunha e dos demais tratamentos, apresentando alto nível de severidade e AACPD. O tratamento envolvendo a aplicação de hidróxido de cobre isoladamente ou em mistura com ácido bórico e sulfato de zinco diferiu da testemunha e do tratamento ácido bórico + sulfato de zinco, mas não foi significativamente diferente dos tratamentos envolvendo o fungicida sistêmico epoxiconazole + piraclostrobina.

Portanto os fungicidas hidróxido de cobre e a formulação epoxiconazole + estrobilurina foram eficientes no controle da ferrugem em folhas de cafeeiro que receberam uma chuva de 30 mm, logo após aplicação dos tratamentos.

Tabela 1. Efeito da chuva na severidade da ferrugem aplicados em folhas de cafeeiro logo após a aplicação de fungicidas sistêmico, protetor e micronutrientes.

Tratamento	Severidade (%)	AACPD*
	Média	Média
1. Testemunha	8,0a	226,0a
2. Ácido bórico + sulfato de zinco	5,1b	142,8a
3. Hidróxido de cobre	0,7c	18,8b
4. Hidróxido de cobre + ácido bórico + sulfato de zinco	0,5c	15,6b
5. Epoxiconazole + piraclostrobina	0,0c	0,0b
6. (Epoxiconazole + piraclostrobina) + Hidróxido de cobre	0,0c	0,0b
7. (Epoxiconazole + piraclostrobina) + ácido bórico + sulfato de zinco	0,23c	6,5b
8. (Epoxiconazole + piraclostrobina) + hidróxido de cobre + ácido bórico + sulfato de zinco	0,0c	0,0b
CV**	5,8	8,4

*Área abaixo a curva do progresso da doença. Médias seguidas de letras diferentes nas colunas, diferem significativamente pelo teste de Tukey (p-valor < 0,05). ** Coeficiente de variação. Ácido bórico (2,0 g L⁻¹); sulfato de zinco (4,0 g L⁻¹); hidróxido de cobre (Supera^R 2,5 L há⁻¹; epoxiconazole + piraclostrobina (Opera^R 1,5 L há⁻¹). Na construção das tabelas foram utilizados os dados originais.

Experimento 2. Estudou-se o efeito de (epoxiconazole + piraclostrobina) + hidróxido de cobre + ácido bórico + sulfato de zinco em mistura ou isoladamente, nos tempos zero, 30, 120 e 480 minutos, após a simulação de 30 mm de chuva, no controle da ferrugem do cafeeiro (Tabela 2).

Devido ao fato de ter havido, interação significativa entre os tratamentos (produtos químicos aplicados) no controle da doença em cada tempo que a chuva de 30 mm foi simulada após pulverização dos produtos, as comparações foram feitas entre os tratamentos. Os efeitos de fungicidas nos tempos em minutos zero, 30, 120 e 480 após a aplicação dos produtos químicos foram diferentes entre si no controle da doença.

No tempo zero, o controle da ferrugem foi total (0,0 % de severidade), nos tratamentos que envolveram a aplicação de epoxiconazole + piraclostrobina, excetuando-se quando foi adicionada a essa mistura o ácido bórico e o sulfato de zinco. Entretanto, após 30, 120 e 480 minutos da aplicação, o controle da ferrugem nos tratamentos com a aplicação de epoxiconazole + piroclastrobina foi 100 %.

Os tratamentos envolvendo, a aplicação de hidróxido de cobre foram eficientes no controle da ferrugem, nos tempos de 120 e 480 minutos após a simulação da chuva de 30 mm. Também foram obtidos controle de 100 % tanto para a severidade quanto para AACPD.

Os tratamentos envolvendo a aplicação de ácido bórico e sulfato de zinco igualou-se a testemunha (sem aplicação de produtos químicos), ou seja foram ineficientes.

Tabela 2. Efeito dos produtos químicos aplicados em diferentes tempos (minutos) após a simulação de chuva na severidade (S) e na área abaixo da curva do progresso da ferrugem (A).

Tratamentos	Zero		30		120		480	
	S	A	S	A	S	A	S	A
1.	5,2a	145,3a	2,4a	68,8a	12,4a	350,2a	12,0a	339,6a
2.	3,6a	101,8a	1,9ab	55,2a	7,4b	207,2b	7,3b	206,7b
3.	2,5ab	69,8ab	0,1bc	3,7b	0,0c	0,0c	0,1c	1,6c
4.	2,2abc	60,8ab	0,0c	0,0b	0,1c	1,6c	0,0c	0,0c
5.	0,0c	0,0c	0,0c	0,0b	0,0c	0,0c	0,0c	0,0c
6.	0,0c	0,0c	0,0c	0,0b	0,0c	0,0c	0,0c	0,0c
7.	0,9bc	26,2bc	0,0c	0,0b	0,0c	0,0c	0,0c	0,0c
8.	0,0c	0,0c	0,0c	0,0b	0,0c	0,0c	0,0c	0,0c
*CV	5,1	7,0	5,3	9,7	5,0	6,7	4,3	5,8

*Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si na coluna pelo teste de Tukey (p-valor < 0,05).

Tratamentos: 1. Testemunha; 2. Ácido bórico (2,0 g L⁻¹) + sulfato de zinco (4,0 g L⁻¹); 3. Hidróxido de cobre (Supera^R 2,5 L há⁻¹); 4. Hidróxido de cobre (Supera^R 2,5 L há⁻¹) + ácido bórico (2,0 g L⁻¹) + sulfato de zinco (2,0 g L⁻¹); 5. Epoxiconazole. + piraclostrobin (Opera^R 1,5 L há⁻¹); 6. Epoxiconazol. + piraclostrobin (Opera^R 1,5 L há⁻¹) + hidróxido de cobre (Supera^R 2,5 L há⁻¹); 7. Epoxiconazol. + piraclostrobin (Opera^R 1,5 L há⁻¹) + ácido bórico (2,0 g L⁻¹) + sulfato de zinco (4,0 g L⁻¹); 8. Epoxiconazol. + piraclostrobin (Opera^R 1,5 L há⁻¹) + hidróxido de cobre (Supera^R 2,5 L há⁻¹) + ácido bórico (2,0 g L⁻¹) + sulfato de zinco (4,0 g L⁻¹). Na construção das tabelas foram utilizados os dados originais.

4. DISCUSSÃO

O efeito da chuva na remoção dos produtos químicos nas folhas de cafeeiro, tem sido muito pouco estudado ao longo dos anos, não conhecendo com certeza quanto dos fungicidas é removido pela chuva. Daí a importância do estudo da mistura de fungicidas (triazóis + estrobilurinas) com hidróxido de cobre e sais minerais isoladamente ou em mistura, sobre a ferrugem do cafeeiro submetidos a chuva. Esse estudo permite conhecer, se os resíduos deixados pelos produtos após a chuva, tem efeito no controle da doença.

No experimento 1, uma chuva de 30 mm foi aplicada 30 minutos após a aplicação dos produtos químicos. Todos os tratamentos que tiveram a presença na formulação da mistura de fungicida epoxiconazole + piraclostrobina foram os mais eficientes no controle da ferrugem do cafeeiro. Entretanto a formulação contendo epoxiconazole + piraclostrobina não diferiu significativamente dos tratamentos contendo hidróxido de cobre. Isto mostra que os fungicidas tanto sistêmicos quanto cúpricos podem controlar eficientemente a ferrugem, até mesmo quando a ocorrência da chuva for feita minutos após a aplicação dos fungicidas.

Na formulação epoxiconazole + piraclostrobina o primeiro produto é sistêmico e o segundo é mesostêmico pertencendo ao grupo das estrobilurinas. Isto significa que provavelmente, a ação no controle de *H. vastatrix* foi devido a piraclostrobina, pelo fato do mecanismo de ação ser protetor e translaminar na superfície foliar. O epoxiconazole é um fungicida sistêmico e movimenta no xilema e espaços intercelulares das folhas. Sua penetração na superfície foliar do cafeeiro provavelmente deve ocorrer entre 30 a 60 minutos após a aplicação. Daí a grande importância da formulação entre um triazol e uma estrobilurina no controle da ferrugem do cafeeiro. Além disso, a mescla exerce ação no sentido de adiar o surgimento de resistência na população de *H. vastatrix*, por se tratar de dois mecanismos de ação diferentes. O epoxiconazole atua inibindo a biossíntese do ergosterol presente nas membranas do fungo e o piraclostrobina atua na cadeia de transporte de elétrons na mitocôndria no complexo II da succinato desidrogenase (FRAC Brasil, 2018).

O hidróxido de cobre é um fungicida protetor, com efeito residual longo na superfície foliar. Esse produto químico não decompõe na superfície foliar e atua na

inibição da germinação dos uredosporos reduzindo a penetração do fungo nos tecidos da planta (Tratch; Bettiol, 1997). O tempo entre a aplicação e a simulação da chuva de 30 mm foi de 30 minutos, no interior de casa de vegetação, com temperatura variando entre 20 a 22 °C, na ausência de sol mas sob luz fluorescente. Portanto, o período de 30 minutos nas condições em que o produto foi aplicado, provavelmente não foi suficiente para a completa secagem dos depósitos do fungicida cúprico na superfície foliar. Entretanto mesmo assim os resíduos dos produtos químicos que restaram na superfície foliar, ainda atuou na inibição da germinação dos uredosporos.

O tratamento contendo ácido bórico e sulfato de zinco em mistura, nas doses empregadas diferiu significativamente da testemunha, mas não foi eficiente no controle da ferrugem. Não há na literatura disponível, trabalhos mostrando a eficiência dos sais de boro e zinco, no controle da ferrugem do cafeeiro.

No experimento 2 as comparações foram feitas entre os tratamentos em cada período de tempo, devido as interações dos tratamentos (produtos químicos) x tempo em minutos em que se aplicou a chuva de 30 mm, após a aplicação dos produtos químicos ter sido significativa. A atomização dos tratamentos que continham epoxiconazole + piraclostrobina, antes da aplicação de uma chuva de 30 mm, nos períodos de tempo de 30, 120 e 480 minutos, controlaram completamente a ferrugem. Portanto o hidróxido de cobre e ácido bórico e sulfato de zinco não afetaram a ação da mistura epoxiconazole + piraclostrobina, no controle da ferrugem. A aplicação da chuva no tempo zero após a aplicação do tratamento (epoxiconazole + piraclostrobina) + ácido bórico + sulfato de zinco apresentou 0,9 % e 26,2 de severidade e AACPD, respectivamente; tais níveis de severidade são considerados muito baixos em relação a testemunha e o tratamento com ácido bórico + sulfato de zinco. No experimento 2 além de repetir os resultados da eficiência da mistura de epoxiconazole + piraclostrobina, no tempo de 30 minutos (experimento 1), a formulação foi eficiente também no tempo zero, 120 e 480 minutos, respectivamente.

O tratamento envolvendo a aplicação do ácido bórico + sulfato de zinco não diferiu da testemunha nos tempos zero e 30 minutos, após a aplicação da chuva. Quando esses sais foram adicionados ao epoxiconazole + estrobilurina, o controle da ferrugem não foi absoluto, demonstrando que tais produtos, não devem ser adicionados

a mistura do triazol + estrobilurina. Entretanto, quando foi adicionado o hidróxido de cobre na formulação do (epoxiconazole + estrobilurina) + ácido bórico + sulfato de zinco o controle da ferrugem foi total. A presença do cobre na mistura adiciona o efeito protetivo e residual a formulação epoxiconazole + piraclostrobina, no controle da ferrugem. A mescla de três ingredientes ativos triazol, estrobilurina e fungicida cúprico torna-se de grande importância no controle da ferrugem, em condições de campo. Dificilmente ocorrerá resistência na população de *H. vastatrix* a esses três diferentes princípios ativos (Zambolim, 2016).

Considerando o hidróxido de cobre isoladamente e em mistura com o ácido bórico e o sulfato de zinco, nos períodos de tempo de 30, 120 e 480 minutos, respectivamente, com exceção do tempo zero, obteve-se o controle quase absoluto da doença. Esse fato demonstra que após a seca dos depósitos de cobre na superfície foliar (30 minutos após a pulverização), a ação do íon cobre proporcionou controle eficiente na inibição e germinação e crescimento do tubo germinativo dos uredosporos de patógeno. Todas as fontes de cobre quer seja hidróxido, óxidos, oxicloretos e sulfatos desde que aplicados preventivamente são eficientes no controle da ferrugem do cafeeiro (Mariotto, et al., 1976; Costa et al., 2007; Souza et al., 2011; Zambolim, 2016). Trabalho realizado por Oliveira et al. (2002), mostraram que o controle da doença, pela aplicação de hidróxido de cobre, após chuva de 20 mm proporcionou controle eficiente da ferrugem, com incidência baixa em torno de 6 a 10 %, 60 dias após a pulverização.

No controle da ferrugem torna-se muito importante considerar os períodos chuvosos. No Brasil, o período de chuvas inicia em outubro/novembro terminando em março/abril. Na América Central o período de chuvas inicia em agosto e termina em dezembro/janeiro. Na América Central os níveis de precipitação pluviométrica são superiores a 1500 mm por ano podendo atingir 2500 mm por ano. Na prática, a recomendação no controle da ferrugem do cafeeiro, se for adotado fungicida cúprico, o período de aplicação é de novembro a março/abril. Se a opção for por fungicidas sistêmicos, isoladamente ou formulados com estrobilurinas, o início da aplicação é baseado na incidência da doença (Silva-Acuña et al., 1992; Souza et al., 2011; Honorato Júnior et al., 2015b; Zambolim, 2016). Entretanto, a opção por fungicida cúprico ou por triazol + estrobilurina requer a observância do dia e hora de aplicação.

Aplicações de fungicidas não devem ser feitas com folhas molhadas, pois não haverá aderência dos produtos na superfície foliar. Por outro lado, se ocorrer chuvas 120 minutos após a aplicação de hidróxido de cobre, o controle da ferrugem será eficiente, como pode ser notado no presente trabalho. Se houver chuva mesmo após a aplicação dos fungicidas sistêmicos (epoxiconazole + piraclostrobina) o controle é eficiente. A comprovação da eficiência dessa mistura pode ser constatada em diversos trabalhos (Costa et al., 2007; Souza et al., 2011; Honorato Júnior et al., 2015a, b; Capucho et al., 2013b). O controle da doença também foi eficiente, pela aplicação preventiva de oxiclreto de cobre em quatro aplicações, de 30 em 30 dias (Chalfoun, 1999, Costa et al., 2007; Souza et al., 2011).

Conclui-se que a mistura de triazol + estrobilurina proporciona controle eficiente na ferrugem do cafeeiro, na presença de chuva; em se tratando do hidróxido de cobre, o tempo decorrido entre a aplicação e a chuva de 30 mm, deve ser maior do que 30 minutos. A mistura de hidróxido de cobre com triazol + estrobilurina + ácido bórico + sulfato de zinco é eficiente no controle da ferrugem mesmo depois de simulação de chuva mesmo no tempo zero.

REFERÊNCIAS

- Avelino, J.; Cristancho, M.; Georgiou, S.; Imbach, P.; Aguilar, L.; Bornemann, G.; Läderach, P.; Anzueto, F.; Hruska, A.J.; Morales, C. 2015. The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. Food Sec. DOI: 10.1007/s12571-015-0446-9.
- Bartlett, D.W.; Clough, J.M.; Godwin, J.R.; Hall, A.A.; Hamer, M.; Parr-Dobrzanski, B. 2002. Review: The strobilurin fungicides. Pest Management Science, 58:649-662.
- Cabras, P. et al. The effect of simulated rain on folpet and mancozeb residues on grapes and wine leaves. Journal of environmental Science and Health, v.36, n. 5, p.609-618, 2001
- Campbell, C. L.; Madden, L. V. 1990. Introduction to plant disease epidemiology. New York: John Wiley & Sons. 655 p.
- Capucho, A.S.; Zambolim, L.; Cabral, P.G.C.; Zambolim, E.M.; Caixeta, E.T. 2013a. Climate favourability to leaf rust in Conilon coffee. Australasian Plant Pathology 24:511-514.
- Capucho, A.S.; Zambolim, L.; Milagres, N. 2013b. Chemical control of coffee leaf rust in *Coffea Canephora* cv. *Conilon*. Australasian Plant Pathology 42: 667-673.
- Chalfoun, S.M.; De Carvalho, V.L. 1999. Controle químico da ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.) do cafeeiro através de diferentes esquemas de aplicação. Pesqui Agropecuária Brasileira 34:363–367.
- Costa, M.J.N.; Zambolim, L.; Rodrigues, F.R. 2007. Avaliação de produtos alternativos no controle da ferrugem do cafeeiro. Fitopatologia Brasileira, Brasília. 32: 147-152.
- Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; Gonzalez, L.; Tablada, M.; Robledo, C.W. InfoStat versión. 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Eskes, A.B. 1982. The use of leaf disk inoculations in assessing resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*). Netherlands Journal of Plant Pathology 88:127-141.

- Eskes, A.B.; M. Toma-Braghini. 1983. Assessment methods for resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) PI. Prot. Bull. FAO 29: 56-66
- Fausto, L.A.; Feritas, M.A.M.; Passos, A.B.R.J.; Saraiva, D.T.; Faria, A.T.; Silva, A.A.; Ferreira, L.R. 2015. Mobilidade do sulfentrazone em solos com diferentes características físicas e químicas. Sociedade Brasileira de Ciências das Plantas Daninhas. Planta Daninha 33 (4); 795-802
- FRAC Brasil, 2018. <http://www.frac-br.org/cafe>
- Garcia, A. 1999. A resistência dos fungos como consequência da utilização de fungicidas sistêmicos: mecanismos de resistência. Monitoramento e estratégias anti-resistência. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 28p.
- Green, J. M. 2001. Factors that influence adjuvant performance. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADJUVANTS FOR AGROCHEMICALS, 6, Amsterdam. Proceedings... Amsterdam: ISAA Foundation, 2001. P.179-190.
- Honorato Junior, J.; Zambolim, L.; Aucique-Perez, C.E.; Resende, R.S.; Rodrigues, F.A. 2015a. Photosynthetic and antioxidative alterations in coffee leaves caused by epoxiconazole and pyraclostrobin sprays and *Hemileia vastatrix* infection. Pesticide Biochemistry and Physiology 123: 31–39.
- Honorato Junior, J.; Zambolim, L.; Lopes, U.N., Lopes, U.P.; Da Silva, H.; Duarte, S. 2015b. DMI and QoI fungicides for the control of coffee leaf rust. Australasian Plant Pathology.
- Koller, W.; Scheinplug, H. 1987. Fungal resistance to sterol biosynthesis inhibitors: a new challenge. Plant disease, 71(12): 1066-1074.
- Mariotto, P. R.; Figueiredo, P.; Silveira, A. P.; Júnior, G.; Arruda, H. V.; Lopes, H.; Oliveira, E. G.; Ferreira Júnior, B. L.; Oliveira Filho, N. L. 1976. Estudos sobre o controle químico da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.) e seus efeitos na produção, nas condições do estado de São Paulo. O Biológico, [S.l.], v. 45, n. 9- 10, p. 165-174.
- Oliveira, S.H.F.; Santos, J.M.F.; Guzzo, S.D. 2002. Efeito da chuva sobre a tenacidade e eficiência de fungicidas cúpricos associados ao óleo vegetal no controle da ferrugem do cafeeiro. Fitopatol Bras 27:581–585.

- Pereira, G.A.M.; Barcellos, J.R.; Gonçalves, V.A.; Silva, A.A.; Pereira, G.A.M.; Barcellos JR, L.H.; Gonçalves, V.A.; Silva, D.A.; Silva, A.A. 2017. Clomazone Leaching Estimate in soil Columns Using the Biological Method. . Sociedade Brasileira de Ciências das Plantas Daninhas. Planta Daninha 35 (0).
- Reynolds, K. L., Reilly, C. C., Hotchkiss, M. W. 1994. Removal of fentin hydroxide from pecan seedlings by simulated rain. Plant Disease, v.78, n.9, p.857-860.
- Rich, S. 1954. Dynamics of deposition and tenacity of fungicides. Phytopathology, v.44, p. 203-213
- Santos, J.M.; Oliveira, S.H.; Guzzo, S.D. 2002. Avaliação da eficácia de fungicidas sistêmicos no controle da ferrugem (*Hemileia vastatrix* L.) do cafeeiro, sob chuva simulada. Fitopatologia Brasileira, Brasília, v. 27, n.6. p.45-49
- Silva, G.R.D`Antonino, L.D. Faustino, L.A.; Silva, A.A.; Fereirra, F.A.; Teixeira, C.C.; Costa, A.I.G. 2014. Mobilidade do Fomesafen em Solos Brasileiros. . Sociedade Brasileira da Ciências das Plantas Daninhas. Planta Daninha 32 (3); 639-645.
- Silva-Acuña, R.; Zambolim, L.; Vale, F.X.R.; Chaves, G.M.; Pereira, A.A. 1992. Época da primeira aplicação de fungicida baseado no nível de inicial de incidência para o controle da ferrugem do cafeeiro. Fitopatologia Brasileira 17:36-41.
- Souza, A.F.; Zambolim, L.; Jesus Júnior, V.C.; Cecon, P.R. 2011. Chemical approaches to manage coffee leaf rust in drip irrigated trees. Australasian. Plant Pathol. 40:293-300.
- Staub, T. and Sozzi, D. 1984. Fungicide resistance: a continuing challenge. Plant Disease 68: 1026-1031.
- Talhinhas, P.; Batista, D.; Diniz, I.; Vieira, A.; Silva, D.N.; Loureiro, A.; Tavares, S.; Pereira, A.P; Azinheira, H.G.; Guimarães, L.G.; Varzea, V.; Silva, M.C. 2017. The coffee leaf rust pathogen *Hemileia vastatrix*: one and a half centuries around the tropics. Mol Plant Pathol 18:1039–1051.
- Tratch, R.; Bettiol, W. 1997. Efeito de biofertilizantes sobre o crescimento micelial e a germinação de esporos de alguns fungos fitopatogênicos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília. 32:1131-1139.

- Zambolim, L. 2016. Current status and management of coffee leaf rust in Brazil. *Trop Plant Pathol* 41:1–8.
- Zambolim, L., Vale, F.X.R., Pereira, A.A. & Chaves, G.M. 1997. Café (*Coffea arabica* L.), controle de doenças causadas por fungos, bactérias e vírus. In: Vale, F.X.R. & Zambolim, L. (Eds.) Controle de doenças de plantas. Viçosa, Minas Gerais. Suprema Gráfica e Editora. pp.83-180.
- Zambolim, L.; Chaves, GM. 1974. Efeito de baixas temperaturas e do binômio temperatura-umidade relativa sobre a viabilidade dos uredosporos de *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. e *Uromyces phaseolityca* Arth. *Experientiae* p. 151-184.

CAPÍTULO II

Resistencia a chuva de fungicida cúprico mais adjuvante no controle da ferrugem do cafeeiro

RESUMO

Os fungicidas protetores ou residuais são extremamente importantes no controle da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*). A retenção do ingrediente ativo desses produtos nas folhas e, a resistência dos depósitos a remoção pela chuva são essenciais para o sucesso no controle da doença. Diante desses fatos, o trabalho teve por objetivo, comparar o efeito de chuva simulada de 30 mm na remoção dos depósitos de oxiclreto de cobre (ox. de cobre) na dose de 3,0 kg ha⁻¹ isoladamente (tratamento padrão) e associado a óleo mineral (OM) e adjuvante polioxietileno alquil fenol éter (PAFE), em diferentes concentrações, respectivamente, aplicados após um período de tempo variável, de secagem em folhas de café da variedade *Coffea arabica* var. Caturra, no controle da ferrugem. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com quatro repetições. Obteve-se variação na retenção de cobre nas folhas de café em função dos tratamentos e do tempo de secagem das folhas, submetidas a chuva. Cerca de 85 % dos tratamentos apresentaram retenção de cobre > 30%, submetidos a chuva de 30 mm, no tempo de secagem dos produtos nas folhas de 120 min; quando no tempo de secagem das folhas foi de 480 min, somente 45% apresentaram retenção > 30%. Ox.de cobre + OM 0,75% aumentou a retenção >30% e ox. de cobre + adjuvante PAFE 0,05% e 0,1%, respectivamente, aumentaram a retenção de cobre > 40%, no tempo de secagem das folhas de 480 min. Quando o ox. de cobre foi adicionado ao OM 0,5% e 0,75%, independente da concentração do PAFE (exceto PAFE 0,2%), com 480 min de secagem das folhas, obteve-se retenção de cobre >30%. Cinco dos tratamentos com retenção de cobre >50% com 120 min de secagem foi reduzido para dois (ox. de cobre + OM 0,75%; ox. de cobre + OM 1,0% + PAFE 0,1%) com retenção >30%, no tempo de secagem de 480 min. Todos os tratamentos deferiram da testemunha, mas não se diferenciaram entre si no controle da ferrugem. A porcentagem de controle da ferrugem variou de 94,6% a 100,0% e de 71,3% a 99,5%, 180 min e 480 min de secagem das folhas, respectivamente, nos melhores tratamentos. A retenção de cobre variou de 32,2% a 55,2% e de 23,7% a 51,5%, 180 e 480 min de secagem, respectivamente nos melhores tratamentos. O tratamento que apresentou maior retenção de cobre foi ox. de cobre + OM 0,75%, tanto a 180 quanto a 480 min de tempo de secagem das folhas. Os melhores tratamentos no controle da doença nem sempre foram os que apresentaram

maior retenção de cobre nas folhas. Para se obter a maior retenção de cobre na superfície foliar, o ox. de cobre deve ser misturado ao OM 0,75% com > 97% de controle da ferrugem. Conclui-se que o fungicidas cúprico ox. de cobre apresenta ação diferenciada no controle da ferrugem do cafeeiro, dependendo da concentração do OM e do adjuvante PAFE. O emprego do PAFE à calda, pode ser favorável ou não à tenacidade e a maior ou menor eficiência do ox. de cobre no controle da ferrugem

ABSTRACT

Protective or residual fungicides are extremely important in the control of the coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*). The retention of the active ingredient of these products in the leaves and the resistance of the deposits to rain removal are essential for success in controlling the disease. The objective of this study was to compare the simulated rainfall effect of 30 mm in the removal of copper oxychloride (copper oxy.) deposits at a dose of 3.0 kg ha⁻¹ alone (standard treatment) and associated to mineral oil (OM) and polyoxyethylene alkyl phenol ether (PAFE) adjuvant, in different concentrations, respectively applied after a several time of drying in coffee leaves of the variety *Coffea arabica* var. *Caturra*, in control of rust. The experimental design was completely randomized with four replicates. Variation in the retention of copper in the coffee leaves was obtained according to the treatments and the drying time of the leaves, before the rain. About 85% of the treatments presented copper retention > 30%, submitted to rain, 120 min. of the drying time of the products in the leaves; when the leaf drying time was 480 min, only 45% presented retention > 30%. Copper oxy. + OM 0.75% increased retention > 30% and copper oxy. + PAFE adjuvant 0.05% and 0.1%, respectively, increased the copper retention > 40%, at 480 min. When the copper oxy. was added to 0.5% and 0.75% of OM, regardless of the PAFE concentration (except PAFE 0.2%), with 480 min of leaf drying, copper retention > 30% was obtained. Five of the treatments with retention of copper > 50% with 120 min of drying were reduced to two (copper oxy 0,75% OM; copper oxy. + (OM 1,0% + PAFE 0,1%) with retention > 30 %, at the drying time of 480 min. All the treatments differed from the control, but did not differentiate among them on the leaf rust control. The percentage of rust control ranged from 94.6% to 100.0% and from 71.3% to 99.5%, 180 min and 480 min of leaf drying, respectively, in the best treatments. Copper retention varied from 32.2% to 55.2% and from 23.7% to 51.5%, 180 and 480 min of drying, respectively for the best treatments. The treatment with the highest copper retention was copper oxy.+ OM 0.75%, both at 180 and 480 min of drying time of the leaves. The best treatments for disease control were not always the ones with the highest copper retention on the leaves. To highest retention of copper on the leaf surface, copper oxy. should be mixed at 0.75% OM; this treatment had > 97% of rust control.

It is concluded that the copper oxy. presents a differentiated action in the control of coffee rust, depending on the concentration of OM and the PAFE adjuvant. The use of PAFE to the mixture, can be favorable or not to the tenacity and the greater or less efficiency of the copper oxy.on the control of rust.

Palavras chave: *Hemileia vastatrix*; *Coffea arabica*; chuva; controle.

1. INTRODUÇÃO

A ferrugem do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) causada por *Hemileia vastatrix* Berk. et Br., foi identificada atacando o cafeeiro em 1869, no Sri Lanka (Chaves et al. 1970; Zambolim, 2016) e vem causando grandes perdas na cafeicultura ao longo dos anos. No Brasil, a doença foi identificada em 1970 no Estado da Bahia (Chaves et al. 1970). Do Brasil a ferrugem disseminou-se para todos os países cafeicultores da América do Sul, México e América Central (McCook, 2006).

Na ausência de medidas de controle, a doença pode causar perdas de 35 a 50 % da produção no Brasil (Zambolim, 2016). Na América Central, nos anos 2013/2014 a ferrugem causou prejuízos de 25 a 60 %, nos países produtores de café arábica. Em média, mais de 50% de todo cafeeiro da América Central foram afetados pela doença (Avelino et al., 2015).

A estratégia mais importante para o controle da ferrugem é o emprego de variedades resistentes (Zambolim, 2016). Entretanto, tanto no Brasil quanto na América Central cultivam-se variedades suscetíveis (Catuaí, Bourbon, Caturra e Mundo Novo) o que torna necessário o emprego do controle químico.

Dentre os produtos químicos empregados no controle da ferrugem destacam-se os produtos de ação protetiva ou residual, que atuam prevenindo a penetração do fungo na superfície foliar, como a calda bordalesa e fungicidas inorgânicos (oxicloreto, hidróxido, óxidos e sulfatos de cobre) (Zambolim et al., 2008; Zambolim, 2016).

Os fungicidas cúpricos inorgânicos foram lançados pelas indústrias químicas foi na década de 1930 (Zambolim et al., 2008) e são utilizados até hoje, tanto em anos de alta como de baixa carga de frutos pendente nas plantas, preventivamente no controle da ferrugem do cafeeiro. As vantagens do emprego dos fungicidas cúpricos no controle da ferrugem do cafeeiro são: (i) ação tóxica direta ao uredosporo, ao tubo germinativo e apressório do fungo, na superfície foliar, (ii) considerado nutriente para o cafeeiro e (iii) pelo fato de ser fungicida com modo de ação generalizado, impede o surgimento de mutantes resistentes na população de *Hemileia vastatrix*. Além disso como o cobre é um metal pesado, não decompõe na superfície foliar permanecendo ativo durante a vida útil da folha (Zambolim et al. 2008).

O sucesso no controle de doenças de plantas, além de outros fatores, depende da quantidade e distribuição das moléculas químicas do ingrediente ativo dos pesticidas, que se depositam na superfície foliar, principalmente no alvo biológico. A retenção do ingrediente ativo nas folhas e, a resistência dos depósitos ativos a remoção pela chuva são essenciais, para o sucesso nas aplicações, visando o controle de doenças. Portanto a aplicação foliar de fungicidas é um processo crítico na agricultura moderna e as variáveis climáticas devem ser consideradas no momento da aplicação dos fungicidas, como a chuva, o orvalho na superfície foliar, a temperatura e o vento para que haja maior eficiência no controle das doenças.

A tecnologia de aplicação aliada a tenacidade, aderência, persistência e a toxicidade dos fungicidas, aos fungos fitopatogênicos são características importantes, para o sucesso no controle de doenças de plantas. Os principais fatores que determinam a quantidade de resíduo ativo do produto químico na superfície foliar, para um efetivo controle de doenças em plantas, dependem fundamentalmente da quantidade de princípio ativo que adere à superfície foliar, durante a pulverização e a quantidade de material que permanece na folha após a remoção pela chuva (Rich, 1954).

O fator de maior importância na remoção dos depósitos de fungicidas na superfície foliar é a chuva. Além de remover os depósitos dos pesticidas a chuva dilui e redistribui os ingredientes ativos (Tracker e Young, 1999). A retenção e a tenacidade são influenciadas por características físico-químicas da superfície da folha, que podem ser intrínsecas de cada espécie de planta (Reynolds et al., 1994).

De acordo com Cabras et al., (2001) e Green, (2001) inúmeros fatores afetam a relação da chuva com os pesticidas, sendo os mais importantes a intensidade e a quantidade da chuva, o intervalo de tempo entre o tratamento e a chuva, a formulação comercial dos pesticidas, a solubilidade do produto químico em água e a superfície da folha da planta. Visando propiciar melhor aderência à superfície foliar e aumentar a tenacidade sob ação da chuva, recorre-se normalmente ao emprego dos adjuvantes (Suheri e Latin, 1991). De acordo com Underwood (2000), adjuvantes são substâncias que não apresentam efeito fungitóxico, que ao serem adicionados a calda dos pesticidas podem ajudar na aplicação aumentando a atividade biológica do ingrediente ativo,

reduzindo o efeito da deriva e perdas por chuva, reduzir a exposição do trabalhador ao pesticida, menor contaminação do meio ambiente e aumento na eficiência da aplicação.

Os adjuvantes ativadores mais utilizados incluem surfactantes, óleos minerais e vegetais, fertilizantes nitrogenados, espalhantes-adesivos, agentes de molhamento e penetrantes. Essas propriedades dos adjuvantes podem reduzir o efeito de lavagem quando à aplicação do defensivo for seguida por chuva (Tu e Randall, 2003).

Estudos tem demonstrado que, o efeito negativo da lavagem pela chuva, está diretamente ligado ao intervalo entre à aplicação e a ocorrência da chuva. Trabalhos realizados por Debortoli (2008) mostrou que a chuva simulada afetou negativamente o controle da ferrugem asiática da soja, principalmente quando não foi utilizado adjuvante juntamente com o fungicida. A ocorrência de chuva até 30 minutos após a aplicação dos tratamentos, provocou maior influência sobre a eficiência de controle da doença.

Os óleos emulsionáveis podem aumentar a taxa de penetração pela camada de cera da cutícula, em espécies de plantas que possuem superfícies cerosas como o café, citros, crucíferas e bananas (Witt, 2001). Resultados positivos de adição de óleos a calda fungicida, mesmo se tratando de fungicidas sistêmicos, tem proporcionado controle eficiente das doenças (Bonelli et al., 2005, Antuniassi et al., 2005). A análise residual do fungicida sistêmico flutriafol, mostrou que folhas de soja tratadas com óleo, apresentaram maior concentração do ingrediente ativo do fungicida nos tecidos da planta. O emprego de óleo mineral tem indicação principal como adesivo, mas como apresentam alta viscosidade, pode alterar também o espectro de gotas pulverizadas (Christofoletti, 1999).

Este trabalho se justifica devido à importância dos fungicidas cúpricos para o controle de doenças do cafeeiro (ferrugem, mancha aureolada, mancha de Phoma, mancha de Ascochyta e olho pardo). Entretanto os depósitos deixados pelos fungicidas cúpricos são passíveis de serem removidos pela precipitação pluviométrica, na superfície foliar.

Além disso, são escassos os relatos que permitam elucidar se a utilização de adjuvantes a calda de fungicida cúprico submetidas a chuva, podem aumentar a

retenção de cobre na superfície foliar, principalmente nas estações de alta precipitação pluviométrica.

Diante desses fatos, o presente trabalho teve por objetivo, estudar o efeito simulado da chuva, na remoção dos depósitos de ox. de cobre e no controle da ferrugem, empregando-se oxicloreto de cobre, isoladamente (tratamento padrão) aplicados em folhas de café com a adição de óleo mineral e adjuvante, em diferentes concentrações na calda de pulverização.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material vegetal

Para realização dos testes utilizaram-se plantas de *Coffea arabica* da variedade Caturra, por sua alta susceptibilidade ao fungo *Hemileia vastatrix*. As folhas empregadas nos experimentos foram retiradas de plantas, utilizando aquelas do terceiro ou quarto par do ramo, bem desenvolvidas, sem apresentar sintomas de deficiências nutricionais.

2.2. Produção de inóculo de *Hemileia vastatrix*

Utilizou-se uredosporos do fungo raça II, provenientes da coleção do departamento de fitopatologia da Universidade Federal de Viçosa, com germinação acima 45% e inoculadas em folhas de mudas de café, da variedade Caturra, com três meses de idade, com ajuda de um pincel de pelo de camelo número 2. Cerca de 1 mg de uredosporos foi depositado em cada folha das plantas. Foram inoculadas duas folhas desenvolvidas de cada planta. Setenta e duas horas após a incubação em câmara de novoeiro (temperatura 22 °C e umidade relativa próxima a 100%), as plantas foram transferidas para câmara de incubação com temperatura de 22 °C, onde permanecem por 45 dias, para produção dos uredosporos. A coleta foi feita raspando-se os esporos das pústulas, com auxílio de um escalpelo. Logo em seguida, procedeu-se a homogeneização dos esporos, em peneiras de 125 meshes, seguindo-se ao armazenamento em capsulas de gelatina (cerca 100 mg por cada capsula), dentro de um beaker de 50 mL de capacidade, colocado no interior de um dessecador a 5 °C, com uma umidade relativa de 50% (Zambolim e Chaves, 1974). Parte dos uredosporos foram armazenados em freezer a - 80 °C.

2.3. Teste de germinação.

Os testes de germinação dos uredosporos foram realizados em placas de plástico contendo ágar-água a 1%. Os uredosporos foram espalhados com ajuda de um pincel de pelo de camelo número 2, sobre a camada do ágar e logo após foram colocados em câmara escura, por 24 horas a uma temperatura de 22 °C. A contagem dos uredosporos germinados e não germinados foram feitas sob microscópio estereoscópico, considerando germinados aqueles em que o tubo germinativo alcançava o dobro do diâmetro dos esporos. Nos testes, só foram empregadas culturas de uredosporos com porcentagem de germinação acima do 45%, para garantir homogeneidade nos resultados.

2.4. Aplicação dos produtos químicos

As diferentes concentrações dos produtos químicos, foram preparadas para 500 mL, baseadas nas doses comerciais e pulverizadas nas folhas das plantas, do cv. Caturra, por meio de um atomizador manual tipo de vilbiss número 15, acionado por compressor elétrico, procurando-se pulverizar o mesmo volume de calda, para cada grupo de folhas de cada repetição. A pulverização foi feita na face abaxial de folhas destacadas, numa plataforma destinada a receber a intensidade de chuva, no interior da casa de vegetação.

2.5. Simulação da chuva.

Utilizou-se um simulador de chuva (Figura 1), especialmente projetado para representar todos os parâmetros e configurações de um equipamento terrestre convencional. Este equipamento possibilita a simulação de lâminas de chuva mediante o uso de pontas de pulverização especiais, com jato plano e gotas grossas. O equipamento foi calibrado para fornecer uma chuva de 30mm (Silva et al.,2014; Faustino et al., 2015; Perreira et al., 2017). A aplicação foi feita a noite com temperatura variando entre 20 a 22 °C, umidade relativa em torno de 55%, na ausência de sol. Chuva de 30 mm foi simulada depois da aplicação dos tratamentos, nos períodos de 120 e 480 minutos, após a pulverização dos produtos. Como tratamento controle utilizou-se folhas pulverizadas com os tratamentos, sem simulação de chuva. Parte das folhas foram levadas ao laboratório, para análises de tecido foliar, visando a determinação da concentração de cobre.

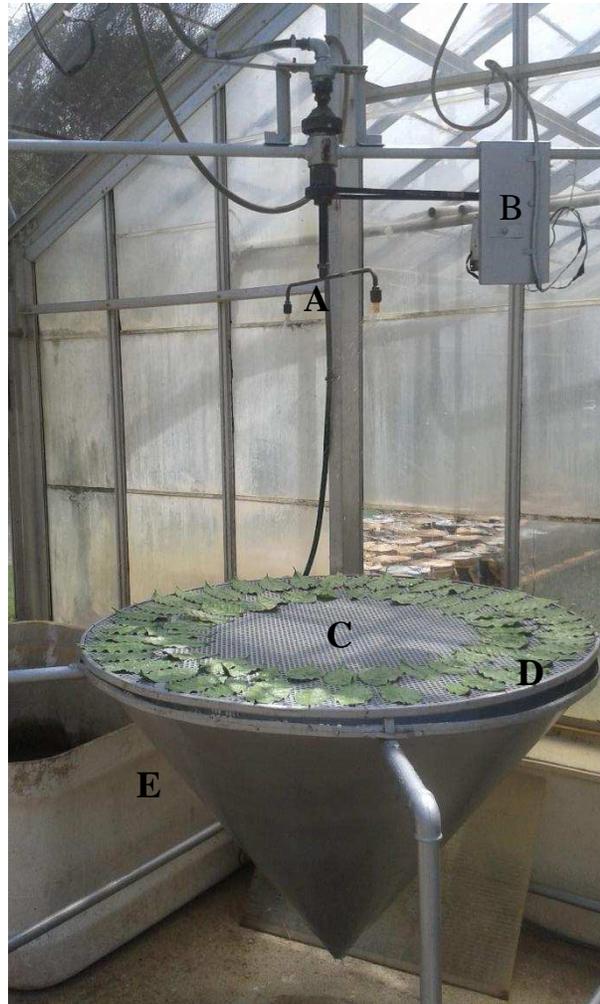


Figura 1. Simulador de chuva utilizado no experimento. (A) Bicos de simulação de chuva. (B) Controle e ajuste velocidade dos bicos. (C) Mesa de pulverização. (D) Folhas de cafeeiro. (E) Reservatório de água e controle da pressão.

2.6. Preparo dos discos de folhas

Após as folhas de café serem submetidas a chuva de 30 mm, aguardou-se cerca de 15 minutos visando o secagem ao ar, para proceder a retirada dos discos de folhas. Quatro discos com 1,5 cm de diâmetro, foram retirados de cada folha da região central, atomizada e submetida a chuva, com auxílio de um furador de rolha, a fim de que fossem inoculadas de acordo com o tempo, após a lavagem por chuva simulada.

2.7. Teste de inoculação

A inoculação foi feita espalhando-se cerca de 1 mg de uredosporos com germinação acima de 45%, com auxílio de um pincel de pelo de camelo número 2, sobre a superfície de cada folha (Eskes 1982). Após esse período os discos com a face abaxial voltados para cima, foram depositados sobre tela de aço inoxidável, em caixas plásticas de (12 x 12 x 3,0 cm) e borrifados com água destilada esterilizada. As caixas plásticas foram incubadas em câmara escura de crescimento, por 48 horas a 22 ± 2 °C. Posteriormente foram levadas para câmara de incubação, com foto-período de 12 horas luz/escuro, com temperatura controlada para 22 ± 2 °C, permanecendo por 45 dias até a leitura final da presença ou não de uredosporos.

2.8. Análise de retenção de cobre nas folhas

Os valores de presença de cobre nas folhas com e sem chuva, foram utilizados para a determinação da retenção, de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Retenção Cobre - RCu (\%)} = \frac{\text{FCC}}{\text{FSC}} \times 100, \text{ onde:}$$

FCC = folhas destacadas de café, pulverizadas com os tratamentos com simulação de chuva

FSC = folhas destacadas de café, pulverizadas com os tratamentos sem simulação de chuva.

2.9. Determinação do porcentagem de controle de ferrugem do cafeeiro

A determinação da porcentagem de controle da ferrugem foi calculada utilizando-se a seguinte fórmula:

$$\text{Porcentagem de controle de ferrugem - CF (\%)} = \frac{\text{MC-VG}}{\text{MC}} \times 100$$

Onde MC= valor meio de controle e VG= valor real obtido por cada folha.

Para as variáveis RCu (%) utilizou-se controle negativo sem pulverização que foi subtraído dos tratamentos e não foi considerado para os cálculos das variáveis.

2.10. Avaliação da severidade

Durante o período de condução do experimento, a severidade da ferrugem foi avaliada nos discos das folhas, iniciando aos 18 com término aos 45 dias, após a inoculação nos 16 discos em cada caixa plástica. A escala de severidade da ferrugem

adotada foi preparada previamente, onde 0 (ausência de sinais de esporos nos discos); 1 ($\leq 10\%$); 2 ($\geq 10\%$ e $\leq 15\%$), 3 ($\geq 15\%$ e $\leq 30\%$), 4 ($\geq 30\%$ e $\leq 50\%$) e 5 ($\geq 50\%$).

As variáveis de resposta calculadas foram: 1. Severidade baseado na escala descrita e 2. Área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD), descrita por Campbell e Madden (1990), baseado nos dados de severidade.

Para realização dos análises estatísticas utilizou-se o programa InfoStat (Di Rienzo et al.2015)

2.11. Experimento1. Efeito da chuva na retenção de cobre nas folhas aplicando uma mistura de adjuvantes.

O teste foi realizado, para selecionar os tratamentos que apresentassem retenção de cobre na superfície foliar, maior ou igual que 30 %, em dois tempos diferentes de simulação de chuva (120 e 480 minutos). Foram empregados o oxiclureto de cobre (oxi. de cobre) (Recop 84% m/m WP) como tratamento padrão, óleo mineral (OM) Assit^R e o Polioxietileno Alquil Fenol Éter (20% m/V) (PAFE) (Haiten^R) como produtos para a composição da mistura dos tratamentos. O oxi. de cobre foi empregado na dose comercial de 3,0 kg ha⁻¹ em todos os tratamentos.

Os tratamentos empregados para estudo da retenção de cobre nas folhas de café foram: 1. Oxi. de cobre; 2. Ox. de cobre+ OM 0,25 %; 3. Ox. de cobre + OM 0,5 %; 4. Oxi. de cobre + OM 0,75 %; 5. Oxi. de cobre + OM 1 %; 6. Oxi. de cobre + PAFE 0,05 %; 7. Oxi. de cobre + PAFE 0,10 %; 8. Oxi. de cobre + PAFE 0,20 %; 9. Oxi. de cobre + OM 0,25 % + PAFE 0,05 %; 10. Oxi. de cobre + OM 0,25 % + PAFE 0,10 %; 11. Oxi. de cobre + OM 0,25 % + PAFE 0,20 %; 12. Oxi. de cobre + OM 0,5 % + PAFE 0,05 %; 13. Oxi. de cobre + OM 0,5 % + PAFE 0,10 %; 14. Oxi. de cobre + OM 0,5 % + PAFE 0,20 %; 15. Oxi. de cobre + OM 0,75 % + PAFE 0,05 %; 16. Oxi. de cobre + OM 0,75 % + PAFE 0,10 %; 17. Oxi. de cobre + OM 0,75 % + PAFE 0,20 %; 18. Oxi. de cobre + OM 1,0 % + PAFE 0,05 %; 19. Oxi. de cobre + OM 1,0% + PAFE 0,10 %; 20. Oxi. de cobre + OM 1,0 % + PAFE 0,20 %

2.12. Experimento 2. Efeito dos tratamentos que apresentaram retenção de cobre igual ou superior a 30%, após as folhas serem submetidas a chuva, no controle da ferrugem do cafeeiro.

O oxi. de cobre foi empregado na dose comercial de 3,0 kg ha⁻¹ para todos os tratamentos. Os tratamentos empregados foram: 1. Oxi. de cobre; 2. Oxi. de cobre + OM 0,75%; 3. Oxi. de cobre + PAFE 0,05%; 4. Oxi. de cobre + OM 0,5% + PAFE 0,05%; 5. Oxi. de cobre + OM 0,5% + PAFE 0,10%; 6. Oxi. de cobre + OM 0,5% + PAFE 0,20%; 7. Oxi. de cobre + OM 0,75% + PAFE 0,05%; 8. Oxi. de cobre + OM 1,0% + PAFE 0,10%.

O experimento constou de 20 tratamentos, utilizando-se o delineamento inteiramente casualizado, com três repetições (caixas de plástico com 16 discos de folhas) por tratamento. Para a realização da análises estatísticas os dados foram transformados em $\sqrt{x + 1}$; a análise de comparação de medias foi feita empregando-se o teste Tukey a 5% de significância.

3. RESULTADOS

Experimento 1. Efeito da chuva, na retenção de cobre em folhas de café, 120 e 480 minutos, após a atomização dos tratamentos oxiclreto de cobre associado a adjuvante e óleo mineral, em diferentes concentrações.

Os resultados dos diferentes tratamentos da mistura de oxi. de cobre, óleo mineral (OM) e adjuvante (PAFE) em diferentes concentrações, estão apresentados na Figura 2. Esse experimento foi idealizado visando conhecer os tratamentos que apresentassem retenção de cobre igual ou acima de 30 %, na superfície foliar.

Dezessete tratamentos apresentaram retenção superior a 30 %. Os tratamentos que apresentaram menor retenção de cobre na superfície foliar foram os que continham misturas de oxi. de cobre com PAFE a 0,10 e 0,20 %, respectivamente com taxa de retenção em torno de 20 % (Figura 2A). Os tratamentos constituídos por diferentes misturas de oxi. de cobre + OM + PAFE tiveram retenção média maior que 30%, na superfície da folha. Aqueles que apresentaram retenção de cobre igual ou superior a 50 % foram os que apresentaram na sua constituição oxi. de cobre associado somente ao OM, em todas as concentrações avaliadas (0,25, 0,5, 0,75 e 1,0 %), respectivamente.

A situação se modifica quando o tempo de aplicação de chuva ocorreu 480 minutos após a pulverização (Figura 2B). Neste caso, somente 50 % dos tratamentos apresentaram retenção igual ou superior a 30%. Os tratamentos contendo oxi. de cobre com OM nas concentrações de 0,25, 0,5 e 1,0 % mais aqueles constituídos por oxi.de cobre mais OM + PAFE nas concentrações (0,25+ 0,05), (0,25 + 0,10); (0,25 + 0,20), (0,75 + 0,20), (1,0 + 0,05), (1,0 + 0,10, (1,0 + 0,20), respectivamente tiveram retenção de cobre abaixo de 30 %. Os tratamentos oxi. de cobre associado a OM + PAFE nas concentrações de (0,25 + 0,05), (0,25 + 1,0) e (1,0 + 0,20), respectivamente apresentaram retenção de cobre de 15 a 20 %. Somente quatro tratamentos tiveram retenção de cobre acima de 40 % na superfície foliar.

O tratamento oxi. de cobre associado a OM 1,0 % foi o que apresentou retenção de cobre em torno de 60 %, quando foi submetida a chuva de 30 mm, 120 minutos após a atomização; entretanto quando a chuva de 30 mm, foi submetida 480 mm após a atomização, verificou-se que os tratamentos envolvendo o oxi. de cobre associado ao PAFE a 0,05 % e oxi. de cobre mais OM (0,5 %) + PAFE 0,2 %) retiveram em torno de 50 %.

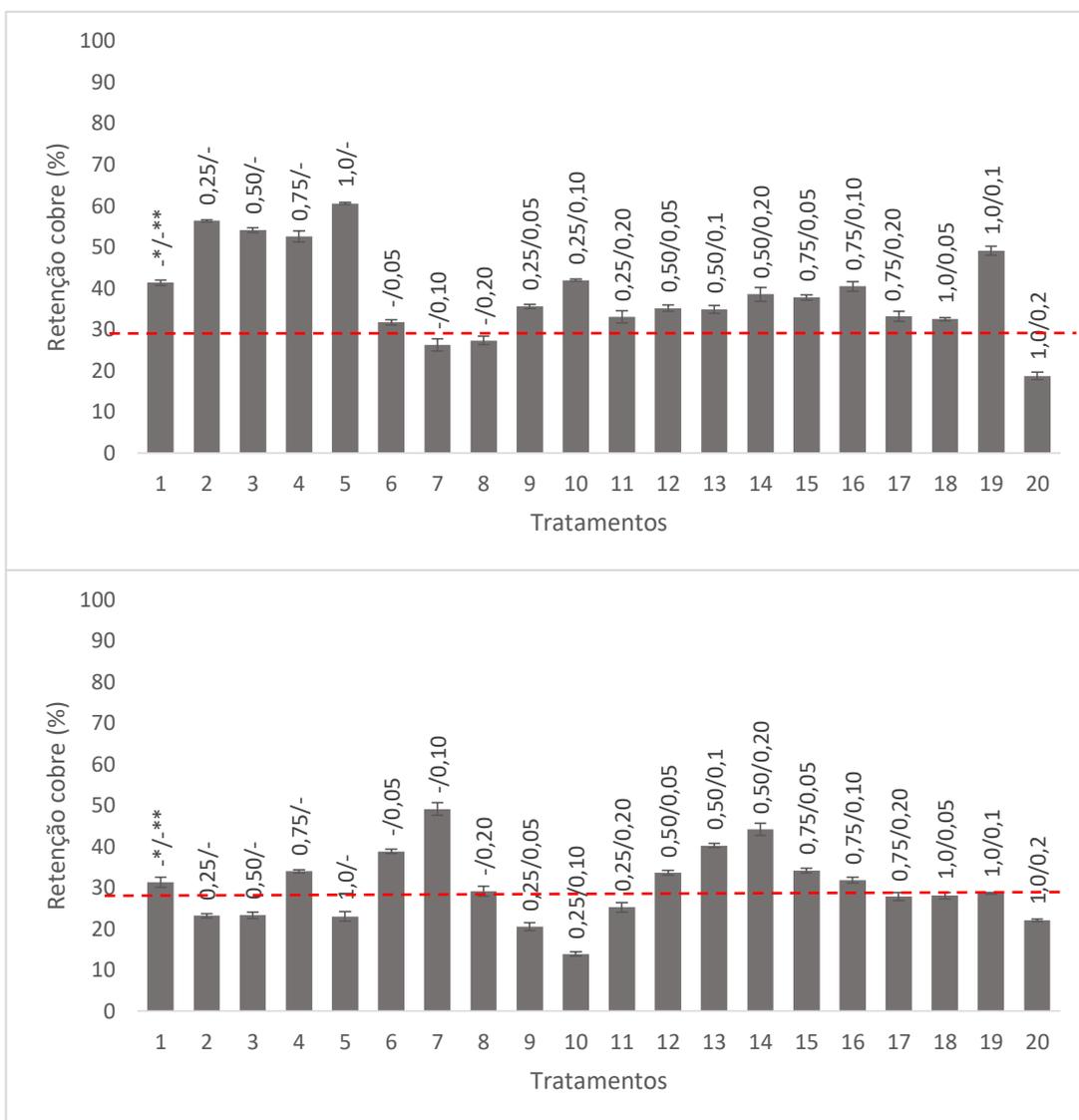


Figura 2. Retenção de cobre após chuva de 30 mm, 120 (A) e 480 (B) minutos da pulverização com oxi. de cobre ($3,0 \text{ kg/ha}^{-1}$ do p.c.) isoladamente e associados com óleo mineral (OM) e polioxietileno alquil fenol éter (PAFE) em diferentes concentrações. * % OM; ** % PAFE.

A partir dos dados obtidos nesse experimento selecionou-se oito tratamentos que apresentaram retenção de cobre igual ou maior que 30%, para serem avaliados no experimento 2.

Experimento 2. Efeito da chuva, na retenção de cobre em folhas de café, 120 minutos, após a atomização dos tratamentos oxiclureto de cobre associado a adjuvante e óleo mineral, em diferentes concentrações que apresentaram retenção de cobre igual ou superior a 30% considerando 120 e 480 minutos após a atomização.

Os oito tratamentos selecionados no experimento 1 foram constituídos por oxi. de cobre na dose de 3,0 kg ha⁻¹ do produto comercial, associados ou não a óleo mineral (OM) ou ao polioxietileno alquil fenol éter (PAFE). Os tratamentos foram: 1.Oxi. de cobre; 2. Oxi. de cobre + OM 0,75 %; 3. Oxi. de cobre + PAFE 0,05 %; 4. Oxi. de cobre + OM 0,5 % + PAFE 0,05 %; 5.Oxi. de cobre + OM 0,5% + PAFE 0,10 %; 6. Oxi. de cobre + OM 0,5 % + PAFE 0,20 %; 7. Oxi. de cobre + OM 0,75 % + PAFE 0,05 %; 8. Oxi. de cobre + OM 1,0% + PAFE 0,10 %; 9.Controle.

Houve diferenças nos tratamentos com aplicação de produtos químicos e a testemunha, para as variáveis severidade e área abaixo da curva do progresso da doença (Tabela 1). Entre os tratamentos que envolveram a aplicação de produtos químicos não houve diferenças significativas. O nível de severidade entre os tratamentos variou de 0,0 a 0,7 %. O nível de severidade máxima foi o da testemunha com 11,3 % e o mínimo foi 0,0 % para o tratamento oxi. + OM 0,5 % + PAFE 0,10%.

A porcentagem de controle da ferrugem variou de 94,6 % (oxi. de cobre + PAFE 0,05%) até 100 % (oxi. de cobre + OM 0,5 % + PAFE 0,10%).

Quanto a porcentagem de retenção de cobre na superfície foliar, o tratamento com oxi. de cobre + OM 0,75%, obteve o maior valor de retenção, com 55,2 %, diferindo dos demais tratamentos. Os outros tratamentos não diferiram entre si, mas variaram de 32,8 % (oxi. de cobre + OM 0,5 % + PAFE 0,10%) a 39,9 % (oxi. de cobre + OM 0,75% + PAFE 0,05%).

Tabela 1. Avaliação das diferentes variáveis nos tratamentos com aplicação de oxiclreto de cobre (3,0 kg ha⁻¹), óleo mineral (OM) e polioxietileno alquil fenol éter (PAFE), sometidos a uma simulação de chuva de 30 mm, 120 minutos após a pulverização dos tratamentos.

Tratamentos	Severidade	AACPD ¹	CF(%) ²	RCu(%) ³
	(%) Média	Média	Média	Média
1.Oxi. de cobre	0,4b	11,4b	96,9a	33,2b
2.Oxi. de cobre + OM 0,75 %	0,4b	10,9b	97,0a	55,2a
3.Oxi. de cobre + PAFE 0,05 %	0,7b	20,2b	94,6a	33,2b
4.Oxi. de cobre + OM 0,5 % + PAFE 0,05 %	0,0b	0,0b	100,0a	36,4b
5.Oxi. de cobre + OM 0,5 % + PAFE 0,10 %	0,2b	6,2b	98,3a	32,8b
6.Oxi. de cobre + OM 0,5 % + PAFE 0,20 %	0,1b	1,4b	99,6a	37,5b
7.Oxi. de cobre + OM 0,75 % + PAFE 0,05 %;	0,3b	7,9b	97,7a	39,9ab
8.Oxi. de cobre + OM 1,0% + PAFE 0,10 %	0,4b	10,2b	97,2a	36,5b
9.Controle	11,3a	317,6a	-	-
CV ⁴	5,7	8,6	2,2	3,7

¹Área Abaixo da Curva do Progresso da Doença. ²Porcentagem de controle da ferrugem. ³Porcentagem de retenção de cobre. ⁴Coefficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p-valor < 0,05). Na construção das tabelas foram utilizados os dados originais.

Na Tabela 2, pode-se observar que as variáveis avaliadas para o tempo de 480 minutos após da pulverização dos tratamentos, com simulação da chuva de 30 mm, houve diferenças entre os tratamentos tanto para a severidade quanto para área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD). Todos os tratamentos envolvendo a aplicação de produtos químicos diferiram da testemunha.

Com exceção dos tratamentos testemunha, oxi. de cobre isoladamente e oxi. de cobre + PAFE 0,05% todos os outros igualaram entre si tanto para severidade (0,0 a 0,2 %) quanto para AACPD (0,7 a 3,9).

A severidade do tratamento oxi. de cobre associado a OM (0,5 %) + (PAFE 0,10%) foi zero e a do oxi. de cobre isoladamente foi de 2,4 %.

A porcentagem de controle da ferrugem variou de 77,1 % (oxi. de cobre + PAFE 0,05%) a 99,5 % (oxi. de cobre + OM 0,5 % + PAFE 0,10%). Os tratamentos oxi. de cobre (71,5%) e oxi. de cobre + PAFE 0,05% (77,1 %) igualaram entre si e diferiram dos demais tratamentos (severidade variando de 97,3 % a 99,5 %), em se tratando da porcentagem de controle.

As porcentagens de retenção de cobre na superfície foliar variou de 23,7 % (oxi. de cobre + OM 0,5% + PAFE 0,20 %) até 51,5 % (oxi. de cobre + OM 0,75%).

O tratamento envolvendo o oxi. de cobre + OM 0,75% foi o que reteve maior porcentagem de cobre, na superfície foliar (51,5%), entretanto não foi significativamente diferente do tratamento com oxi. de cobre + OM 0,75% + PAFE 0,05%, com 38,8 % de retenção.

O tratamento que obteve menor retenção de cobre na superfície foliar foi oxi. de cobre + OM 0,5% + PAFE 0,2 % com 23,7%.

Tabela 2. Avaliação das diferentes variáveis nos tratamentos com aplicação de oxiclreto de cobre ($3,0 \text{ kg ha}^{-1}$) isoladamente e em mistura com óleo mineral (OM) e polioxietileno alquil fenol éter (PAFE), submetidos a uma simulação de chuva de 30 mm, 480 minutos depois da pulverização dos tratamentos.

Tratamento	Severidade (%)	AACPD ¹	CF(%) ²	RCu(%) ³
	Média	Média	Média	Media
1.Oxi. de cobre	2,4b	66,3b	71,5b	36,8abc
2.Oxi. de cobre + OM 0,75 %	0,1cd	2,9c	98,5a	51,5a
3.Oxi. de cobre + PAFE 0,05 %	1,6bc	44,2 b	77,1b	31,1bc
4.Oxi. de cobre + OM 0,5 % + PAFE 0,05 %	0,2cd	5,8c	97,3a	30,1bc
5.Oxi. de cobre + OM 0,5 % + PAFE 0,10 %	0,0d	0,7c	99,5a	27,1bc
6.Oxi. de cobre + OM 0,5 % + PAFE 0,20 %	0,1cd	3,9c	97,9a	23,7c
7.Oxi. de cobre + OM 0,75 % + PAFE 0,05%;	0,1d	1,2c	99,2a	38,8ab
8.Oxi. de cobre + OM 1,0% + PAFE 0,10 %	0,1d	1,4c	99,1a	29,7bc
9.Controle	7,4a	2018,4a	-	-
CV ⁴	5,3	7,8	5,9	3,9

¹Área Abaixo da Curva do Progresso da Doença. ²Porcentagem de controle ferrugem. ³Porcentagem retenção de Cobre. ⁴Coefficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ($p\text{-valor} < 0,05$). Na construção das tabelas foram utilizados os dados originais.

O tratamento oxi. de cobre associado ao OM a 0,75% apresentou maior eficiência na retenção do fungicida na superfície na foliar, aumentando o tempo de controle da doença e conseqüentemente menor severidade de ferrugem nas folhas de café.

Na Tabela 3 encontram-se os dados de correlação das variáveis que correspondem ao controle da ferrugem, porcentagem de controle e a retenção de cobre na superfície foliar. Observa-se que uma maior retenção de cobre na superfície foliar correspondeu a uma maior porcentagem de controle da doença, tanto em severidade quanto para AACPD.

Tabela 3. Coeficiente de correlação das diferentes variáveis analisadas.

	Severidade (%)	AACPD ¹	CF(%) ²	RCu(%) ³
Severidade (%)	1			
AACPD ¹	0,98	1		
CF(%) ²	-0,94	-0,89	1	
RCu(%) ³	-0,06	-0,04	0,06	1

¹Area Abaixo da Curva Progresso da Doença. ²Porcentagem de controle ferrugem.

³Porcentagem retenção de cobre.

4. DISCUSSÃO

O controle da ferrugem do cafeeiro de café nos países da América Central (Honduras, Costa Rica, El Salvador, Nicarágua, Guatemala), México e da América do Sul (Brasil, Colômbia, Peru, Equador) normalmente é feito no período das chuvas. A doença inicia, após as primeiras chuvas e continua crescendo com o aumento do período chuvoso, até atingir o pico, cerca de nove a dez meses no período da colheita (Avelino et al. 2015; Zambolim, 2016)

Em se tratando dos fungicidas denominados protetores ou residuais, a eficiência do controle, está diretamente ligada aos depósitos dos produtos na superfície foliar. Portanto tais grupos de fungicidas são mais passíveis de serem removidos. Quanto aos fungicidas sistêmicos, a chuva também pode remover os depósitos da superfície foliar, mas por se tratar de fungicidas, que penetram nos tecidos da planta cerca de 30 a 60 minutos após a atomização, são menos afetados pela chuva. Daí a grande importância de se estudar o papel dos adjuvantes em associação com fungicida protetor, para que os depósitos permaneçam ativos na superfície foliar.

No experimento 1, cerca de 85% dos tratamentos apresentaram retenção superior a 30 % quando a chuva de 30 mm foi aplicada 120 minutos após a atomização dos produtos; por outro lado, somente 45% dos tratamentos retiveram o teor de cobre, acima de 30 %, quando a chuva foi aplicada após 480 minutos da aplicação dos produtos químicos. Portanto, obteve-se mudança no comportamento dos tratamentos em relação ao período de tempo (120 e 480 minutos), decorridos desde a pulverização dos produtos químicos até serem submetidos a chuva de 30 mm. Três tratamentos (oxi. de cobre + PAFE 0,1%, oxi. de cobre + PAFE 0,2% e oxi. de cobre + OM 1,0 % + PAFE 0,2%) retiveram menos de 30 % de cobre na superfície foliar, 120 minutos após a simulação da chuva de 30 mm. A grande maioria dos tratamentos (85 %), apresentaram retenção de cobre acima de 30 %, considerando o tempo de secagem dos depósitos de 120 minutos.

Quando os 20 tratamentos foram submetidos ao tempo de secagem de 480 minutos, 45% apresentaram teor de cobre abaixo de 30 %, enquanto 55 % obtiveram teor de cobre igual ou superior a 30 %, na superfície foliar. Portanto esses resultados demonstram que há variação na retenção de cobre, nas folhas de acordo com o adjuvante PAFE e óleo mineral, nas diferentes concentrações empregados.

Os tratamentos que envolveram a atomização do oxi. de cobre associado com: 1. OM (0,25, 0,5 e 1,0 %) e, 2. OM + PAFE (0,25 + 0,05%), (0,25 + 0,1%), (0,25% + 0,2%); e (1,0 % + 0,2%), respectivamente apresentaram teor de cobre abaixo de 30 %, no tempo de 480 minutos. Portanto, somente na concentração de 0,75% o OM proporcionou retenção de cobre, acima de 30 %; o adjuvante PAFE nas concentrações de 0,05% a 0,1% também proporcionou retenção de cobre acima de 40 %. A ação conjunta do PAFE e OM ao oxi. de cobre, proporcionou aumento na retenção de cobre acima de 30 %, nas concentrações de (0,5 % + 0,05%), (0,5 % + 1,0%), (0,5 % + 2,0%), (0,75 % + 0,05%), (0,75 % + 0,10%).

Os tratamentos que obtiveram teor de retenção de cobre acima de 30 %, na superfície foliar, após o tempo de secagem de 480 minutos, apresentaram em sua composição oxi. de cobre + OM 0,5 % e 0,75 %, independente da concentração do PAFE, enquanto que a associação do OM (1,0%) em qualquer concentração do PAFE não contribuiu para aumento da retenção de cobre na superfície foliar.

O adjuvante PAFE nas concentrações de 0,05 e 0,1 %, associado somente ao oxi. de cobre, também apresentou retenção de cobre acima de 30 %; na concentração de 0,2 % a retenção ficou abaixo de 30 %.

Cinco dos tratamentos que mais contribuíram para retenção de cobre, acima de 50 % na superfície foliar, após uma chuva de 30 mm, cerca de 120 minutos após a aplicação dos produtos químicos foram oxi. de cobre associado a OM 0,25, 0,5, 0,75 e 1,0 %, respectivamente e, OM + PAFE (1,0% + 0,1%). Entretanto, com o tempo de 480 minutos após a aplicação dos produtos químicos, somente dois tratamentos (40%) o oxi. de cobre associado ao OM 0,75% e ao OM + PAFE (1,0% + 0,1%), respectivamente apresentaram retenção igual ou superior a 30 %.

A avaliação das diferentes variáveis, avaliadas com aplicação de oxi. de cobre, OM e PAFE submetidos a uma simulação de chuva de 30 mm, 120 minutos após a pulverização, mostrou que os tratamentos comportaram semelhantemente, tanto para a severidade quanto para AACPD. Todos os tratamentos diferiram da testemunha (sem aplicação de produtos químicos). O nível de severidade máximo do tratamento testemunha foi de 11,3 % e o mínimo 0,0 % para oxi. de cobre + OM 0,5 % + PAFE 0,10%. Os outros tratamentos não foram significativamente diferentes entre si. A porcentagem de controle da ferrugem variou de 94,6 % (oxi. de cobre + PAFE 0,05 %) até 100 % (oxi. de cobre + OM 0,5 % + PAFE 0,10%) para o tempo de 120 minutos após simulação de chuva. Quanto a retenção de cobre na superfície foliar, o tratamento com oxi. de cobre + OM 0,75%, obteve o maior valor 55,2 %; os outros tratamentos não diferiram significativamente entre si, variando de 32,8 % (oxi. de cobre + OM 0,5% + PAFE 0,1%) até 39,9 % (oxi. de cobre + OM 0,75% + PAFE 0,05%).

A avaliação das diferentes variáveis nos tratamentos com aplicação de oxi. de cobre, OM e PAFE submetidos a uma simulação de chuva de 30 mm no tempo de 480 minutos, depois da pulverização mostraram que: os tratamentos diferiram significativamente em relação a severidade e AACPD da testemunha, mas não diferiram entre si. A testemunha, apresentou o maior valor de severidade (7,4 %) e, o menor valor para o tratamento oxi. de cobre + OM 0,5% + PAFE 0,1% (0,0%). Após 480 minutos da simulação da chuva, a severidade da doença variou de 0,0 % a 2,4% para o oxi. de cobre + OM 0,5 % + PAFE 0,1% (tratamento mais eficiente) e oxi. de

cobre (menos eficiente) sem adição de OM e PAFE, respectivamente. São escassos na literatura trabalhos relacionados à ação de chuva na efetividade de fungicidas. Oliveira et al. (2002) e Töfoli et al. (2002) verificaram baixa persistência do fungicida mancozeb em trigo (*Triticum aestivum* L.) e em tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), respectivamente, sob condições de chuva artificial, com incremento da ação de controle pela adição de óleo vegetal ao fungicida. Esses resultados mostram a grande importância do OM na retenção do fungicida protetor mancozeb.

A porcentagem de controle da ferrugem 480 minutos após simulação de chuva, variou de 71,5 % (oxi. de cobre) a 99,5 % (oxi. de cobre OM 0,5 % + PAFE 0,10 %). Os tratamentos oxi. de cobre e oxi. de cobre + PAFE 0,05 % não diferiram significativamente entre si, quando se analisou a variável severidade da ferrugem, mas diferiram dos demais tratamentos, em relação a porcentagem de controle da ferrugem. Estudos realizados em cafeeiro por Tofoli et al (2002) observaram que a ocorrência de chuva induzida de 30 mm aos 60 e 120 min após a pulverização, promoveu decréscimo da efetividade de oxi. de cobre no controle da ferrugem. No trabalho de Oliveira et al. (2002), as diferenças dos tratamentos envolvendo oxi. de cobre na ausência e na presença de chuvas semanais de 20 mm, não foram significativas, apesar do seu melhor desempenho na ausência de chuva. Os autores relataram ainda que não encontraram diferenças significativas na incidência e severidade da ferrugem do cafeeiro, para os tratamentos que receberam e que não receberam chuva simulada, indicando boa persistência dos fungicidas cúpricos. De uma maneira geral, o óxido cuproso apresentou melhor resultado na ausência de óleo do que na mistura com óleo; com o hidróxido de cobre ocorreu o inverso, e o oxi. de cobre não teve ação significativa na presença do óleo mineral. No presente trabalho, os tratamentos oxi. de cobre e oxi. de cobre + PAFE 0,05%, foram os menos eficientes no controle da ferrugem. Entretanto os tratamentos envolvendo a aplicação de oxi. de cobre mais OM 0,5 % + PAFE 0,10 % foi o mais eficiente no controle da ferrugem do cafeeiro, 480 minutos após chuva de 30 mm. Quanto a porcentagem de retenção de cobre na superfície foliar submetida a chuva de 30 mm, 480 minutos após a aplicação dos produtos os dados variaram de 23,7 % (oxi. de cobre + OM 0,5 % + PAFE 0,20 %) a 51,5 % (oxi. de cobre + OM 0,75%).

De um modo geral, o emprego do adjuvante PAFE a calda fungicida, não resultou em efeito significativo no aumento da retenção de cobre na superfície foliar e nem na redução da severidade e AACPD da ferrugem do cafeeiro; dados similares a estes foram relatados por Jesus et al. (2015), onde não foram obtidas diferenças significativas na incidência de ferrugem, com a aplicação de hidróxido de cobre com adição de adjuvantes. No presente trabalho utilizando o coeficiente de correlação de Person, a maior retenção de cobre na superfície foliar, correlacionou positiva e significativamente com a maior porcentagem de controle da doença, tanto em relação a severidade quanto para AACPD. Portanto os resultados não são convergentes em relação a presença de adjuvante na calda contendo oxi. de cobre.

Em estudos prévios quando a porcentagem de óleo mineral na mistura com cúpricos foi de 0,3%, encontrou-se maior persistência do cobre na superfície foliar (Oliveira et al., 2002). Esse resultado difere, dos dados encontrados no presente trabalho, onde os melhores resultados de retenção foram obtidos com a mistura de oxi. de cobre adicionados ao OM 0,75%. Para oxi. de cobre na dose de 3,0 kg ha⁻¹, a concentração de OM na mistura deve ser de 0,75%, para que haja maior retenção de cobre na superfície foliar. A retenção do cobre na superfície da folha é muito importante, devido ao fato do controle da ferrugem, ser feito na época das chuvas. Portanto, com uma maior retenção do cobre, desde que a distribuição de gotas na superfície foliar seja uniforme, as folhas ficarão protegidas até a senescência, devido ao fato do íon cobre não sofrer decomposição, devido ser metal pesado. A lavagem pela ação da chuva é a maneira mais importante de remover os depósitos de cobre das folhas. Outro ponto importante é que, o íon cobre é um micronutriente importante para o cafeeiro e ocasiona o que se denomina de ‘efeito tônico’ nas folhas. Com isso as folhas não caem prematuramente e continuarão fotossintetizando e fornecendo carboidratos para enchimento dos frutos do cafeeiro (Cunha et al., 2004).

Neste estudo, observou-se que os tratamentos que possuíam o adjuvante PAFE em associação com OM e oxi. de cobre, não deferiram significativamente entre si, nas variáveis severidade, AACPD e aumento da porcentagem de controle de ferrugem nos tempos de simulação de chuva aos 120 e 480 minutos, após a aplicação dos produtos.

Rodrigues et al., (2011), encontraram resultados semelhantes, quando utilizou a mescla de diferentes fontes de cobre com adjuvante, no controle da ferrugem.

A concentração do adjuvante na calda fungicida com fungicidas cúpricos, principalmente o oxi. de cobre em pó-molhável, não deve ser superior a 0,1%. A função dos adjuvantes é reduzir a tensão superficial das gotas de pulverização, permitindo maior espalhamento na superfície foliar. Se a concentração é alta (0,2%), o adjuvante pode causar maior escorrimento da calda fungicida nas folhas e conseqüentemente, pode haver redução dos depósitos dos produtos químicos (Gaion et al., 2015, Silva et al., 2008). Ainda de acordo com Gaion et al., (2015), o adjuvante em alta concentração (0,2%) na calda fungicida após a pulverização, forma uma camada homogênea e fina do fungicida, permitindo que as gotas sejam espalhadas, com maior velocidade na superfície foliar, tornando-as mais facilmente removidas pela ação da chuva. Costa et al., (2009) relataram que, quando se adicionou adjuvante a calda contendo inseticida, não obteve diferenças significativas, na retenção do produto na superfície da folha, possivelmente devido ao aumento do potencial de escorrimento da calda.

O sucesso da aplicação de produtos químicos para o controle de doenças, vai depender de uma série de fatores que devem ser considerados, como as condições da superfície foliar (lisa, cerosa, presença de tricomas), climáticas (temperatura, umidade relativa, vento, sol e chuva), tipo de equipamento e bicos de pulverização (Silva, 2008). Quando a formulação do fungicida for pó-molhável e a superfície da folha for cerosa como no presente trabalho, recomenda-se sempre o emprego de adjuvantes à calda, para aumentar a eficiência do produto químico, no controle da doença. Daí a necessidade de considerar a proporção de óleo mineral e de adjuvantes às caldas. De acordo com Rich (1954) a quantidade de produto químico que adere à superfície foliar na pulverização e a quantidade de produto que permanece na folha, após a ação da chuva é um dos principais fatores que determinam a quantidade de resíduo ativo na superfície foliar, para um efetivo controle de doenças. Portanto para fungicidas protetores ou residuais, a chuva é considerada o fator que mais remove depósito de produtos químicos das folhas. Uma única chuva considerada pesada remove mais produto químico da superfície foliar do que várias chuvas fracas com o mesmo volume.

A estratégia do uso de adjuvantes na calda fungicida pode melhorar a ação de certos fungicidas sensíveis à ação da chuva, por propiciar melhor tenacidade à superfície foliar e principalmente sob ação da chuva (Suheri & Latin, 1991).

Neste trabalho conclui-se que, os efeitos da adição de adjuvante PAFE e óleo mineral ao fungicida oxi. de cobre, submetido a ação da chuva devem ser analisados isoladamente para cada produto e formulação e pode variar com a superfície foliar e o tipo de patógeno.

Conclui-se que a eficiência do oxi. de cobre no controle da ferrugem varia com a concentração do adjuvante e do óleo mineral à calda. Com exceção dos tratamentos oxi. de cobre isoladamente e oxi. de cobre associado ao adjuvante PAFE 0,05% em todos os outros tratamentos, tanto o óleo mineral quanto o PAFE favoreceram o aumento de controle da ferrugem. Em termos de eficiência de controle da ferrugem o tratamento mais eficiente foi o que envolveu o oxi. de cobre associado ao OM 0,5% + PAFE 0,1%.

REFERÊNCIAS

- Antuniassi, U. R. et al. 2005 Desempenho de sistema de aplicação terrestre para controle da ferrugem de soja. In: Reunião de pesquisa de soja da região central do brasil, 27., 2005, Cornélio Procópio. Resumos... Londrina: EMBRAPA SOJA,. p. 217-218.
- Avelino, J, Cristancho, M, Georgiou, S, Imbach, P, Aguilar, L, Bornemann, G, Läderach, P, Anzueto, F, Hruska, AJ, Morales, C. 2015. The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. Food Sec. DOI: 10.1007/s12571-015-0446-9.
- Bonelli, M. A. P. O. et al. 2005. Desempenho de sistemas de aplicação aérea para controle de ferrugem da soja. In: Reunião de pesquisa de soja da região central do brasil, 27., Cornélio Procópio. Resumos... Londrina: EMBRAPA SOJA, 2005. p. 119-120.
- Cabras, P. et al. 2001. The effect of simulated rain on folpet and mancozeb residues on grapes and wine leaves. Journal of environmental Science and Health, v.36, n. 5, p.609-618.
- Campbell, C. L.; Madden, L. V. 1990. Introduction to plant disease epidemiology. New York: John Wiley & Sons. 655 p.
- Chaves M.G, da Cruz Filho, J., Carvalho, M.G., Matsuoka, K., Coelho, D.T., Shimoy C.A. 1970. Ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br). Revisão de literatura com observações e comentários sobre a enfermidade no Brasil. Seiva 30:1–75
- Christofolletti, J. C. 1999. Considerações sobre a deriva nas pulverizações agrícolas e seu controle. São Paulo: Teejet South América, 15 p.
- Costa, M.; Alberto, R. De, G. 2009. Determinação de área foliar e retenção de líquido por folhas de café em pulverização a alto volume. Nucleus, Vol.7. p277-284.

- Cunha, R; Guimarães , A; Chalfoun, S. 2004. 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.
- Debortoli, M. 2008. Efeito do Rainfistness e adjuvantes na aplicação de fungicidas foliares em cultivos de soja. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS). Santa Maria, RS, Brasil.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Eskes, A.B.; M. Toma-Braghini. 1983. Assessment methods for resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk.& Br.) PI. Prot. Bull. FAO 29: 56-66
- Eskes, AB. 1982. The use of leaf disk inoculations in assessing resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*). *Netherlands Journal of Plant Pathology* 88:127-141.
- Gaion, L.; Lasmar, O.; Costa Ferreira, M. 2015. Efeito da adição de adjuvantes á calda com fungicida em plantas de citros sob chuva artificial. *Citrus Research & Technology*. v.36, n.2.
- Green, J. M. 2001 Factors that influence adjuvant performance. In: International symposium on adjuvants for agrochemicals, 6. Amsterdam. Proceedings... Amsterdam: ISAA Foundation, 2001. p.179-190.
- Jesus, F.F; Leite, J.F.B.; Goulart, R.R.; Miranda, G.R.B. 2015. Efeito de adjuvantes associados ao hidróxido de cobre no controle da ferrugem do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) 7ª Jornada científica e tecnologica do IFSULDEMINAS. 40 simpósio de pós graduação.
- McCook, S. 2006. Global rust belt: *Hemileia vastatrix* and the ecological integration of word coffee production since 1850. *Journal of Global History*. p177-195.
- Oliveira, S.H.F.; Santos, J.M.F.; Guzzo, S.D. 2002. Efeito da chuva sobre a tenacidade e eficiência de fungicidas cúpricos associados ao óleo vegetal no controle da ferrugem do cafeeiro. *Fitopatologia Brasileira* 27, 581–585.

- Reynolds, K. L., Reilly, C. C., Hotchkiss, M. W. 1994. Removal of fentin hydroxide from pecan seedlings by simulated rain. *Plant Disease*, v.78, n.9, p.857-860,
- Rich, S. 1954. Dynamics of deposition and tenacity of fungicides. *Phytopathology*, v.44, p.203-213,
- Rodrigues, F.; Patricio, A.; Otávio, L. Fernandes dos Santos, J.M.; Reis, C.; Jorge, J.; Padua Duarte, R.; Mendonça, P. 2011. Aplicação mecanizada de fungicidas visando o controle da mancha aureolada e outras doenças do cafeeiro. VII Simposio de pesquisa dos cafés do Brasil. Araxá, M.G.
- Silva, A.; Leite, M.; Ferreira, M. 2008. Estimativa da área foliar e capacidade de retenção de calda fitossanitária em cafeeiro. *Biosci. J. Uberlandia*, v.24, n.3 p 66-73
- Suheri, B. & Latin, C. 1991. Retention of fungicides for control of *Alternaria* leaf blight of muskmelon under greenhouse conditions. *Plant Disease*, p.1013-1015,.
- Töfoli, J.M.; Oliveira, S.H.F.; Domungues, R.J.; Santos, J.M.F.; Martins, E.M.F. 2002. Desempenho de azoxystrobin no controle da ferrugem do cafeeiro sob condições de chuva inducida. *Arquivos do Instituto Biológico*. v.69, n.1, p:93-96
- Tracker, J. R. M.; Young, R. D. F. 1999. Effects of six adjuvants on the rainfastness of chlorpyrifos formulated as an emulsifiable concentrate. *Extended Summaries: IUPAC Conference - Pesticide Science*, v.55, p.198-200.
- Tu, M.; Randall, J. M. 2003. Adjuvants. In: TU, M. et al. *Weed control methods handbook, the nature conservancy*. p. 1-24
- Underwood, A. K. 2000. Adjuvant trends for the new millennium. *Weed Technology* v. 14, n. 4, p. 765-772,
- Witt, J. M. *Agricultural spray adjuvants*. Ithaca, NY: Cornell University, 2001. Disponível em: <<http://pmep.cce.cornell.edu/facts-slides-self/facts/genpeapp-adjuvants.html>>. Acesso em: 10 out. 2016.
- Zambolim, L. 2016. Current status and management of coffee leaf rust in Brazil. *Trop. Plant-pathol*. 41:1-8

Zambolim, L. & Chaves, G.M. Efeito de baixas temperaturas e do binômio temperatura-umidade relativa sobre a viabilidade dos urediosporos de *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. e *Uromyces phaseoli typica* Arth. *Experientiae* 17:151-184. 1974.

Zambolim, L.; Picanço, M.; Da Silva, A.; Ferreira, L.; Ferreira, F. Jesus Junior, W.C. 2008. Produtos Fitosanitarios (fungicida, inseticida, acaricida e herbicidas). Viçosa. Editora UFV. Pag. 263-348

Zuluaga, C.; Buritica, P.; Marín, M. 2008. Generalidades de los uredinales (fungí: Basidiomycota) y sus relaciones filogenéticas. *Acta biología*. Colombia. Volumen 14. Número 1:41-56.