



**GABRIELLA CRISTINA BOTELHO MAGESTE DA SILVA**

**PROGRESSO TEMPORAL E ESCALA DIAGRAMÁTICA DA  
FERRUGEM DA FIGUEIRA**

**LAVRAS-MG  
2019**

**GABRIELLA CRISTINA BOTELHO MAGESTE DA SILVA**

**PROGRESSO TEMPORAL E ESCALA DIAGRAMÁTICA DA FERRUGEM DA  
FIGUEIRA**

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

Prof. Dr. Rafael Pio  
Orientador

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza  
Coorientador

**LAVRAS-MG  
2019**

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

da Silva, Gabriella Cristina Botelho Mageste.  
Progresso temporal e Escala diagramática da ferrugem da  
figueira / Gabriella Cristina Botelho Mageste da Silva. - 2019.  
69 p. : il.

Orientador(a): Rafael Pio.  
Coorientador(a): Edson Ampélio Pozza.  
Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal  
de Lavras, 2019.  
Bibliografia.

1. Ficus carica L. 2. Cerotelium fici (Cast) Arth. 3.  
Patometria. I. Pio, Rafael. II. Pozza, Edson Ampélio. III.  
Título.

**GABRIELLA CRISTINA BOTELHO MAGESTE DA SILVA**

**PROGRESSO TEMPORAL E ESCALA DIAGRAMÁTICA DA FERRUGEM DA  
FIGUEIRA**

**TEMPORAL PROGRESS AND DIAGRAMMATIC SCALE FOR FIG RUST**

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

APROVADA em 21 de fevereiro de 2019.

Dr. Flávio Henrique Vasconcelos de Medeiros      UFLA

Dr. Ângelo Albérico Alvarenga                      EPAMIG

Prof. Dr. Rafael Pio  
Orientador

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza  
Coorientador

**LAVRAS-MG  
2019**

*Aos mestres, que da Escola ABC às Universidades por onde passei, transmitiram a mim, além do conhecimento em sala de aula, a sempre questionar, duvidar, pensar e, principalmente, a sonhar.*

*Dedico*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por seu incomparável amor por mim. Nos momentos que mais precisei, senti que estava comigo, e isso tornou a caminhada mais leve.

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade a mim concedida, e por todo o amparo necessário para o desenvolvimento deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) - código de financiamento 001.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rafael Pio, pelo auxílio na condução dos trabalhos e preocupação com meu bem-estar e, ao meu coorientador, Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza, pela paciência e grande contribuição científica.

Aos meus pais, Tadeu e Cida, que mesmo distantes, deram comigo todos os passos até essa realização. Foram 10 anos longe de casa, mas nunca me senti sozinha, pois tê-los me incentivando foi minha maior força. Tenho em casa o meu melhor professor de Agronomia e a melhor amiga que eu poderia ter.

Ao meu amado Alan Felipe, que todos os dias me mostra ser muito mais que um namorado, e sim, um grande parceiro de vida! O amor que sinto transcende distâncias, e terminar essa etapa me fez ter mais certeza ainda, de que sou muito melhor com ele ao meu lado.

Aos professores (em especial ao Pedro-Tatu), aos colaboradores do setor de Fruticultura do Departamento de Agricultura e aos estudantes da graduação, pelo auxílio na execução das atividades do trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Epidemiologia do Departamento de Fitopatologia (em especial à Renata Cristina), pela imensa colaboração na interpretação de dados, construção dos artigos e alegrias partilhadas na salinha.

E às queridas amigas que nessa Universidade fiz, em especial: Maráisa Tadeu, Dayanne Medrade, Natália Suarez e Letícia Reis. Muito mais que me ajudar, vocês foram luz nessa trajetória! Obrigada pelas risadas infinitas, pela companhia no pomar e fora dele, pelos almoços, lanches (muitos, inclusive) e confidências.

**MUITO OBRIGADA!**

## RESUMO

A figueira (*Ficus carica* L.) é considerada uma das espécies frutíferas mais importantes cultivadas mundialmente. A Turquia é o maior produtor de figos do mundo, seguido de Egito, Marrocos, Argélia e Irã. O Brasil é o 9º no *ranking* dos maiores países produtores. Nos estados, a produção destaca-se no Rio Grande do Sul, São Paulo e Minas Gerais. Em regiões subtropicais, a figueira é explorada para abastecer o mercado de frutas frescas ou para produção de doces e compotas. Porém, algumas doenças incidem sobre as figueiras nos trópicos. A ferrugem da figueira [*Cerotelium fici* (Cast.) Arth.] foi detectada no país, há mais de 90 anos e está presente em todas as áreas de cultivo, constituindo séria e constante ameaça. Em infecções severas, as folhas caem prematuramente, reduzindo o acúmulo de carboidratos e comprometendo o crescimento dos frutos e o próximo ciclo produtivo. Considerando a ausência de estudos epidemiológicos e métodos padronizados para quantificar a severidade da ferrugem, o objetivo desse trabalho foi criar um método para quantificar a severidade da doença no campo, e observar seu progresso temporal por 11 meses. Inicialmente, uma escala diagramática foi desenvolvida com 6 notas e intervalos de porcentagem: 0(0%); 1(0,1-5,0%); 2(5,1-15,0%); 3(15,1-25,0%); 4(25,1-50%) e 5(>50%), baseadas nos intervalos de frequência encontrados no campo. O uso da escala proporcionou bons níveis de acurácia, precisão, repetibilidade e reprodutibilidade dos avaliadores. Posteriormente, utilizando a escala desenvolvida, o progresso da doença foi avaliado para 18 cultivares de *F.carica* L. em campo experimental da Universidade Federal de Lavras. Os tratamentos consistiram de plantas sem pulverização (testemunha) e plantas com pulverização quinzenal de fungicidas a base de Tebuconazol (0,6L/ha p.c.), Mancozebe (6,7kg/ha p.c.) e Azoxistrobina + Difenconazol (0,6L/ha p.c.). O monitoramento da doença foi feito semanalmente no período de agosto de 2017 a julho de 2018. O resultado referente à média de severidade da doença nas parcelas foi plotado em gráfico da curva de progresso da doença (AACPD) da cultivar representativa junto às médias das variáveis climáticas temperaturas máxima, mínima e média (°C), umidade relativa do ar (%), insolação (h) e o acumulado de precipitação (mm). Foi realizado um teste de média para os valores de AACPD, para agrupar as cultivares com maiores e menores índices, e avaliada a correlação entre as condições climáticas e o progresso da ferrugem. A ferrugem ocorreu durante todo o período de avaliação do experimento, em todas as parcelas. Foi observada incidência de ferrugem em todas as cultivares, porém, houve variação na severidade média da doença entre os tratamentos. Para algumas cultivares, nas parcelas sem aplicações de fungicidas, o índice máximo de severidade (100%), foi alcançado mais rápido comparado às parcelas pulverizadas. Houve correlação significativa entre as médias de severidade da doença e as variáveis climáticas para os dois tratamentos. Houve diferença significativa para AACPD entre os tratamentos, e a cultivar ‘Troiano’ apresentou o menor índice do tratamento, com aplicação de fungicidas. Assim, conclui-se que a cultivar ‘Troiano’ apresenta um grau de resistência à ferrugem da figueira, sendo uma alternativa para diversificação em pomares nos trópicos.

**Palavras-chave:** *Ficus carica* L. *Cerotelium fici* (Cast.) Arth. Patometria. Resistência.

## ABSTRACT

Fig tree (*Ficus carica* L.) is considered one of the most important fruit species cultivated worldwide. Turkey is the largest producer of figs in the world, followed by Egypt, Morocco, Algeria and Iran. Brazil is 9<sup>th</sup> in ranking of the most producing countries. In the states, production stands out in Rio Grande do Sul, São Paulo and Minas Gerais. In subtropical regions, fig tree is explored to supply the market for fresh fruit or for the production of sweets and jams. However, some diseases affect the fig trees in the tropics. The fig rust [*Cerotelium fici* (Cast.) Arth.] has been detected in the country more than 90 years ago and is present in all cultivated areas, constituting a serious and constant threat. In severe infections the leaves fall prematurely, reducing the accumulation of carbohydrates and compromising the growth of fruits and the next productive cycle. Considering the absence of epidemiological studies and standardized methods to quantify the severity of the rust, the objective of this work was to create a method to quantify the severity of the disease on field and to observe its temporal progress for 11 months. Initially, a diagrammatic scale was developed with 6 notes and percentage intervals: 0 (0%); 1 (0.1-5.0%); 2 (5.1-15.0%); 3 (15.1-25.0%); 4 (25.1-50%) and 5 (> 50%), based on the frequency ranges found in the field. The use of the scale provided good levels of accuracy, precision, repeatability and reproducibility of the evaluators. Subsequently, using the developed scale, the progress of the disease was evaluated for 18 cultivars of *F.carica* L. in the experimental field of the Federal University of Lavras. Disease monitoring was done weekly from August 2017 to July 2018. The result referring to the mean of the disease's severity in the plots was plotted on the graph of the disease progress curve (AACPD) of the representative cultivar together with the means of the climatic variables maximum, medium and minimum temperatures (°C), relative humidity of air (%), insolation (h), and the cumulative precipitation (mm). A test for average AACPD values was performed to group the cultivars with higher and lower indexes, and the correlation between the climatic conditions and the rust progress was evaluated. The rust occurred throughout the evaluation period of the experiment in all plots. It was observed incidence of rust in all cultivars, but there was a variation in the average disease severity between treatments. For some cultivars, in the plots without fungicide applications, the maximum severity index (100.0%) was reached faster compared to the sprayed plots. There was a significant correlation between the mean of the disease's severity and the climatic variables for the two treatments. There was a significant difference for AACPD between the treatments and the 'Troiano' presented the lowest index of treatment with fungicide application. Thus, it can be concluded that the 'Troiano' shows some degree of resistance to the fig rust, being an alternative to the diversification in the tropical orchards.

**Key-words:** *Ficus carica* L. *Cerotelium fici* (Cast.) Arth. Pathometry. Resistance.

## SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE .....	21
1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1. A figueira e sua importância econômica .....	13
2.2 Histórico e sintomatologia da ferrugem da figueira .....	16
2.3 Epidemiologia e controle da ferrugem .....	17
2.4 Avaliação da intensidade da doença e escalas diagramáticas.....	18
2.5 Progresso da doença e relação com variáveis climáticas .....	19
SEGUNDA PARTE - Artigos submetidos para publicação em periódicos .....	25
Artigo 1- ELABORAÇÃO E VALIDAÇÃO DE ESCALA DIAGRAMÁTICA PARA AVALIAR A SEVERIDADE DA FERRUGEM EM FOLHAS DE FIGUEIRA .....	26
INTRODUÇÃO.....	28
MATERIAL E MÉTODOS.....	29
Elaboração da escala diagramática .....	29
Validação da escala diagramática.....	30
RESULTADOS .....	31
Elaboração da escala.....	31
Validação da escala .....	35
DISCUSSÃO .....	38
AGRADECIMENTOS .....	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	42
Artigo 2- CORRELAÇÃO DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS COM PROGRESSO DA FERRUGEM DA FIGUEIRA ( <i>Cerotelium fici</i> ) SOB PULVERIZAÇÃO COM FUNGICIDAS.....	46
INTRODUÇÃO.....	48
MATERIAL E MÉTODOS.....	50
Caracterização da área experimental .....	50
Tratos culturais .....	51
Delineamento experimental e tratamentos .....	52
Variáveis climáticas.....	52
Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) .....	52

Análises estatísticas .....	53
RESULTADOS .....	54
Descrição epidemiológica da doença .....	54
Relação das variáveis climáticas com a ferrugem .....	57
AACPD .....	59
DISCUSSÃO .....	61
AGRADECIMENTOS .....	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	65

## **PRIMEIRA PARTE**

## 1 INTRODUÇÃO

A figueira (*Ficus carica* L.) é uma espécie frutífera apreciada desde a antiguidade, no entanto, não se sabe exatamente quando se deu início sua domesticação pelo homem. Escritos gregos e romanos fizeram menção à frutífera em muitos dos seus registros, considerando-a uma planta sagrada. Por se tratar de uma das primeiras frutíferas domesticadas, foi uma das primeiras plantas a ter frutas secas, com ótima resistência no armazenamento.

A Turquia é o país com maior produção de figos no mundo, com 305.700 toneladas produzidas no ano de 2017. Egito, Marrocos Argélia e Irã são, em seguida, os países com expressiva produção de figos, voltada tanto para o mercado local, quanto para a exportação.

No hemisfério sul, Brasil e Chile são os únicos países produtores de figo. Embora não esteja entre os principais produtores, o Brasil ocupa a 9ª posição no *ranking* mundial, com média de 25.883 toneladas, e tem produtividade acima dos países nas primeiras posições (9,9 ton/ha). A produção brasileira é voltada para abastecimento local, com figos maduros para mesa e imaturos para produção de doces, compotas e figos cristalizados, além da exportação para países do hemisfério norte, uma vez que a produção nacional ocorre na entressafra dos principais países produtores.

A figueira é uma frutífera tipicamente de clima temperado, mas devido a sua rusticidade e facilidade em se adaptar a diferentes climas e solos, foi possível a sua expansão para ambientes sob diversas condições, elevando a sua importância no mercado mundial de frutas. No entanto, quando cultivada nos trópicos, algumas doenças incidem sobre as figueiras, principalmente a ferrugem da figueira [*Cerotelium fici* (Cast.) Arth.].

A ferrugem foi detectada pela primeira vez no Brasil há mais de 90 anos, e está presente em várias áreas de cultivo nos trópicos. O sucesso da ficicultura está intimamente relacionado com o controle da ferrugem, sendo assim, é necessário desenvolver métodos de controle, sejam culturais químicos ou genéticos, para conter o avanço da doença no campo.

Há poucos estudos epidemiológicos relacionados a ferrugem da figueira, e esses são necessários para avaliar a magnitude da doença no campo, sendo possível a tomada de decisão efetiva em seu controle.

Dentre os métodos para avaliar doenças de plantas, destacam-se os visuais. São simples, não requerem emprego de equipamentos sofisticados e fornecem boa acurácia e precisão. Para a escolha do método visual mais adequado deve-se levar em consideração a doença, o órgão afetado, sua aplicabilidade em diferentes situações, acessibilidade, e sua capacidade de gerar resultados reprodutíveis e padronizados. As escalas diagramáticas são exemplos de método

visual comumente usados, por aumentarem a acurácia e precisão das avaliações, além de fácil utilização.

Representações esquemáticas de órgãos da planta, ou da planta inteira, são feitas, levando em consideração diferentes níveis de severidade da doença no campo, criando uma padronização das estimativas e aumentando a acurácia, precisão e reprodutibilidade dos dados. Uma vez estimada a doença, é possível fazer a análise do seu progresso, e ainda relacioná-la com fatores ambientais, que exercem papel fundamental no desenvolvimento de epidemias.

O conhecimento do efeito climático (temperatura do ar, umidade relativa do ar, luz, etc.) sobre o progresso das doenças, garante a adoção de medidas assertivas de manejo, tanto no campo quanto na experimentação para pesquisa.

Visando entender o comportamento da ferrugem da figueira no campo, objetivou-se desenvolver e validar uma escala diagramática para ferrugem da figueira e avaliar o desenvolvimento da doença no campo em plantas pulverizadas com fungicidas em um período de 11 meses (agosto/2017 a julho/2018).

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A figueira e sua importância econômica

*Ficus carica* L. é o nome botânico da figueira cultivada comercialmente em todo mundo. A planta é uma espécie frutífera domesticada, com relatos datados desde os tempos mais remotos. Desenhos dos frutos foram encontrados em pirâmides no Egito, e acredita-se que as plantas faziam parte da ornamentação dos famosos jardins suspensos da Babilônia, do reino de Nabucodonosor II na Mesopotâmia (604 a.C. a 562 a.C.).

Sua origem não tem delimitação muito precisa, mas sabe-se que seu ancestral selvagem foi primeiramente identificado na Ásia Menor, na bacia do Mediterrâneo (CHALFUN; ARAÚJO, VILLA, 2012). No Brasil, a figueira foi introduzida em 1532, a partir da primeira expedição de Martin de Afonso de Souza, mas somente com a expansão da colonização italiana e a introdução de grande número de variedades de figueiras, a cultura se expandiu para, posteriormente, ser explorada para fins comerciais (BOLIANI; CORRÊA, 1999).

Pertencente à ordem *Rosales* e à família *Moraceae*, o gênero *Ficus* contém cerca de 750 espécies. Algumas dessas são conhecidas como figueiras do Brasil, sendo as de maior importância, o figo (*Ficus carica*) e a seringueira (*Ficus elastica*) (CARAUTA; DIAZ, 2002). Quase todas as espécies desse gênero exsudam um látex rico em uma enzima proteolítica, a ficcina, que, em contato com a pele, causa irritação e pode provocar dermatite nos trabalhadores (PIO; LEONEL; CHAGAS, 2011).

Além do consumo do fruto maduro *in natura* e para doces de corte (AMARO, 1997), os figos imaturos são utilizados na produção de doces, geleias, compotas e figos cristalizados (DALASTRA et al., 2009). O valor nutritivo da fruta pode mudar de acordo com a variedade e está em seu elevado conteúdo de sais minerais e açúcar, sendo um dos frutos de clima temperado que possuem mais cálcio (SILVA; CONCEIÇÃO, 2011).

Apesar de ser uma frutífera nativa de regiões com predomínio de clima temperado, a figueira apresenta boa adaptação a diversas condições edafoclimáticas (CHALFUN; ABRAHÃO; ALVARENGA, 2012). Inverno frio, chuvas bem distribuídas e baixa umidade atmosférica são características climáticas encontradas nas regiões tropicais e subtropicais, e que favorecem o desenvolvimento da planta (PENTEADO, 1995), impulsionando a expansão da cultura em países como Brasil e litoral Norte do Chile (KHEMIRA; MARS, 2017).

Os frutos da figueira são classificados em três camadas (MAIA DE SOUZA, 1988): boloitos (iniciam seu desenvolvimento no outono, ficam hibernados durante o inverno e

amadurecem na primavera, porém, os frutos não são comestíveis); lampos (iniciam a sua formação no outono, ficam em hibernação no inverno e, na primavera seguinte, esses pequenos gomos que se encontram na extremidade dos ramos desenvolvem-se e amadurecem no início do verão) e; vindimos (desenvolvem-se na primavera, na axila das folhas dos ramos do ano em vegetação e amadurecem do verão ao outono).

Conforme o número de camadas de figo e a exigência ou não de polinização (chamada de caprificação), as cultivares podem ser classificadas em cinco grupos de figueiras (MAIA DE SOUZA, 1988):

- a) Grupo Cachopo (*Ficus carica violacela*): Cultivares que produzem figos lampos e vindimos, dispensando caprificação. As principais cultivares desse grupo são: Roxo de Valinhos, Cachopeira, Colhão-de-burro, Colo de Dama, Lampa Branca, Milheira Branca, Bruswik, Pingo de Mel, Princesa, Três num Prato, e Da Ponte de Quarteira.
- b) Grupo São Pedro (*Ficus carica intermedia*): Cultivares que produzem figos lampos e vindimos, sendo esses últimos com a necessidade de caprificação para fixação dos frutos. As principais cultivares desse grupo são: Lampa preta, Carvalhal e Dauphine.
- c) Grupo Comum ou Asiático (*Ficus carica hortensis*): Cultivares que produzem apenas figos vindimos, dispensando caprificação para a fixação dos frutos. As principais cultivares desse grupo: Bêbara branca, Troiano, Lemon, Burjassote Branco, Coelha, Cotia, Leiteira, Moscatel de Odeáxeres, Rainha e Urjal.
- d) Grupo Smyrna (*Ficus carica smyrniaca*): Cultivares apenas produtoras de figos vindimos, com necessidade de caprificação para a fixação dos frutos. As principais cultivares desse grupo são: Euchária branca, Negro de bursa e Euchária preta.
- e) Grupo Baforeira: Cultivares produtoras de figos lampos, vindimos e boloitos, exigindo caprificação de todas as camadas para que não se interrompa o ciclo biológico da *Blastophaga psenes*. As principais cultivares deste grupo são: Toque branco e Toque preto.

É bastante frequente que uma mesma variedade tenha nomes diferentes em uma mesma região e, principalmente, em diferentes países (PIO; LEONEL; CHAGAS, 2011), causando problemas nas descrições das cultivares (MAIORANO; PIO; LEONEL, 2018). O maior exemplo é a única figueira explorada comercialmente no Brasil, a ‘Roxo de Valinhos’, também conhecida como Corbo, Nero, Brevia Negra, Grosse Violette, de Bordeaux, Negro Largo, Portugal Black, Nigra, dentre outros.

As figueiras baforeiras (caprifigos) são da única classe que apresenta as três camadas de figo, ou seja, com sicônios em fase de desenvolvimento ao longo de todo o ano. A espécie *Ficus carica* é ginodioica, havendo duas distintas formas de plantas (MAIORANO et al., 1997): o caprifigo, monoico, considerado selvagem, e que necessita da fecundação das suas flores por pólen transportado pela vespa *Blastophaga psenes*; e o figo, do tipo dioico, que apresentam somente flores pistiladas, porém são capazes de desenvolver-se por partenocarpia e, nesse caso, formam sementes estéreis (CHALFUN; HOFFMANN; PASQUAL, 1998).

A relação entre o caprifigo e a *Blastophaga psenes* é um fenômeno biológico de mútua adaptação entre um vegetal e um inseto (PIO; LEONEL; CHAGAS, 2011). Sabe-se que a *Blastophaga psenes* não vive por muito tempo se não estiver no interior dos sicônios, entretanto, os sicônios do caprifigo e de algumas classes de figo, não chegam a amadurecer se não houver estímulo provocado pela polinização da *Blastophaga psenes*.

Em relação ao cenário econômico mundial, a Turquia é o país de maior destaque na ficicultura. Com uma produção de 305.700 toneladas/ano e área cultivada de 50.330 hectares (FAOSTAT, 2018), o figo turco abastece o mercado local e é exportado para países do Oriente. Em seguida, Egito, Marrocos e Argélia são os três maiores produtores de figo, com média superior a 100.000 toneladas/ano de figos.

Considerado o maior produtor do hemisfério Sul, o Brasil é o 9º no *ranking* de países produtores de figos, com média de 25.883 toneladas, segundo o SIDRA (Banco de dados agregados do IBGE) (IBGE, 2018). Nos últimos 30 anos, a área colhida no país reduziu mais da metade, passando de mais de 5 mil hectares para um pouco mais de 2.500 hectares em 2017. No entanto, o rendimento no campo aumentou, alcançando a média de 9,99 toneladas/hectare. (IBGE, 2018).

Entre os estados brasileiros, o Rio Grande do Sul obteve a maior produção registrada no último levantamento (11.918 toneladas), seguido de São Paulo (10.903 toneladas) e Minas Gerais (1.698 toneladas). Nos primeiro e último estados, a produção de figos é voltada majoritariamente para industrialização (BARBOSA et al., 2003; IBGE, 2018), e em São Paulo é destinada ao mercado de frutas frescas. Ainda segundo o SIDRA, mesmo com a redução de cerca de 70% da área colhida na última década, a produtividade das figueiras paulistas é a maior registrada nacionalmente (17,50 t/ha). Esse fato favorece a exportação dos frutos para países do Hemisfério Norte, como Canadá, Alemanha, França, e impulsiona o abastecimento do mercado de fruta fresca na entressafra de países europeus exigentes em qualidade e que têm grande consumo (MAIORANO; PIO; LEONEL, 2018).

## 2.2 Histórico e sintomatologia da ferrugem da figueira

A ferrugem da figueira, causada por *Cerotelium fici* (Castagne) Arthur, foi constatada pela primeira vez no Brasil há mais de 90 anos, e hoje pode ser encontrada em todas as áreas de cultivo de figueira do país. Recentemente, foi detectada no México (SOLANO-BÁEZ et al., 2017), mas conforme dados do Systematic Botany of Mycological Resources de levantamento de fungos no mundo (FARR; ROSSMAN, 2019), há identificada a presença do fungo *C.fici* associado à espécie *F. carica* em mais de 40 países.

Galleti e Rezende (2005) descrevem a ferrugem como a mais importante das doenças que ocorrem na cultura da figueira nos trópicos. Isso se deve ao fato de que em condições tropicais e subtropicais, o fungo encontra circunstâncias favoráveis de temperatura (superior a 22 °C) e umidade relativa (em torno de 80%) para infecção e colonização por longo período de tempo.

As perdas em produtividade das figueiras sob clima temperado, causadas por essa ferrugem, são menos significativas em comparação às perdas nos pomares cultivados sob condições tropicais, em razão de um conjunto de circunstâncias. Em regiões temperadas, os verões são quentes e secos, e a ausência de água limita a colonização e a infecção do patógeno. Já no inverno, quando as temperaturas podem chegar a valores próximos a 0 °C, o ciclo do patógeno é interrompido. Além dos fatores climatológicos, o sistema de formação dos pomares no hemisfério norte, quanto ao espaçamento (6 x 4 m) e condução (sistema eixo central baixo revestido ou vaso baixo) (MAIORANO; PIO; LEONEL, 2018), desfavorecem a formação de microclima na planta que beneficia o patógeno. Enquanto no Brasil, as figueiras são mantidas sob sistema de taça, para manter as plantas sob baixa estatura, com podas drásticas anuais visando redução dos ramos produtivos do ciclo anterior.

Os primeiros sintomas da doença aparecem em meados da primavera e início do verão, nas folhas mais velhas, sendo representados por manchas verde-amareladas angulosas que evoluem para manchas pardas na superfície adaxial das folhas. Na parte abaxial, correspondente às áreas lesionadas, há a formação de pústulas recobertas por uma massa pulverulenta ferruginosa constituída de esporos do fungo (BURNETT, 1980).

A área foliar, quando severamente atacada, seca, promovendo a queda da folha. Com a queda prematura das folhas, há redução no acúmulo de carboidratos, levando ao depauperamento da planta e redução da produção (LORENZETTI, 2011). Em situações de alta pluviosidade, a ferrugem pode causar desfolhamento total da planta em cerca de 20 a 30 dias, provocando perdas de até 80 % na produção de frutos (BEDENDO, 2005).

Em viveiros, a ocorrência da ferrugem retarda o desenvolvimento das mudas e, quando plantadas no campo, podem comprometer totalmente a frutificação, uma vez que o fungo está presente desde o início do período vegetativo (MARCHI, 1999).

Em ocorrência da época da frutificação, os frutos crescem minguados, com péssima qualidade, o que acarreta na perda do valor comercial, e podendo, inclusive, cair prematuramente (GALLETI; REZENDE, 2005; CARVALHO et al., 2012).

### **2.3 Epidemiologia e controle da ferrugem**

O fungo sobrevive na forma de urediniosporos em folhas doentes deixadas na planta. Essas folhas atuam como inóculo inicial para o próximo período vegetativo. Por esse período ser curto (maio a agosto), existe a possibilidade de permanecerem folhas doentes na planta até a poda de inverno (LORENZETTI, 2011).

Os esporos se disseminam a curtas e longas distâncias por ação de diversos agentes, como água, vento e insetos. Uma vez em contato com as folhas, os esporos germinam e penetram pelos estômatos, iniciando a colonização (GALLETI; REZENDE, 2005). Cerca de 15 dias após a infecção, os primeiros sintomas já podem ser observados.

Existem diversas formas de diminuir o número de inóculo do patógeno na área, porém, o controle químico é a principal prática utilizada pelos ficicultores para barrar o avanço da doença no campo.

Esse controle deve ser realizado basicamente em duas épocas:

- a) Período de repouso da planta- ao se realizar a poda de inverno, devem ser eliminados todos os órgãos, como folhas, ramos e frutos que possam servir de fonte de inóculo primário da doença. Em seguida, faz-se uma pulverização com calda bordalesa (GALLETI; REZENDE, 2005).
- b) Período da fase vegetativa da planta (brotação a maturação dos frutos) – devem iniciarse pulverizações quinzenais até a maturação dos frutos, e essa aplicação deve ser dirigida principalmente à face abaxial das folhas (LORENZETTI, 2011). Fungicidas à base de cobre insolúvel ou os sistêmicos (triazóis e estrobilurinas) apresentam um bom resultado, com a vantagem sobre a calda bordalesa de poder aplicá-los a baixo volume (CZAJA, 2014).

Marchi et al. (1999) destacam que o controle por meio de aplicação de fungicidas sistêmicos em pomares comerciais, é o mais recomendado, uma vez que, em condições ideais, o patógeno é capaz de se multiplicar em taxas logarítmicas. No entanto, quando aliados controle

químico a métodos culturais, como utilização de mudas sadias, podas de formação e frutificação adequadas, uso de barreiras físicas e correção da fertilidade do solo, tem-se uma queda relativa da área infestada pela doença.

#### **2.4 Avaliação da intensidade da doença e escalas diagramáticas**

Embora seja a doença mais expressiva da cultura sob condições tropicais e subtropicais, até o momento existem poucos estudos epidemiológicos sobre a ferrugem da figueira.

Segundo Vale et al. (2004), a quantificação de doenças é de grande importância na fitopatologia, pois avalia a magnitude de diferentes doenças, diferentes medidas de controle, resistência varietal, teste de eficiência de produtos, dentre outros. A aplicação de uma abordagem sistêmica ao manejo de doenças pode levar a melhorias em algumas circunstâncias, antecipando epidemias e, assim, possibilitando a prevenção, em vez da contenção de danos.

Estudos epidemiológicos de doenças de plantas requerem métodos padronizados, que, de maneira simples e de rápida adaptação às condições diferenciadas, possam ser eficientes na avaliação da intensidade da doença (BERGER, 1980). Duas das três principais formas em que se baseiam os métodos diretos de quantificação de doenças são:

- a) Incidência: número de unidades de planta que está visivelmente doente (sintomas e/ou sinais) com relação ao número total de unidades avaliadas (folhas, raízes ou a planta por inteiro) e;
- b) Severidade: volume, ou a área, de tecido da planta que está doente, em geral relacionado ao volume/área total.

Para determinação da severidade de doenças pode-se utilizar métodos visuais qualitativos e quantitativos (DEL PONTE et al., 2017), no entanto, a quantificação qualitativa é muito subjetiva e não permite comparações entre, por exemplo, medidas de controle (LOPES et al., 2014). Avaliações quantitativas, com emprego de números, estão entre as mais utilizadas, e as escalas diagramáticas são exemplos desse método de avaliação que aumenta a eficiência e reprodutibilidade dos dados, além de ajudar inexperientes na quantificação de doenças (VALE et al. 2004).

Escalas diagramáticas são representações esquemáticas do órgão doente da planta com diferentes níveis de severidade da doença (BERGAMIN FILHO; AMORIM; HAU, 2014). Esse método é considerado de fácil utilização, produz dados mais acurados e aumentam a repetibilidade das estimativas visuais (JAMES, 1971).

Ainda que empregadas desde o século XX (COBB, 1892), somente a partir dos anos 2000, fez-se o uso de métodos estatísticos para testar sua eficiência (DEL PONTE et al., 2017).

As escalas podem ser validadas a partir dos seguintes métodos:

- a) Regressão linear: é a análise realizada entre a severidade real (variável independente) e a severidade estimada (variável dependente), sem e com o uso da escala diagramática proposta. A acurácia das estimativas é determinada pelo teste t a fim de verificar se o intercepto da regressão linear difere de 0 e se o coeficiente angular difere de 1 (DUARTE et al., 2014). Enquanto a precisão é avaliada por meio de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da regressão linear.
- b) Análise de correlação concordante de Lin (LIN, 1989): é a análise em que se calcula e avalia o grau de deslocamento das observações reais e estimadas em relação à linha concordante de  $45^\circ$  (VALE et al., 2004). Esse método combina medidas de acurácia e precisão em apenas um parâmetro (BOCK et al., 2010).

Segundo levantamento de Del Ponte et al. (2017), 84% dos trabalhos publicados sobre escalas diagramáticas utilizaram Regressão linear em sua validação. No entanto, nos últimos cinco anos, vem se elevando a porcentagem de trabalhos publicados que utilizaram o Método de Lin, pois, é provado, que a análise de regressão linear pode levar a conclusões erradas sob determinadas circunstâncias (LIN, 1989; MADDEN; HUGHES; VAN DEN BOSCH, 2007), como quando os dados são muito dispersos, ou seja, para estimativas pouco precisas (BERGAMIN FILHO; AMORIM; HAU, 2014).

## 2.5 Progresso da doença e relação com variáveis climáticas

A curva de progresso da doença, usualmente expressa plotando-se a proporção de doença *versus* tempo, é a melhor representação de uma epidemia. Por meio dela, interações entre patógeno, hospedeiro e ambiente (chamado de triângulo da doença) (JESUS JUNIOR et al., 2004) podem ser caracterizadas, além de permitir avaliar estratégias de controle e prever níveis futuros de doenças.

Independentemente da situação considerada, alguns parâmetros da curva de progresso são importantes para caracterizar a doença, como época de início da epidemia ( $t_0$ ), quantidade de inóculo inicial ( $y_0$ ), taxa de aumento da doença ( $r$ ), forma e área abaixo da curva de progresso da doenças, quantidades máxima ( $y_{max}$ ) e final ( $y_f$ ) de doença e duração da epidemia (LOPES et al., 2014).

Condições climáticas tem influência direta no crescimento, morfologia, fisiologia, reprodução, sobrevivência e predisposição das plantas, o que resulta em alterações na ocorrência e severidade de doenças (GHINI; HAMADA; BETTIOL, 2011). Fatores ambientais podem determinar o grau de predisposição do hospedeiro à doença, desde o estabelecimento em uma cultura, até o desencadeamento da epidemia (BEDENDO; AMORIM, 2005), podendo ter efeitos positivos, em uma das partes do triângulo da doença, e negativos, em outra.

A influência de variáveis climáticas (como temperatura, umidade relativa do ar, precipitação acumulada, horas de exposição ao sol) sob as condições de disseminação, sobrevivência, infecção, colonização e reprodução dos agentes causais das ferrugens, é constantemente objeto de estudos. Em pesquisa sobre a interferência da irrigação por pivô central no progresso da ferrugem e cercosporiose do cafeeiro, Custódio et al. (2014) constataram que a irrigação mudou o progresso da doença em diferentes níveis de água, possivelmente pela influência em diferentes estágios da relação hospedeiro-patógeno causada por variação na deposição de inóculos e diferentes microclimas. Uchôa et al. (2012) pesquisaram sobre a relação entre temperatura e molhamento foliar no monociclo da sigatoka-negra da bananeira, e provaram que o patógeno necessita de, no mínimo, 12 horas de molhamento e temperatura acima dos 24 °C para colonização. Custódio et al. (2010) constataram que a face de exposição das plantas à radiação solar teve relação direta sobre a intensidade da ferrugem e cercosporiose do cafeeiro, pois o sombreamento e maior período de molhamento foliar favoreceram o progresso da ferrugem, enquanto a maior exposição direta à radiação solar favoreceu a intensidade da cercosporiose.

O estudo de fatores climáticos associados ao progresso das doenças auxilia no conhecimento sobre ocorrência e distribuição da epidemia em campo (MONTROYA; CHAVES, 1974), e faz-se fundamental para embasar estratégias de controle e prevenção, como no uso de sistemas de previsão de doenças, para diminuir o número de aplicações de agrotóxicos e, conseqüentemente, os custos com estas ações.

## REFERÊNCIAS

- AMARO, A.A. Comercialização de figo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.18, n.188, p.49-56, 1997.
- BARBOSA, W.; POMMER, C.D.; RIBEIRO, M.D.; VEIGA, R.V.A.; COSTA, A.A. Distribuição geográfica e densidade varietal de frutíferas e nozes de clima temperado no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 2, p. 341-344, 2003.
- BEDENDO, I. P. Ferrugens In: KIMATHI, H. et al (Eds.). **Manual de Fitopatologia**, 4 ed. v.1. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. p. 479-491.
- BEDENDO, I.P.; AMORIM, L. Ambiente e doença. KIMATHI, H. et al (Eds.). **Manual de Fitopatologia**, 4 ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. v.1. p. 133-147.
- BERGAMIN FILHO, A.; REZENDE, J. A. M.; AMORIM, L. Curvas de progresso da doença. In: KIMATHI, H. et al. (Eds). **Manual de fitopatologia**. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. v. 1. p.405-425.
- BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; HAU, B. Análises temporal e espacial de epidemias. In: ZAMBOLIM, L.; JUNIOR, W.C. J.; RODRIGUES, F.A. **O essencial da Fitopatologia: Epidemiologia de doenças de plantas**. 2014, p. 101-165.
- BERGER, R.D. Measuring disease intensity. In: TENG, P.S.; KRUPA, S.D. (Eds.). **Crop loss assessment**. St. Paul: University of Minnesota, 1980. p. 28-31.
- BOCK, C.H; POOLE, G.H; PARKER, P.E; GOTTWALD, T.T. Plant disease severity estimated vaisally, by digital photography and image analysis, and by hyperpectral imaging. **Critical Reviews in Plant Science**, v. 29, p. 59-107, 2010.
- BOLIANI, A.C.; CORRÊA, L.S. Propagação e instalação da cultura da figueira. In:\_\_\_\_. **Cultura da figueira: do plantio a comercialização**. Ilha Solteira: FAPESP, 1999. p.41-50.
- BURNETT, H. **Rust, *Cerotelium fici* (Butl.) Arth. on fig, *Ficus carica* L.** Plant Pathology, 1980. (Circular nº 20).
- CARAUTA, J. P. P.; DIAZ, B. E. **Figueiras no Brasil**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2002. 212p.
- CARVALHO, V.L.; SALGADO, S.M.L.; CUNHA, R.L.; CHALFUN, N.N.J. Principais doenças da figueira. In: **A cultura da figueira**. Lavras: UFLA, 2012. p.222-235.
- CHALFUN, N.N.J.; ABRAHÃO, E.; ALVARENGA, A.A. Classificação botânica e cultivares. In: **A cultura da figueira**. Lavras: UFLA, 2012. p. 41-48.
- CHALFUN, N.N.J; ARAÚJO, J.L.; VILLA, F. Perfil da figueira. In: CHALFUN, N.N.J. et al (Eds.). **A cultura da figueira**. Lavras: UFLA, 2012. p. 29-40.
- CHALFUN, N.N.J.; HOFFMANN, A.; PASQUAL, M. **Frutíferas de clima temperado**. Lavras: UFLA, 1998. v.7. 304 p.

COBB, N. Contribution to an economic knowledge of the Australian rusts (*Uredinae*). **Agricultural Gazeta**, v. 3, p 44-48,1892.

CUSTÓDIO, A.A.P.; POZZA, E.A.; CUSTÓDIO, A.A.P.; SOUZA, P.E.; LIMA, L.A.; LIMA, L.M. CUSTÓDIO, A. A. de P. Intensidade da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro quanto à face de exposição das plantas. **Coffee Science**, v. 5, n. 3, p. 214-228, 2010.

CUSTÓDIO, A.A.P.; POZZA, E.A.; CUSTÓDIO, A.A.P.; SOUZA, P.E.; LIMA, L.A.; SILVA, A.M. Effect of Center-Pivot Irrigation in the Rust and Brown Eye Spot of Coffee. **Plant Disease**, v. 98, n. 7, p. 943-947, 2014.

CZAJA, E.A.R. **Monociclo, progresso temporal e estudos sobre o dano da ferrugem da figueira**. 2014. 75 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

DALASTRA, I.M.; PIO, R.; CAMPAGNOLO, M.A.; DALASTRA, G.M.; CHAGAS, E.A.; GUIMARÃES, V. F. Pruning time in the production of 'Roxo de Valinhos' green fig in organic sistem in the west region of Paraná State. **Revista Brasileira de Fruticultura**, (Impresso), v. 31, n.2, p. 447-453, 2009.

DEL PONTE, E.; PETHYBRIDGE, S. J.; BOCK, C.; MICHEREFF, S. J.; MACHADO, F. J.; SPOLTI, P. Standard Area Diagrams for Aiding Severity Estimation: Scientometrics, Pathosystems and Methodological Trends in the last 25 years. **Phytopathology**, v.107, n.10, p.1161-1174, 2017.

DUARTE, H.S.S.; CAPUCHO, A.S.; LOPES, U.P.; ZAMBOLIM, L. Elaboração e validação de escala diagramática. ZAMBOLIM, L.; JUNIOR, W.C. J.; RODRIGUES, F.A. **O essencial da Fitopatologia: Epidemiologia de doenças de plantas**. Viçosa: UFV, 2014. p.81-100.

FAOSTAT: Food and Agriculture Organization. **Figs**. Disponível em: <<http://www.faostat.org>>. Acesso em: 13 jan. 2019.

FARR, D.F.; ROSSMAN, A.Y. **Bancos de dados de fungos, Micologia sistemática e Laboratório de Microbiologia, ARS, USDA**. Disponível em: <<http://nt.ars-grin.gov/fungaldatabases/>>. Acesso em: 13 jan. 2019.

GALLETI, S.R.; REZENDE, J.A.M. Doenças da figueira. In: KIMATI, H. et al. (Eds.). **Manual de Fitopatologia: doenças de plantas cultivadas**. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. v. 2. p.351-354.

GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. Impacto das mudanças climáticas sobre as doenças de plantas. In: GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. p.15-40.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **SIDRA: Banco de dados agregados do IBGE**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 13 jan. 2019.

JAMES, W. C. An illustrated series of assessment keys for plant diseases, their preparation and usage. **Canadian Plant Disease Survey**, v. 5, p. 39-65. 1971.

JESUS JUNIOR, W.C.; POZZA, E.A.; VALE, F.X.R.; MORA-GUILERA, G. Análise temporal de epidemias. In: VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W. C.; ZAMBOLIM, L. **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Viçosa: UFV, 2004. p.127-191.

KHEMIRA, H.; MARS, M. Fig production in subtropical south-western Saudi Arabia. **Acta Horticulturae**. v. 1173, p. 169-172. 2017.

LIN, L. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. **Biometrics**, v. 45, p. 255-268, 1989.

LOPES, U.P.; DUARTE, H.S.S.; CAPUCHO, A.S.; ZAMBOLIM, L. Quantificação de doenças de plantas. In: ZAMBOLIM, L.; JUNIOR, W.C. J.; RODRIGUES, F.A. **O essencial da Fitopatologia: Epidemiologia de doenças de plantas**, 2014. p. 51-80.

LORENZETTI, E.R. Doenças da figueira. In: LEONEL, S.; SAMPAIO, A. C. (Org.). **A Figueira**. São Paulo: UNESP, 2011. v.1. p. 267-278.

MADDEN, L. V.; HUGHES, G.; VAN DEN BOSCH, F. **The Study of Plant Disease Epidemics**. St. Paul: American Phytopathological Society Press, 2007. 421p.

MAIA DE SOUZA, R.M. **Contribuição para o estudo da figueira**. 1988. 407p. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Agrícola) - Universidade de Évora, Évora, Portugal, 1988.

MAIORANO, J.A.; PIO, R.; LEONEL, S. Cultivo da figueira. In: PIO, R. et al. (Eds.). **Cultivo de fruteiras de clima temperado em regiões subtropicais e tropicais**. 2.ed., rev. ampl., Lavras: UFLA, 2018. p. 389-435.

MAIORANO, J. A. et al. Botânica e caracterização de cultivares da figueira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 188, p. 22-24, jan. 1997.

MARCHI, C.E. **Fungicidas protetores, sistêmicos e o indutor de resistência BTH no controle e no progresso da ferrugem (*Cerotelium fici* [Cast.] Art.) da figueira (*Ficus carica* L.)**. 1999. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

MONTOYA, R.H.; CHAVEZ, G.M. Influência da temperatura e da luz na germinação, infectividade e período de geração de *Hemileia vastatrix* Berk & Br. **Experientiae**, v. 18, n. 11, p. 239-266, 1974.

PENTEADO, S.R. Avaliação das características do figo Roxo de Valinhos destinado à exportação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 13., 1995, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 1995, v. 3, p. 1053.

PIO, R.; LEONEL, S.; CHAGAS, E. A. Aspectos botânicos e biologia reprodutiva da figueira. In: LEONEL, S.; SAMPAIO, A. C. (Org.). **A Figueira**. São Paulo: UNESP, 2011. v.1. p. 67-76.

SILVA, A.C.; CONCEIÇÃO, D.M.A figueira como fonte terapêutica. In: LEONEL, S.; SAMPAIO, A. C. (Org.). **A Figueira**. São Paulo: UNESP, 2011. v.1. p.373-392.

SOLANO-BÁEZ A.R.; JIMÉNEZ-JIMÉNEZ B.; CAMACHO-TAPIA, M.; LEYVA-MIR, S.G.; NIETO-LÓPEZ, E.H; TOVAR-PEDRAZA, J.M. First confirmed report of *Cerotelium fici* causing leaf rust on *Ficus carica* in Mexico. **Plant Pathology & Quarantine**, v. 7, n. 2, p. 160-163, 2017.

UCHÔA, C.N.; POZZA, E.A.; ALBUQUERQUE, K.A.; MORAES, W.S. Relação entre a temperatura e o molhamento foliar no monociclo da sigatoka-negra. **Summa Phytopathology**, v. 38, n. 2, p. 144-147, 2012.

VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W.C.; LIBERATO, J.R.; SOUZA, C.A. Quantificação de doenças e do crescimento do hospedeiro. In: VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W. C.; ZAMBOLIM, L. **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Viçosa: UFV, 2004.

**SEGUNDA PARTE - Artigos submetidos para publicação em periódicos**

**Artigo 1- ELABORAÇÃO E VALIDAÇÃO DE ESCALA DIAGRAMÁTICA PARA AVALIAR A SEVERIDADE DA FERRUGEM EM FOLHAS DE FIGUEIRA**

Artigo preparado em concordância com as normas do periódico “European Journal of Plant Pathology” (formatação prévia)

Gabriella Cristina Botelho Mageste da Silva<sup>1</sup>; Renata Cristina Martins Perreira<sup>2</sup>; Rafael Pio<sup>1</sup>;  
Edson Ampélio Pozza<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Agricultura, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 37200-000, Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Fitopatologia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 37200-000, Brasil

**Autor para correspondência:** Edson Ampélio Pozza, Departamento de Fitopatologia, Laboratório de Epidemiologia e Manejo de doenças de plantas, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil.

E-mail: edsonpozza@gmail.com

**RESUMO** - Levando em consideração a ausência de estudos e métodos padronizados para quantificar a severidade da ferrugem (*Cerotelium fici*) da figueira (*Ficus carica* L.), esse estudo teve como objetivo elaborar e validar escala diagramática para avaliar a severidade da doença. Foram coletadas folhas de figueira em campo com diversas intensidades de sintomas da doença. As severidades reais, limites máximos e mínimos e os níveis intermediários da escala foram determinados com base na distribuição de frequência dos valores de severidade encontrados no campo. Na validação, oito avaliadores estimaram, com, e sem, o auxílio da escala diagramática, a severidade em 50 folhas com diferentes níveis de sintomas. Utilizou-se o método de Lin para avaliar a acurácia e precisão dos dados e Regressão Linear, para avaliar a repetibilidade e reprodutibilidade das estimativas. A utilização da escala diagramática proposta apresentou níveis adequados dos parâmetros analisados quando comparada a não utilização da escala. Portanto, a escala diagramática certifica a confiabilidade das estimativas para avaliar a severidade da ferrugem em folhas de figueira.

**Palavras-chave:** *Ficus carica* L., *Cerotelium fici* (Cast.) Arth., Patometria, Estatística de Lin.

**ABSTRACT** - Taking into account the absence of studies and standardized methods to quantify the severity of fig rust (*Cerotelium fici*) in fig tree (*Ficus carica* L.), this study aimed to elaborate and validate a diagrammatic scale to evaluate the severity of the disease. Leaves of fig were collected in the field with different intensities of symptoms of the disease. The actual severity, the maximum and minimum limits, and intermediate levels of the scale were determined based on the frequency distribution of the severity values found in the field. In the validation, eight evaluators estimated, with and without the aid of the diagrammatic scale, the severity in 50 leaves with different levels of symptoms. We used the Lin method to evaluate the accuracy and precision of the data and Linear Regression to evaluate the repeatability and reproducibility of the estimates. The use of the diagrammatic scale proposed, presented adequate levels of the parameters analyzed when compared to the non-use of the scale. Therefore, the diagrammatic scale certifies the reliability of the estimates to evaluate the severity of rust on fig leaves.

**Key-words:** *Ficus carica* L., *Cerotelium fici* (Cast.) Arth., Pathometry; Lin's Statistics.

## INTRODUÇÃO

A figueira (*Ficus carica* L.) está entre as espécies frutíferas mais importantes cultivadas mundialmente. O uso da fruta como alimento, e da planta em ornamentações, tem sido registrado há milhares de anos, inclusive em passagens bíblicas. A Turquia é o maior país produtor de figos no mundo, com 305 450 toneladas/ano, seguido de Egito, Marrocos Argélia e Irã (FAOSTAT. 2018). Países da Península Ibérica, como Portugal, Espanha e Itália também são grandes produtores e exportadores de figos (Khemira e Mars. 2017). Em regiões subtropicais, a figueira é explorada com intuito de produzir figos maduros para abastecer o mercado de frutas frescas, ou frutos imaturos para produção de doces, compotas e figos cristalizados (Dalastra et al. 2009).

Apesar de originária de regiões de clima temperado (Pio et al. 2019), a figueira é capaz de se adaptar a diversas condições edafoclimáticas, o que impulsionou a sua expansão para regiões de clima tropical e subtropical brasileiras (Chalfun et al. 2012). Nos últimos 10 anos a área cultivada no país se manteve em torno de 2.591 hectares (IBGE. 2018). Entre os principais estados produtores da fruta destacam-se Rio Grande do Sul (11 918 toneladas), São Paulo (10 903 toneladas) e Minas Gerais (1 698 toneladas). Houve crescente exploração da figueira nas últimas décadas, no Brasil e Chile, visando a exportação na entressafra dos países norte africanos e europeus (Pio et al. 2017). No entanto, quando cultivada nos trópicos, algumas doenças incidem sobre as figueiras.

A ferrugem da figueira [*Cerotelium fici* (Cast.) Arth.] é a mais importante doença da cultura (Galleti e Rezende. 2005). Foi detectada no Brasil há mais de 90 anos e está presente em todas as áreas de cultivo do país, constituindo séria e constante ameaça. Os sintomas podem ser observados na face adaxial das folhas como manchas verde-amareladas angulosas que progridem para a cor parda. Já na face abaxial, desenvolvem-se pústulas contendo massas pulverulentas de esporos de cor vermelho alaranjada. Em infecções severas, as folhas caem e paralisam o crescimento e amadurecimentos dos figos. Com a queda prematura das folhas, ocorre redução no acúmulo de carboidratos, o que compromete o próximo ciclo produtivo (Galleti e Rezende. 2005; Solano-Báez et al. 2017).

Devido a essas perdas associadas à ferrugem, é necessário estudar medidas de controle, seja com desenvolvimento de cultivares resistentes, pulverização de fungicidas, criação de agentes de controle biológico, indutores de resistência, técnicas de poda ou condução da

lavoura. Porém, para medir a efetividade dessas técnicas e ainda identificar quais podem ser integradas ao manejo, é preciso quantificar a doença.

A quantificação da doença permite avaliar se as medidas de controle estudadas serão tecnicamente superiores e, portanto, recomendadas no campo. Para o produtor, o benefício chega tanto no auxílio para tomadas de decisões mais eficientes quanto a prioridade na gestão dos recursos empregados no manejo sustentável de doenças, com baixo impacto ambiental.

Entre os métodos para avaliar doenças de plantas, destacam-se os visuais. Esses são considerados simples por não requererem emprego de equipamentos sofisticados e fornecerem boa acurácia e precisão (Campbell e Madden. 1990). Uma ferramenta fundamental para empregar essas técnicas são as escalas diagramáticas. Esse método ajuda a definir a severidade da doença de interesse, utilizando fotografias de plantas ou de seus órgãos com sintomas. Entretanto, apesar de ser considerada simples, sua elaboração deve seguir alguns critérios para garantir a quantificação da severidade de maneira correta.

Os principais aspectos a serem avaliados na elaboração de escalas diagramáticas são os limites mínimos e máximos da escala correspondentes às quantidades de doença encontradas no campo, utilização de imagens apresentando padrão compatível com os sintomas para representar os níveis de doença e seguir as limitações de acuidade do olho humano, de acordo com a Lei de Weber-Fechner, atribuindo notas com respectivos intervalos de severidade, pois o olho humano tem dificuldade em enxergar valores pontuais ou precisos de porcentagem (Horsfall e Barratt. 1945; Nutter Jr. e Schultz. 1995).

Levando em consideração a ausência de estudos e métodos padronizados para quantificar a severidade da ferrugem da figueira e, por ser essa a doença de maior importância em cultivos sob condições subtropicais, esse estudo teve como objetivo elaborar e validar escala diagramática para avaliar, com acurácia e precisão, a severidade da ferrugem da figueira.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### Elaboração da escala diagramática

Para elaborar a escala diagramática, foram coletadas 190 folhas de figueira com diferentes níveis de severidade da doença, aleatoriamente. As folhas naturalmente infectadas, foram provenientes de diversas plantas de figueira implantadas em pomar experimental da Universidade Federal de Lavras. O município fica localizado a 21°13'40'' de latitude Sul e 44°57'42'' de longitude Oeste, e possui altitude média de 970m acima do nível do mar. De acordo com a classificação climática de Köppen, Lavras apresenta clima tropical de altitude do tipo Cwa, caracterizado por ter inverno seco e verão quente e úmido (Alvares et al. 2014). Para confirmar o agente etiológico, foram feitos cortes anatômicos na folha doente e analisados quanto à morfologia do patógeno.

Todo o material vegetal foi fotografado sobre fundo branco, usando câmera digital Nikon d3100, no modo automático, com distância focal 18-55mm. Posteriormente, utilizando-se o software Assess® (American Phytopathological Society, St. Paul, MN, USA), foram determinadas a área lesionada e foliar total de cada folha. Pústulas e a área com tecido necrosado devido à doença foram consideradas áreas lesionadas.

De acordo com os níveis mínimos e máximos encontrados, foi construído o gráfico de frequências, plotando a porcentagem de área foliar lesionada (eixo x) em intervalos de severidade de 5% (eixo y). Posteriormente, esses valores foram submetidos ao ajuste do modelo linear simples e não lineares exponencial e logarítmico (Campbell e Madden. 1990). O melhor modelo ajustado para os valores de frequência nos intervalos de severidade foi escolhido de acordo com maior  $R^2$  e significância dos parâmetros das equações no teste t. A escala foi criada de acordo com os intervalos de maior concentração das folhas com mesmo porcentual de área lesionada. Os intervalos de severidade de cada nota foram estabelecidos obedecendo à lei de acuidade visual de Weber- Fechner (Horsfall e Barrat. 1945; Nutter Jr. e Schultz. 1995) e de acordo com a forma e a distribuição das lesões. Em seguida, foram usadas as fotografias de folhas com lesões da doença para elaborar a escala.

#### Validação da escala diagramática

A acurácia e a precisão foram determinadas com o método de Lin's. O coeficiente de correlação de concordância de Lin (Pc) (Lin. 1989), usado para aferir a aptidão dos pares de observações, foi utilizado para determinar a concordância entre os valores reais e estimados de severidade da doença. O método também apresenta outras variáveis para auxiliar na validação.

O fator de mudança de escala, no qual 1 = combinação perfeita entre x e y, mede a diferença entre valores reais e estimados, sendo o cálculo feito por diferença entre a inclinação das linhas ajustadas de regressão e a linha concordante. O fator de mudança na localização, no qual 0 = combinação perfeita entre x e y, estima a mudança da reta ajustada na regressão em relação a linha concordante, medindo a diferença da altura entre as duas linhas. O fator de correção de desvio, que mede a distância da linha ajustada dos desvios em relação à linha concordante, foi calculado a partir do fator de mudança de localização e do fator de mudança da escala, derivado das médias e dos desvios padrão de x e y, respectivamente. Além desses fatores foi utilizada a correlação de Pearson para avaliar a precisão das avaliações. O intervalo de confiança (IC) ( $p < 0.05$ ) entre os grupos de avaliadores com e sem ajuda da escala foi feito para verificar se houve diferença significativa entre as avaliações.

A repetibilidade das estimativas do mesmo avaliador, foi determinada analisando-se valores  $R^2$  da regressão linear entre sua primeira e segunda avaliações, com o auxílio da escala (Nutter Jr. et al. 1993). A reprodutibilidade das estimativas foi avaliada analisando-se valores de  $R^2$  obtidos de regressões lineares entre as severidades estimadas da mesma unidade amostral por diferentes avaliadores combinados em pares (Kranz. 1988; Campbell e Madden. 1990; Nutter Jr. e Schultz. 1995).

Os dados foram tabulados e as análises estatísticas realizadas no programa Rstudio (R Core Team. 2018), usando a função `epi.ccc` do pacote `epiR` (Stevenson et al. 2012) para determinar a correlação de concordância de Lin.

## **RESULTADOS**

### Elaboração da escala

Os valores mínimo e máximo de severidade de ferrugem da figueira encontrados foram de 0% e 89.3%, respectivamente, ocorrendo grande concentração de folhas, 43%, nos intervalos de frequência até 5% de severidade (Tabela 1).

Tabela 1. Distribuição de frequência, a intervalos unitários, dos valores de severidade (%) de ferrugem (*Cerotelium fici*) em folhas de figueira (*Ficus carica* L.). (continua...)

Intervalo (Severidade %)	Frequência	Porcentagem (%)	Frequência acumulada	Porcentagem acumulada (%)
0-1	22	11.6	22	11.6
1-2	2	1.1	24	12.6
2-3	7	3.7	31	16.3
3-4	5	2.6	36	19.0
4-5	7	3.7	43	22.7
5-6	2	1.1	45	23.7
6-7	4	2.1	49	25.8
7-8	4	2.1	53	27.9
8-9	4	2.1	57	30.0
9-10	3	1.6	60	31.6
10-11	1	0.5	61	32.1
11-12	1	0.5	62	32.6
12-13	2	1.1	64	33.7
13-14	3	1.56	67	35.3
14-15	4	2.1	71	37.4
15-16	6	3.2	77	40.5
16-17	2	1.1	79	41.6
17-18	5	2.6	84	44.2
18-19	3	1.6	87	45.8
19-20	1	0.5	88	46.3
20-21	4	2.1	92	48.4
21-22	5	2.6	97	51.0
22-23	3	1.6	100	52.6
23-24	1	0.5	101	53.3
24-25	5	2.6	106	55.8
25-26	2	1.1	108	56.8
26-27	0	0.0	108	56.8
27-28	3	1.6	111	58.4
28-29	2	1.1	113	59.5
29-30	1	0.5	114	60.0
30-31	1	0.5	115	60.5
31-32	4	2.1	119	62.6
32-33	1	0.5	120	63.1
33-34	1	0.5	121	63.7
34-35	4	2.1	125	65.8
35-36	1	0.5	126	66.3
36-37	2	1.1	128	67.4
37-38	1	0.5	129	67.9
38-39	1	0.5	130	68.4
39-40	0	0.0	130	68.4
40-41	3	1.6	133	70.0

Intervalo (Severidade %)	Frequência	Porcentagem (%)	Frequência acumulada	Porcentagem acumulada (%)
41-42	2	1.1	135	71.0
42-43	3	1.6	138	72.6
43-44	3	1.6	141	74.2
44-45	0	0.0	141	74.2
45-46	0	0.0	141	74.2
46-47	2	1.1	143	75.3
47-48	1	0.5	144	75.8
48-49	0	0.0	144	75.8
49-50	1	0.5	145	76.3
>50	45	23.7	190	100.00

O melhor modelo ajustado para os valores de frequência nos intervalos de severidade foi o Linear, que apesar de não possuir o maior  $R^2$  (56%), apresentou significância dos parâmetros das equações no teste t. (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros do modelo linear e modelos não lineares para a frequência da severidade da ferrugem da figueira (*Cerotelium fici*) nos intervalos de severidade.

Modelo	<sup>a</sup> $R^2$	<sup>b</sup> $r$	<sup>c</sup> $y_0$
<b>Exponencial</b>	0.75	0.04***	39.42***
<b>Logarítmico</b>	0.87	-0.0004***	0.02***
<b>Linear</b>	0.57	-0.28***	22.95***

a Coeficiente de determinação ( $R^2$ )

b Taxa de progresso ( $r$ )

c Inóculo inicial ( $y_0$ )

\*\*\* significativo no teste t ( $p=0,001$ ).

A escala foi elaborada com 6 notas ou intervalos de porcentagens (Figura 1), sendo três deles distribuídos no intervalo até 15.0 de área foliar lesionada (AFL). O intervalo até 1% incluiu 11.6% do total de folhas, constituindo o intervalo unitário de maior frequência. Os intervalos percentuais da escala foram 0; 0,1-5; 5,1-15; 15,1- 25; 25,1-50 e >50% de severidade, respeitando a Lei de Acuidade Visual de Weber-Fechner (Horsfall e Barratt 1945; Nutter Jr. e Schultz 1995).

Figura 1. Escala diagramática para avaliar a severidade da ferrugem (*Cerotelium fici*) em folhas de figueira (*Ficus carica* L.). Os números representam a porcentagem de área foliar lesionada (AFL).

NOTAS (%SEVERIDADE) 0 (0%)	 0%	 0%	 0%
1 (0,1 - 5,0%)	 2%	 3%	 4%
2 (5,1 - 15,0%)	 7%	 10%	 13%
3 (15,1 - 25,0%)	 18%	 20%	 22%
4 (25,1 - 50,0 %)	 29%	 36%	 46%
5 (≥ 50,1%)	 51%	 78%	 89%

## Validação da escala

De acordo com o método de Lin's, as estimativas das avaliações da severidade da doença melhoraram com o uso da escala proposta (Tabela 3). Segundo o coeficiente de concordância e correlação entre os valores reais e estimados, ocorreu maior eficiência na estimativa com o uso da escala ( $a=0.80$ ) em relação às avaliações sem o auxílio do método ( $a=0.71$ ). Os avaliadores superestimaram a doença sem o uso da escala ( $c=0.33$ ) e subestimaram quando a utilizaram ( $c=-0.28$ ), porém, o intervalo de confiança entre as duas avaliações não diferiu significativamente, provando que não houve melhora expressiva na variável em análise. O coeficiente de correlação de Pearson indicou o aumento na precisão dos avaliadores ao utilizarem a escala ( $e=0.86$ ), quando comparado sem o uso da escala para ( $e=0.76$ ). No entanto, o valor do fator de correção do desvio sem o uso da escala ( $d=0.94$ ) foi superior ao das estimativas obtidas utilizando-a ( $d=0.93$ ), indicando que não houve aumento da acurácia dos avaliadores. Considerando os intervalos de confiança, as avaliações, sem, e com o uso da escala diagramática para ferrugem da figueira diferem significativamente com 95% de confiança, exceto para o fator de mudança de localização.

Tabela 3. Coeficientes de concordância e correlação de Lin's para oito avaliadores sem e com uso de escala diagramática para estimar a severidade de ferrugem (*Cerotelium fici*) em figueira (*Ficus carica* L.)

Estatística de Lins	Sem escala	Com escala	95% CI <sup>f</sup>
Coeficiente de concordância e correlação <sup>a</sup>	0.71	0.80	<b>0.6872*;0.8123*</b>
Fator de mudança da escala <sup>b</sup>	1.16	0.76	<b>0.8738*;1.4020*</b>
Fator de mudança da localização <sup>c</sup>	0.33	-0.28	-0.1705; 0.3112
Fator de correção de desvio <sup>d</sup>	0.94	0.93	<b>0.7948*;0.9328*</b>
Correlação de Pearson <sup>e</sup>	0.76	0.86	<b>0.8603*;0.8837*</b>

<sup>a</sup> Coeficiente de concordância e correlação de Lin

<sup>b</sup> Fator de mudança da escala relativo a combinação perfeita

<sup>c</sup> Fator de mudança da localização relativo a combinação perfeita

<sup>d</sup> Fator de correção de desvio

<sup>e</sup> Correlação de Pearson

<sup>f</sup> Intervalo de confiança superior e inferior para 95% de confiança.

**Negrito\*** representa diferença significativa entre as duas avaliações de acordo com o teste t ( $p \leq 0.05$ )

Para a reprodutibilidade, sem a utilização da escala diagramática, o valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) variou de 64 a 88%, com média de 81.1% (Tabela 4). Com o uso da escala,

os valores de  $R^2$  variaram de 71 a 91%, com média de 80.7%, e 61 a 81%, com média de 72.2% na primeira e segunda avaliações, respectivamente, sendo  $R^2 \geq 70\%$  em aproximadamente 82% das combinações de avaliadores.

Tabela 4. Coeficientes de determinação ( $R^2$ ) da equação de Regressão Linear entre pares de avaliadores sem o uso e com o uso da escala diagramática para estimativa de severidade de ferrugem (*Cerotelium fici*) em figueira (*Ficus carica* L.)

SEM ESCALA							
AVALIADOR	B	C	D	E	F	G	H
A	0.73	0.76	0.75	0.68	0.64	0.77	0.73
B		0.83	0.78	0.88	0.75	0.85	0.71
C			0.82	0.80	0.81	0.86	0.77
D				0.80	0.74	0.81	0.74
E					0.82	0.83	0.66
F						0.87	0.84
G							0.84
COM ESCALA- 1º AVALIAÇÃO							
AVALIADOR	B	C	D	E	F	G	H
A	0.74	0.79	0.71	0.86	0.87	0.78	0.81
B		0.78	0.79	0.82	0.79	0.75	0.76
C			0.91	0.78	0.85	0.80	0.82
D				0.79	0.79	0.77	0.78
E					0.83	0.81	0.85
F						0.86	0.89
G							0.83
COM ESCALA- 2º AVALIAÇÃO							
AVALIADOR	B	C	D	E	F	G	H
A	0.70	0.72	0.65	0.79	0.74	0.65	0.78
B		0.61	0.63	0.80	0.81	0.77	0.72
C			0.69	0.64	0.74	0.65	0.72
D				0.78	0.73	0.75	0.69
E					0.75	0.79	0.68
F						0.78	0.77
G							0.69

Houve repetibilidade entre as estimativas do mesmo avaliador (Tabela 5). Entre as duas avaliações com o uso da escala, somente um avaliador (A) apresentou coeficiente angular da

reta significativamente diferente de 1, ocorrendo precisão das estimativas para 87.5% dos avaliadores. Os avaliadores apresentaram boa repetibilidade nas estimativas da severidade da ferrugem em folhas de figueira, pois a média de variação na primeira avaliação em comparação com a segunda avaliação foi próximo de 70 %.

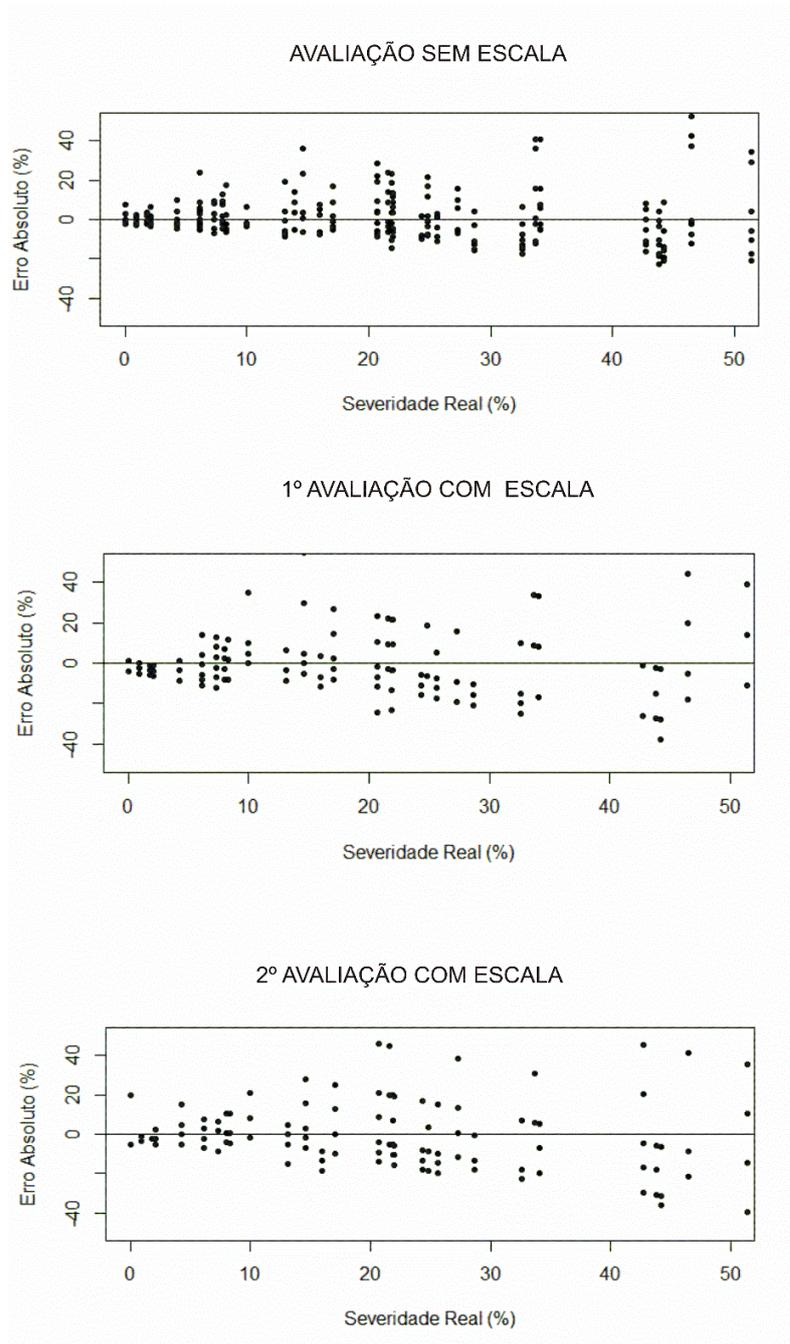
Tabela 5. Intercepto ( $\beta_0$ ), coeficiente angular da reta ( $\beta_1$ ) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de equações de regressão lineares relacionando a segunda à primeira estimativa da severidade da ferrugem (*Cerotelium fici*) em figueira (*Ficus carica* L.), efetuada por um mesmo avaliador com o auxílio da escala diagramática.

AVALIADOR	COEFICIENTES		
	$\beta_0$	$\beta_1$	$R^2$
A	10.55*	0.80 <sup>ns</sup>	0.62
B	8.67 <sup>ns</sup>	0.69 <sup>ns</sup>	0.64
C	2.63 <sup>ns</sup>	0.71 <sup>ns</sup>	0.51
D	0.56 <sup>ns</sup>	1.04 <sup>ns</sup>	0.73
E	2.82 <sup>ns</sup>	0.90 <sup>ns</sup>	0.80
F	1.47 <sup>ns</sup>	0.85 <sup>ns</sup>	0.79
G	2.61 <sup>ns</sup>	0.80 <sup>ns</sup>	0.74
H	6.22 <sup>ns</sup>	0.83 <sup>ns</sup>	0.75

\* e ns representam situações que a hipótese nula ( $\beta_0 = 0$  ou  $\beta_1 = 1$ ) foi, respectivamente, rejeitada e não rejeitada pelo teste t ( $p = 0,05$ ).

A maioria dos avaliadores apresentaram boa precisão, independente do uso da escala. Cerca de 62.5% dos participantes apresentaram valor de  $R^2$  maior ou igual em relação à primeira avaliação, sugerindo ser igual ou mais precisos. Houve redução dos erros absolutos quando foi utilizada a escala, diminuindo a amplitude entre os valores entre a primeira e segunda avaliações (Figura 2). No entanto, na segunda avaliação com uso da escala, os valores mínimo e máximo observados para os resíduos de todos os avaliadores foram, respectivamente, de -49.67 e 70.90, aumentando a amplitude dos valores.

Figura 2. Distribuição dos resíduos (severidade estimada – severidade real) das estimativas da ferrugem (*Cerotelium fici*) em folhas de figueira (*Ficus carica* L.) sem o uso com o uso de escala diagramática em duas avaliações.



## DISCUSSÃO

A escala diagramática desenvolvida nesse trabalho, permitiu aos avaliadores realizarem estimativas mais precisas e acuradas da severidade da ferrugem da figueira, de acordo com a validação realizada.

O ajuste dos modelos lineares e não lineares foram feitos para determinar se os níveis da escala deveriam aumentar de maneira logarítmica ou linear. As particularidades de cada patossistema são levadas em consideração para determinar os intervalos, portanto, esse ajuste foi necessário para verificar a veracidade dos mesmos. O melhor modelo ajustado foi o Linear, portanto os níveis intermediários da escala foram determinados com base nas maiores faixas de frequência dos valores da doença nas folhas, combinado com o aumento linear nos níveis de severidade. A tendência é aumentar o uso de escalas seguindo intervalos lineares, pois de acordo com Nutter Jr. e Esker (2006), a relação entre a severidade real e estimada pelos avaliadores é linear, e não logarítmica como proposto por Horsfall e Barrat (1945).

Cada nível da escala foi definido de acordo com a distribuição de frequência do número de folhas com determinada área foliar lesionada encontrada no campo. Embora o maior intervalo unitário de folhas com severidade tenha sido entre 0 e 1%, optou-se por não o empregar na escala, devido à dificuldade de localizar visualmente na folha da figueira esse tamanho de lesão. Lorenzetti et al. (2008) propôs escala diagramática para quantificar a severidade da ferrugem das figueiras, no entanto, a escala foi apresentada em porcentagens, não apresentando valores abaixo de 4% de severidade da doença e com grandes intervalos entre as porcentagens, fatores que elevam a subjetividade das estimativas de severidade real da doença.

A união dos valores de severidade acima de 50% na escala proposta, foi devido ao fato da acuidade visual humana ter dificuldade em distinguir valores de severidade da doença acima dessa porcentagem (Campbell e Madden. 1990), além de terem sido encontradas poucas folhas nos intervalos unitários acima desse valor, em virtude da desfolha devido a doença. (Pastore et al. 2016). A escala desenvolvida por Angeloti et al. (2011) para avaliar a ferrugem em videiras teve o nível máximo de severidade encontrada nas folhas de 75% por razão semelhante. Enquanto Dolinski et al. (2017), ao elaborar escala para quantificar a severidade de ferrugem em pessegueiro, atribuiu o nível máximo de 30%, mesmo tendo encontrado folhas com níveis de severidade maiores, pois a variação na severidade da doença pode ser atribuída a diferenças na suscetibilidade de cultivares, práticas de cultivo e variação climática.

Para construção da escala foram utilizadas fotografias ao invés de representações gráficas, comumente utilizadas. Segundo Belan et al. (2014), essa mudança é capaz de elevar os níveis de precisão e acurácia dos avaliadores pois, na comparação entre imagens reais de folhas na escala, e a imagem da folha no campo a ser avaliada, há uma padronização das imagens pelo avaliador, facilitando a avaliação.

Na maioria dos estudos envolvendo a validação de escalas diagramáticas para determinar a severidade da doença nas folhas, os avaliadores mostraram uma tendência a superestimar a gravidade da doença (Capucho et al. 2010; Belan et al. 2014; Freitas et al. 2015). No entanto, em alguns casos, como a queima precoce em batata, a gravidade da doença foliar foi subestimada (Michereff et al. 2000; Gomes et al. 2004).

Na validação de outras escalas para avaliar a severidade de ferrugens, foi observado o aumento da acurácia e da precisão dos avaliadores com a sua utilização. Capucho et al. (2011), no desenvolvimento de escala diagramática para ferrugem em folhas de cafeeiro, validaram os resultados por Método de Lin's e o valor médio do Coeficiente de concordância e correlação (Pc) aumentou de 0,77 para 0,87 quando utilizada a escala proposta. Enquanto que, em estudo para validar de escala diagramática da ferrugem alaranjada da cana, Klosowski et al. (2013) determinaram os índices por regressão linear simples e obtiveram resultados satisfatórios, com 100% dos avaliadores obtendo intercepto estatisticamente igual a zero e valores de coeficiente angular iguais a 1, indicando a ausência de desvios sistemáticos.

Apesar de ser o método mais utilizado para validar escalas, a regressão linear não detecta a saída do intercepto 0 ( $\beta_0$ ) e da inclinação ( $\beta_1$ ) quando os dados são dispersos (Bock et al, 2010), podendo levar a conclusões errôneas. Enquanto que, na metodologia de Lin é possível associar, em um único índice, denominado coeficiente de correlação concordante de Lin, a acurácia e a precisão das estimativas de severidade. Esse método vem sendo recentemente utilizado para analisar como se comportam os dados de severidade das doenças e como esses se relacionam com as estimativas reais e com as avaliações de repetibilidade das estimativas (Nita et al. 2003; Bock et al. 2008).

A reprodutibilidade das estimativas entre os avaliadores foi analisada por regressão linear em pares (Nutter Jr. e Schultz. 1995) e observou-se maior padronização na estimativa da severidade da doença com o uso da escala desenvolvida. Entretanto, em alguns pares o coeficiente de determinação alcançou valores entre 61 e 69% na 2ª avaliação com a escala. É possível que esses resultados se devam à inexperiência de alguns avaliadores com quantificação de doenças.

Mais de 75% das combinações de avaliadores apresentaram  $R^2$  acima de 70% com uso da escala diagramática, assemelhando-se ao constatado na validação de escalas para outros patossistemas, como ferrugem (Capucho et al. 2011) e mancha aureolada do cafeeiro (Belan et al. 2014), com valores médios de 87% e 99% respectivamente.

A amplitude dos resíduos nas avaliações com o uso da escala desse trabalho foram de -57.50 a 72.03 na primeira avaliação e -49.67 a 70.90 na segunda avaliação. O valor elevado é explicado pela dificuldade na avaliação da doença, em razão das características das lesões: pontuações individuais, espalhadas na área foliar, levando o avaliador a subestimação ou superestimação da área foliar lesionada. Estudos constatam que a qualidade da estimativa da doença pode ser influenciada por estímulos e respostas psicológicas e por fatores como complexidade da unidade amostral, tamanho e forma das lesões, cor e número de lesões, fadiga e dificuldade de concentração na tarefa (Sherwood et al. 1983; Kranz. 1988).

Resultados satisfatórios são apontados quando a média dos erros absolutos fica entre 10-15%, como descrito por Paula et al. (2016) ao propor e validar escalas diagramáticas para avaliar a cercosporiose em frutos de cafeeiro amarelo e vermelho, e Godoy et al (2006) na validação de escala para quantificação de ferrugem da soja. Belan et al. (2014) relataram erros absolutos médios entre -20.95 e 20.01 em ambas as avaliações com a escala de mancha manteigosa em café, principalmente nos valores de maior severidade, fato contrário ao que se identificou nesse estudo.

Pode-se concluir que foi possível desenvolver e validar escala diagramática para avaliar a severidade da ferrugem em folhas de figueira. A escala proposta possui boa acurácia, precisão, repetibilidade e reprodutibilidade quando comparada a avaliações sem o uso de uma escala.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 - por concessão de bolsa de estudos para primeira autora, ao setor de Fruticultura do Departamento de Agricultura e pós-graduandos do Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras/MG, por auxiliar a elaborar e validar a escala diagramática e interpretar os resultados obtidos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, G., C., S., Santos, L. C., Duarte, H. S. S., Dias, V.; Zambolim, L., & Rocha, M. R. (2015). Escala diagramática para quantificação da ferrugem da folha do trigo. *Multi-Science Journal*,1(1), 128-133.
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., & Sparovek, G. (2014). Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(3), 711–728.
- Angelotti, F., Scapin, C.R.; Tessman, D.J., Vida, J.B., Oliveira, R.R., & Canteri, M.G. (2008). Diagrammatic scale for assessment of grapevine rust. *Tropical Plant Pathology*, 33, 439-443.
- Belan, L.L., Pozza, E.A., Freitas, M.L.O., Souza, R.M., Jesus Junior, W.C., & Oliveira, J.M. (2014). Diagrammatic scale for assessment of bacterial blight in coffee leaves. *Journal of Phytopathology*, 162, 801-810.
- Bock, C.H., Parker, P.E., Cook, A.Z., & Gottwald, T.T. (2008). Visual rating and the use of image analysis for assessing different symptoms of citrus canker and the grapefruit leaves. *Plant Disease*, 92(4), 530-541.
- Bock, C.H., Poole, G.H., Parker, P.E., & Gottwald, T.T. (2010). Plant disease severity estimated visually, by digital photography and image analysis, and by hyperspectral imaging. *Critical Reviews in Plant Science*, 29, 59-107.
- Campbell, C.L., & Madden, L.V. (1990). *Introduction to plant disease epidemiology*. New York: John Wiley.
- Capucho, A. S., Zambolim, L., Duarte, H. S. S., & Vaz, G. R. O. (2011). Development and validation of a standard area diagram set to estimate severity of leaf rust in *Coffea arabica* and *C. canephora*. *Plant Pathology*, 60, 1144-1150.
- Chalfun, N.N.J, Araujo, J.L., & Villa, F. (2012). Perfil da figueira. In N.N.J. Chalfun et al. (Eds.), *A cultura da figueira* (pp.29-40), Editora UFLA.
- Dalastra, I.M., Pio, R., Campagnolo, M.A., Dalastra, G.M., Chagas, E.A., & Guimarães, V. F. (2009). Pruning time in the production of 'Roxo de Valinhos' green fig in organic sistem in the west region of Paraná State. *Revista Brasileira de Fruticultura* (Impresso), 31, 447-453.

- De Paula, P.V.A.A., Pozza, E.A., Santos, L.A., Chaves, E., Maciel, M.P., & Paula, J.C.A. (2016). Diagrammatic scales for assessing Brown Eye Spot (*Cercospora coffeicola*) in red and yellow coffee cherries. *Journal of Phytopathology*, 164, 791-800.
- Dolinski, M.A., Duarte, H.S.S., Silva, J.B., De Mio, & L.M.M. (2017). Development and validation of a standard area diagram set for assessment of peach rust. *European Journal of Plant Pathology*, 148, 817–824.
- FAOSTAT: Food And Agriculture Organization of United Nations. (2018). *Figs*. <http://www.faostat.org>. Acesso em 05 Nov 2018.
- Freitas, M.L., Pozza, E.A., Belan, L.L., Silva, J.L., & Abreu, M.S. (2015). Diagrammatic scale for blister spot in leaves of coffee tree. *African Journal of Agricultural Research*, 2068-2070.
- Galleti, S.R., & Rezende, J.A.M. (2005). Doenças da figueira. In H. Kimathi et al. (Eds.), *Manual de Fitopatologia: doenças de plantas cultivadas*, 4 ed., v.2, (pp.351-354), Agronômica Ceres.
- Godoy, C.V., Koga, L.J., & Canteri, M.G. (2006). Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. *Fitopatologia Brasileira*, 31, 63-68.
- Gomes, A. M. A., Michereff, S. J., & Mariano, R. L. R. (2004). Elaboração e validação de escala diagramática para cercosporiose da alface. *Summa Phytopathologica*, 30, 38-42.
- Horsfall J.C., & Barratt R.W. (1945). An improved grading system for measuring plant diseases. *Phytopathology*, 35, 665.
- IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *SIDRA: Banco de dados agregados do IBGE*. <http://www.sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em 13 jan 2019.
- Khemira, H., & Mars, M. (2017). Fig production in subtropical south-western Saudi Arabia. *Acta Horticulturae*. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1173.28>.
- Klosowski, A.C., Ruaro, L., Bepalhock Filho, J.C., & De Mio, L.L.M. (2013). Proposta e validação de escala para a ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar. *Tropical Plant Pathology*, 38(2), 166-171.
- Kranz J. (1988). Measuring plant disease. In: J. Kranz, & J. Rotem (Eds.), *Experimental Techniques in Plant Disease Epidemiology*, (pp.35–50), Springer Verlag.

- Lin, L. (1989). A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics*, 45, 255-268.
- Lorenzetti, E.R. (2008). Escala diagramática para avaliação da severidade de ferrugem do figo causada por *Cerotelium fici* (Cast.). In XX Congresso Brasileiro De Fruticultura, 2008, Vitória, ES, *Anais...*, (resumos).
- Michereff, S. J., Maffia, L. A., & Noronha, M. A. (2000). Escala diagramática para avaliação da severidade da queima das folhas do inhame. *Fitopatologia Brasileira*, 25, 612-629.
- Nita, M., Ellis, M.A., & Madden, L.V. (2003). Reliability and accuracy of visual estimation of Phomopsis leaf blight of strawberry. *Phytopathology*, 93(8), 995–1005.
- Nutter Jr, F.W. & Esker, P.D. (2006). The role of psychophysics in phytopathology. *European Journal of Plant Pathology*, 114, 199-213.
- Nutter Jr, F.W., Gleason, M.L., Jenco, J.H., & Christians, N.C. (1993). Assessing the accuracy, intra-rater repeatability, and inter-rater reliability of disease assessment systems. *Phytopathology*, 83(8), 806–812.
- Nutter Jr, F.W., & Schultz, P.M. (1995). Improving the accuracy and precision of disease assessments: selection of methods and use of computer-aided training programs. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 17(1), 174-184.
- Pastore, R.L., Boff, P., Golinski, N.G. & Boff, M.I.C. (2016). Rust resistance of fg landraces in an organic cropping system in Santa Catarina, Brazil. *Biological agriculture & Horticulture*, <http://dx.doi.org/10.1080/01448765.2016.1188151>.
- Pio, R., Souza, F. B. M., Kalcsits, L., Bisi, R. B., & Farias, D. H. (2019). Advances in the production of temperate fruits in the tropics. *Acta Scientiarum. Agronomy* (Impresso), 41, 1-10.
- Pio, R., Oliveira, A.C.L., Pasqual, M., Pio, L.A.S., Curi, P.N., & Bisi, R.B. (2017). Protocol for flow cytometric estimation of nuclear DNA amount in fig (*Ficus carica* L.) cultivars. *Acta Horticulturae*, 1, 99-104.
- R Core Team. (2018). *R: a language and environment for statistical computing*. Viena, Áustria. <https://www.R-project.org/>. Acesso em 08 Jun 218.

- Rios, J.A., Debona, D., Duarte, H.S.S., & Rodrigues, F.A. (2013). Development and validation of a standard area diagram set to assess blast severity on wheat leaves. *European Journal of Plant Pathology*, 136, 603-611.
- Solano-Báez, A.R., Jiménez-Jiménez, B., Camacho-Tapia, M., Leyva-Mir, S.G., Nieto-López, E.H., & Tovar-Pedraza, J.M. (2017). First confirmed report of *Cerotelium fici* causing leaf rust on *Ficus carica* in Mexico. *Plant Pathology & Quarantine*, 7(2), 160-163.
- Sherwood, R.T., Berg, C.C., Hoover, M.R., & Zeiders, K.E. (1983). Illusions in visual assessment of stagonospora leaf spot of orchardgrass. *Phytopathology*, 73, 173-177.
- Stevenson, M., Nunes, T., Sanchez, J., Thornton, R., Reiczigel, J., Robison-Cox, J., & Sebastiani, P. (2018). *An R package for the analysis of epidemiological data*. *The Comprehensive R Archive Network website*. <http://CRAN.R-project.org/package=epiR>. Acesso em 08 Jun 2018.
- Yadav, N.V.S., De Vos, S.M., Bock, C.H., & Wood, B.W. (2012). Development and validation of standard area diagrams to aid assessment of pecan scab symptoms on fruit. *Plant Pathology*, 62(2), 1-11.

**Artigo 2- CORRELAÇÃO DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS COM PROGRESSO DA FERRUGEM DA FIGUEIRA (*Cerotelium fici*) SOB PULVERIZAÇÃO COM FUNGICIDAS**

Artigo preparado em concordância com as normas do periódico “European Journal of Plant Pathology” (formatação prévia)

Gabriella Cristina Botelho Mageste da Silva<sup>1</sup>; Renata Cristina Martins Perreira<sup>2</sup>; Rafael Pio<sup>1</sup>;  
Edson Ampélio Pozza<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Agricultura, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 37200-000, Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Fitopatologia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 37200-000, Brasil

**Autor para correspondência:** Edson Ampélio Pozza, Departamento de Fitopatologia, Laboratório de Epidemiologia e Manejo de doenças de plantas, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil.

E-mail: edsonpozza@gmail.com

**RESUMO** - Considerando a ausência de estudos epidemiológicos sobre a ferrugem (*Cerotelium fici*) da figueira (*Ficus carica* L.), objetivou-se estudar o progresso temporal da ferrugem no campo em diferentes cultivares de *F. carica* L. sob tratamento com fungicidas, no município de Lavras /MG, correlacionar a severidade da doença com variáveis meteorológicas e selecionar cultivares com tolerância à ferrugem. O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Lavras/MG no período de 03/08/2017 a 03/07/2018. A doença foi avaliada em 18 cultivares, com 4 anos de idade, manejadas de acordo com as práticas convencionais de produção de figos verdes. Os tratamentos consistiram de plantas sem pulverização e com pulverização quinzenal de fungicidas. O monitoramento da severidade foi realizado semanalmente por método não-destrutivo, e a determinação da porcentagem de severidade da doença foi feita utilizando a escala diagramática. A média de severidade da doença nas parcelas foi plotada em gráfico da curva de progresso da doença (AACPD) junto às médias das variáveis climáticas durante o período avaliado. As correlações existentes entre a severidade da doença e as variáveis climáticas coletadas até 90 dias antes de cada avaliação foram determinadas por coeficiente de Pearson. A ferrugem ocorreu durante todo o período de avaliação do experimento em todas as parcelas. Houve variação na intensidade média da doença entre os períodos de avaliação. Houve correlação significativa entre as médias de severidade da doença e as variáveis climáticas para os dois tratamentos. Houve diferença significativa para AACPD entre os tratamentos.

**Palavras-chave:** *Ficus carica* L.; *Cerotelium fici* (Cast.) Arth.; Epidemiologia; Resistência.

**ABSTRACT** - Considering the absence of epidemiological studies on the rust (*Cerotelium fici*) of the fig tree (*Ficus carica* L.), the objective was to study the correlation of the disease with meteorological variables in different cultivars under treatment with fungicides, in the city of Lavras / MG. The experiment was conducted at the Federal University of Lavras / MG between 08/03/2017 and 05/07/2018. The disease was evaluated in 18 cultivars, aged 4 years old, according to the conventional practices of green fig production. The treatments consisted of plants without spraying and biweekly spraying of fungicides. The severity monitoring was performed weekly by non-destructive method, and the determination of the severity percentage of the disease was done using the diagrammatic scale. The average severity of the disease in the plots was plotted on the graph of the disease progress curve (AACPD) along the averages of the climatic variables 'maximum, minimum and average', 'precipitation', 'relative humidity' and 'insolation'. Correlations between severity and climatic variables lagged at 1.7, 30, 60 and 90 days before each evaluation were determined by Pearson's coefficient. Mean AACPD values were pooled by Scott-Knott's test. The rust occurred throughout the evaluation period of the experiment in all plots. There was a significant correlation between the mean severity of the disease and the climatic variables for the two treatments. There was a significant difference for AACPD among the treatments, and the cultivars 'Negro de Bursa' and 'Troiano' showed the lowest rates of the treatments, being 'Troiano' an alternative cultivar for Brazilian orchards.

**Key-words:** *Ficus carica* L.; *Cerotelium fici* (Cast.) Arth.; Epidemiology; Resistance.

## INTRODUÇÃO

A figueira (*Ficus carica* L.) está entre as principais espécies frutíferas de relativa importância econômica e em expansão no mundo, devido a sua adaptação a diferentes climas e tipos de solo (Bisi et al. 2016), produção de frutos logo nos primeiros meses após o plantio e sabor peculiar dos doces produzidos (Dalastra et al.2009).

Turquia, Egito, Marrocos, Argélia e Irã são os maiores produtores de figo do mundo (FAOSTAT. 2018). De acordo com a FAOSTAT (2018), a produção turca chega a 305 700 toneladas, o suficiente para abastecer o mercado local e exportar para países vizinhos. Brasil e Chile são os únicos países do hemisfério sul a exportar figos e abastecer, na entressafra, mercados como da Europa e Norte da África (Pio et al. 2017).

Os estados de Rio Grande do Sul, São Paulo e Minas Gerais, destacam-se no cenário nacional de produção de figos, com a produção do primeiro alcançando média de 11 918 toneladas (IBGE. 2018). As figueiras cultivadas sob condições subtropicais têm maior produtividade em comparação às cultivadas em regiões de clima temperado, principalmente por se conseguir produzir frutos praticamente o ano todo (Dalastra et al. 2009). Entretanto, a produção e produtividade dos pomares de figueira em regiões subtropicais são comprometidas por algumas doenças, principalmente a ferrugem.

A ferrugem da figueira [*Cerotelium fici* (Cast.) Arth.] está amplamente distribuída nos trópicos (Pio et al. 2007). Os sintomas podem ser observados na face adaxial das folhas como manchas verdes amareladas angulosas progredindo para a cor parda. Já na face abaxial, desenvolvem-se pústulas contendo massas pulverulentas de esporos de cor vermelho alaranjada. Sob condições climáticas favoráveis, a severidade da doença aumenta rapidamente, causando a queda prematura das folhas, conseqüentemente, ocorre redução no crescimento dos frutos e no acúmulo de carboidratos, depauperamento da planta e redução da produtividade no próximo ciclo.

No curto período de repouso vegetativo da planta o patógeno, classificado como policíclico, permanece viável nas folhas que podem permanecer na planta, e dessas folhas se prolifera os inóculos capazes de retornar à planta e inocular as folhas novas por meio do vento e água da chuva (Galletti e Rezende. 2005). A planta oferece fluxo foliar quase contínuo e, em

condições ideais de temperatura e umidade, a infecção e colonização do patógeno são favorecidas (Freire et al. 2006).

O controle da ferrugem com aplicação de fungicidas é a prática que prevalece em plantios comerciais. A recomendação é iniciar a prática no período de repouso da planta com fungicidas protetores a base de cobre, como calda bordalesa (1%) ou calda sulfocálcica (3kg/100 L de água) (Lorenzetti et al. 2011). E na fase vegetativa, realizar as pulverizações quinzenais com fungicidas sistêmicos, feitas até a completa maturação dos frutos, e dirigidas principalmente à face abaxial das folhas. Em regiões subtropicais, os custos de produção são elevados devido a quantidade excessiva de aplicações a fim de prevenir o aparecimento e segurar o avanço da doença no campo.

O sucesso da produção de figos em condições subtropicais está intimamente relacionado com o controle da ferrugem (Marchi et al.1999). Além da aplicação de fungicidas de forma preventiva e curativa, o uso de variedades resistentes à doença é o instrumento de grande importância para os produtores. No entanto, Marchi e colaboradores (1999) atestam a dificuldade de se utilizar o controle genético, devido ao país possuir um número reduzido de cultivares adaptadas às condições climáticas dos trópicos.

A cultivar ‘Roxo de Valinhos’ é a única cultivada comercialmente no Brasil. Apesar de sua rusticidade e adaptabilidade às condições tropicais e subtropicais, ela apresenta muitos problemas relativos a pragas e doenças, interferindo negativamente no seu cultivo. Novas cultivares são difíceis de serem utilizadas no país pois a maioria depende da polinização por inseto específico, a vespa *Blastophaga psenes*, sem ocorrência no Brasil (Ferreira et al. 2009). Existem cultivares de origem europeia capazes de produzir frutos por partenocarpia, dispensando a polinização da vespa, mas sua adaptabilidade às condições subtropicais e o potencial produtivo ainda são pouco conhecidos.

Variáveis climáticas estão diretamente envolvidas na incidência e severidade de toda doença. Fatores ambientais podem determinar o grau de predisposição do hospedeiro à doença, influenciando desde o seu estabelecimento até o desencadeamento de uma epidemia (Bedendo e Amorim. 2005). Variáveis climáticas, principalmente temperatura, umidade e luz, influenciam o processo de infecção por esporos de ferrugem (Alves et al. 2007), principalmente sob condições subtropicais, onde temperaturas amenas e alta umidade relativa do ar prevalecem na maior parte do ano. Temperaturas superiores a 22°C, umidade relativa em torno de 80% e

água livre na superfície da folha são condições ideais para a infecção do fungo (Bedendo. 2005), e durante períodos de elevada pluviosidade, há maior disseminação da doença.

Considerando a ausência de estudos epidemiológicos sobre essa importante doença, faz-se necessário a análise e descrição da epidemia. Dessa forma, objetivou-se estudar o progresso da ferrugem no campo em diferentes cultivares de *F. carica* L. sob tratamento com fungicidas, no município de Lavras/MG, correlacionar a severidade da doença com as variáveis meteorológicas precipitação pluviométrica, umidade relativa do ar, temperatura média, mínima e máxima do ar e insolação, e selecionar cultivares com resistência à ferrugem.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido no pomar de figueiras do Setor de Fruticultura da Universidade Federal de Lavras/MG no período de 03 de agosto de 2017 a 03 de julho de 2018. O referido município fica localizado a 21°13'40'' de latitude Sul, 44°57'42'' de longitude Oeste e possui altitude média de 970m acima do nível do mar. De acordo com a classificação climática de Köppen, Lavras apresenta clima tropical de altitude do tipo Cwa, caracterizado como inverno seco e verão quente e úmido (Alvares et al. 2014).

O solo da área experimental é classificado como Latossolo vermelho-amarelo distrófico (Moura et al. 2012), de textura argilosa. A análise química do solo foi realizada com uma amostra composta de solo das parcelas. O material foi encaminhado para o Laboratório de análise de solo do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal de Lavras. O experimento foi mantido livre de plantas daninhas na coroa das plantas por meio de capina manual. De acordo com a análise de solo realizada, foram obtidos os seguintes valores (Tabela 1).

Tabela 1. Valores de pH, K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, V (%), m (%), MO, Zn, B<sup>+</sup> e Al<sup>+3</sup> obtidos por análise de solo na amostra composta retirada do pomar de figueiras do campo experimental da Universidade Federal de Lavras/MG.

AMOSTRA			
pH	5.5	m (%)	2.65
P (mg.dm <sup>-3</sup> )	5.21	MO (dag.kg <sup>-1</sup> )	1.47
K <sup>+</sup> (mg.dm <sup>-3</sup> )	95	Zn (mg.dm <sup>-3</sup> )	4.23
Ca <sup>+2</sup> (mg.dm <sup>-3</sup> )	2.91	B <sup>+</sup> (mg.dm <sup>-3</sup> )	0.07
Mg <sup>+2</sup> (mg.dm <sup>-3</sup> )	0.52	Al <sup>+3</sup> (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	0.1
V (%)	50.41		

A ferrugem foi avaliada em 18 cultivares de *Ficus carica* L. ('Calabacita', 'Negro de Bursa', 'Lampa preta', 'Nazaré', 'Princesa', 'Colo de dama', 'Montes', 'Frucote', 'Dauphine', 'Maia', 'Bruswick', 'Mini Figo', 'Troiano', 'Três Num Prato', 'Pingo de Mel', 'Bêbara Branca', 'Lemon' e 'Roxo de Valinhos') com 4 anos de idade. Do plantio a formação das plantas, foram preconizados o desenvolvimento de 12 ramos na conformação definitiva, eliminando os excessos e priorizando as brotações voltadas para o exterior do ramo, seguindo recomendações de Dalastra e colaboradores (2009).

Todas as parcelas foram manejadas e mantidas de acordo com as práticas convencionais de produção de figos verdes no Brasil, incluindo a aplicação de fertilizantes durante o período de avaliação, com base na análise química do solo realizada, poda drástica de inverno, aplicação de calda bordalesa após a poda, e desbrotas (Campagnolo et al. 2010).

#### Tratos culturais

Para corrigir o pH e fornecer Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup> foram aplicadas 2.0 ton/ha de calcário dolomítico (PRNT=90). As adubações com nitrogênio e fósforo foram feitas de acordo com análise de solo realizada, seguindo recomendações de Campo-Dall'Orto et al. (1996). Os adubos utilizados foram ureia (273 kg.ha<sup>-1</sup>) e supersimples (728 kg.ha<sup>-1</sup>) como fontes de NH<sub>4</sub> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, respectivamente. As doses de nitrogênio foram parceladas em três aplicações anuais e a de fósforo feita em aplicação única, juntamente com a primeira aplicação de nitrogênio.

Quanto ao suprimento de micronutrientes, foram aplicados, via foliar e em intervalos quinzenais, 4kg/ha de produto comercial a base de complexo de micronutrientes (B, Fe, Mn, Mo, Zn).

## Delineamento experimental e tratamentos

A área experimental foi composta por 72 plantas, espaçadas 3 m entre linhas e 2 m entre plantas. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 18x2 (cultivar vs. tratamento) e 2 repetições por tratamento.

Os tratamentos consistiram de plantas sem pulverização (testemunha) e plantas com pulverização quinzenal de fungicidas a base de: Tebuconazol (0.6L/ha do produto comercial), Mancozebe (6.7kg/ha do produto comercial) e Azoxistrobina + Difenconazol (0.6L/ha do produto comercial). As pulverizações iniciaram-se antes do início da epidemia, no início da brotação, e foram direcionadas para a face inferior das folhas, utilizando pulverizador costal manual com volume de calda de 200 L/ha.

Os produtos comerciais utilizados tem registro para aplicação na cultura da figueira (MAPA.2018), e a escolha desses se baseou na proposta revezamento de grupos químicos de fungicidas.

## Variáveis climáticas

As variáveis climáticas foram obtidas da Estação Climatológica Principal de Lavras, localizada no campus da Universidade Federal de Lavras, pertencente ao 5º Distrito em Meteorologia, em convênio com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a Universidade. Os dados analisados foram temperatura máxima (°C), média (°C) e mínima (°C), umidade relativa (%), precipitação acumulada (mm) e insolação (horas).

## Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD)

O monitoramento da severidade foi realizado semanalmente, totalizando 49 avaliações. Foi utilizado o método não destrutivo, com amostragem de 4 ramos/planta, marcados aleatoriamente. A determinação da porcentagem de severidade da doença foi feita utilizando a escala diagramática proposta por Silva et al. (2019).

Os dados obtidos da severidade da ferrugem foram transformados em Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) de acordo com a equação proposta por Campbell e Madden (1990):

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

Na qual:

AACPD = Área abaixo da curva de progresso da severidade da doença,

$Y_i$  = proporção da doença na  $i$ -ésima observação,

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

$n$  = número total de observação.

#### Análises estatísticas

Os pressupostos da análise de variância foram verificados com os testes de normalidade (Shapiro Wilk), homogeneidade (Bartlett) e independência (Ljung-Box) para os dados de severidade e AACPD. Os dados de severidade foram submetidos à análise de variância e a significância foi verificada por teste F ( $p < 0.05$ ). O resultado referente à média de severidade da doença nas parcelas foi plotado em gráfico da curva de progresso da doença da cultivar representativa (escolhida com base na média dos índices AACPD), junto às médias das variáveis climáticas temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), temperatura média (°C), umidade relativa do ar (%) e insolação (h), e o acumulado de precipitação (mm).

As correlações existentes entre a severidade da doença em três cultivares representativas (de acordo com a média dos índices AACPD), da cultivar ‘Roxo de Valinhos’ e as variáveis climáticas coletadas por dia, defasadas em 1, 7, 30, 60 e até 90 dias antes de cada avaliação, foram determinadas empregando o coeficiente de correlação de Pearson ( $p < 0,05$ ).

Os valores de AACPD de cada parcela foram submetidos ao teste F ( $p < 0,05$ ) e as médias agrupadas por teste de Scott-Knott ( $p = 0.05$ ) para agrupar as cultivares.

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do R software (R Core Team, 2017), com o pacote Scottknott- função SK (Jelihovschi, 2014) para o teste de Scott-Knott e o pacote iswR (Dalgaard, 2008) para a correlação de Pearson.

## RESULTADOS

### Descrição epidemiológica da doença

Houve interação significativa entre as cultivares e os tratamentos realizados (Tabela 1). Os dados de severidade da doença e AACPD das cultivares avaliadas passaram somente no teste de independência (Ljung e Box, 1978). Nesse teste, a hipótese nula garante a independência da distribuição dos dados, ou seja, as correlações na população da qual a amostra é obtida são 0. Desse modo, quaisquer correlações observadas nos dados resultam da aleatoriedade do processo de amostragem.

Tabela 1. Resumo da análise de variância sobre a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) da ferrugem da figueira para severidade em função das cultivares e dos tratamentos avaliados, no período de 03/08/2017 a 05/07/2018.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Pr>F
Cultivar	17	47 569.00	2 798.20	374.48	2.2e <sup>-16</sup> ***
Tratamento	1	12 218.00	12 217.70	1635.08	2.2e <sup>-16</sup> ***
Cultivar x Tratamento	17	23 932.00	1 407.80	188.4	2.2e <sup>-16</sup> ***
Resíduo	209	1 562.00	7.50		

\*\*\*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

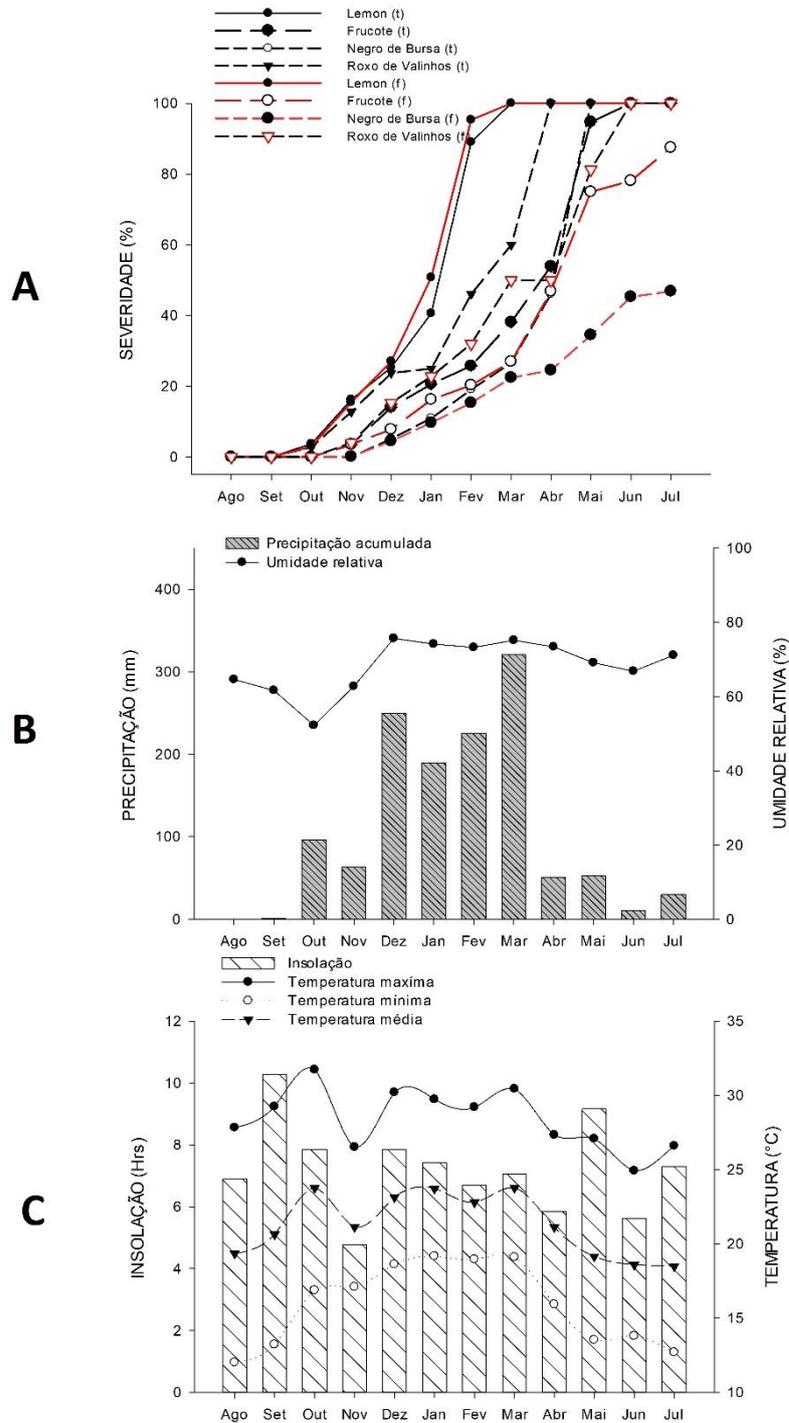
As cultivares ‘Lemon’, ‘Frucote’ e ‘Negro de Bursa’ foram escolhidas como representativas e seus resultados foram comparados aos obtidos na cultivar comercial, ‘Roxo de Valinhos’ (Figura 1). A ferrugem ocorreu durante todo o período de avaliação do experimento em todas as parcelas. Foi observada incidência de ferrugem em todas as cultivares, porém houve variação na severidade média da doença entre os tratamentos. Para algumas cultivares, nas parcelas sem aplicações de fungicidas, o índice máximo de severidade (100.0%) foi alcançado mais rápido comparado com as parcelas pulverizadas.

Os primeiros sintomas da doença foram observados em outubro/2017 (Figura 1A), sob temperatura média de 20.8°C, 48.5% de umidade relativa, 10.58h/dia de insolação e sem

precipitação (Figuras 1B, 1C, 1D, respectivamente). Os índices médios de severidade progrediram durante os meses seguintes, até a estabilização da doença (100.0%), em ambos tratamentos, em março/2018. Porém, nas parcelas sob aplicação de fungicidas na cultivar ‘Negro de Bursa’, a severidade média não alcançou 100.0%, e estabilização da doença não ocorreu junto com as demais cultivares.

Apesar do pico de severidade da doença ter sido alcançado no mesmo período de tempo, na cultivar ‘Lemon’ houve aumento da severidade da doença de forma progressiva e rápida na parcela tratada com fungicidas, de 50.78% em janeiro/2018 para 95.31% em fevereiro.

Figura 1. Curva de progresso da severidade média da ferrugem (*Cerotelium fici*) em folhas de figueira (*Ficus carica* L.) cultivares ‘Lemon’, ‘Frucote’, ‘Negro de Bursa’ e ‘Roxo de Valinhos’ em diferentes tratamentos [(t)=controle/(f)=com aplicação de fungicida] no tempo de avaliação (A); médias mensais das variáveis climáticas: umidade relativa e precipitação acumulada (B); temperaturas máxima, média e mínima e insolação (C) no período de Agosto/2017 a Julho/2018.



A média da umidade relativa mais baixa dos meses avaliados foi observada em outubro/2017 (52.27%), mês de início dos sintomas da doença no campo. A partir de outubro,

a umidade relativa se elevou de forma progressiva (62.8% em novembro e 75.71% em dezembro), atingindo 75.20% em março/2018, mês no qual a doença se estabilizou (100.0%).

A primeiras chuvas do ano de 2017 ocorreram em outubro (precipitação acumulada de 96.31mm), coincidindo com o início visível da doença. Nos meses seguintes, o aumento da pluviosidade (63.00 mm em novembro, 249.80mm em dezembro e até 321.10mm em março/2018) foi simultâneo ao aumento da severidade da doença no campo, se estabilizando (100.0%) em março.

Verificou-se o aumento gradativo da temperatura a partir de agosto/2017, com médias variando entre 20.8°C, 22.9°C (janeiro/2018) e 23.5°C (abril). O incremento na temperatura média foi seguido do aumento da severidade média da doença nos tratamentos. Em abril/2018 ocorreu o último pico de elevação da temperatura média acima dos 21°C, e nesse período, a doença já havia atingido o pico de intensidade (100.0%).

O mês de outubro/2017 apresentou o maior índice médio de insolação do período de avaliação (9.21/dia). Entre novembro/2017 e fevereiro/2018, a insolação não ultrapassou o índice de 7.44h/dia, e, nesse período, houve simultaneamente o aumento da severidade da doença, e, em março, quando a doença atingiu estabilidade (100.0%), a média de insolação chegou a 5.74h/dia.

#### Relação das variáveis climáticas com a ferrugem

Houve correlação significativa entre as médias de severidade da doença e as variáveis climáticas para os dois tratamentos (Tabela 2), entretanto os melhores resultados foram obtidos para os dados defasados de até 90 dias antes da avaliação semanal. As cultivares ‘Lemon’, ‘Frucote’ e ‘Negro de Bursa’ foram escolhidas como cultivares representativas por apresentarem os resultados mais característicos.

Tabela 2. Coeficientes de correlação entre a severidade da ferrugem (*Cerotelium fici*) da figueira (*Ficus carica* L.) e as variáveis climáticas temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura média, precipitação, umidade relativa do ar e insolação aos 1, 7, 30, 60 e 90 dias anteriores à avaliação da doença nos tratamentos testemunha (t) e pulverizadas com fungicida (f), no período entre 03/08/2017 e 05/07/2018 em Lavras/ MG.

CULTIVAR	VARIÁVEIS CLIMÁTICAS	CORRELAÇÃO DE PEARSON									
		1 dia		7 dias		30 dias		60 dias		90 dias	
		t	f	t	f	t	f	t	f	t	f
LEMON	Temperatura máxima (°C)	0.06	0.07	-0.15	-0.13	0.11	0.12	<b>0.38*</b>	<b>0.40*</b>	<b>0.60*</b>	<b>0.61*</b>
	Temperatura mínima (°C)	0.11	0.14	0.05	0.08	<b>0.36*</b>	<b>0.39*</b>	<b>0.57*</b>	<b>0.60*</b>	<b>0.75*</b>	<b>0.78*</b>
	Temperatura média (°C)	0.08	0.09	-0.11	-0.08	0.20	0.22	<b>0.46*</b>	<b>0.48*</b>	<b>0.66*</b>	<b>0.68*</b>
	Precipitação (mm)	0.00	0.04	-0.24	-0.22	-0.13	-0.06	0.10	0.16	<b>0.32*</b>	<b>0.37*</b>
	Umidade relativa (%)	0.12	0.14	<b>0.31*</b>	<b>0.33*</b>	<b>0.57*</b>	<b>0.60*</b>	<b>0.65*</b>	<b>0.69*</b>	<b>0.72*</b>	<b>0.75*</b>
	Insolação (h/dia)	0.00	0.00	-0.07	-0.08	<b>-0.29*</b>	<b>-0.33*</b>	<b>-0.43*</b>	<b>-0.48*</b>	<b>-0.62*</b>	<b>-0.67*</b>
FRUCOTE	Temperatura máxima (°C)	-0.03	-0.02	<b>-0.45*</b>	<b>-0.45*</b>	<b>-0.29*</b>	<b>-0.30*</b>	0.02	0.01	<b>0.30*</b>	<b>0.28*</b>
	Temperatura mínima (°C)	-0.26	0.26	<b>-0.35*</b>	<b>-0.37*</b>	-0.06	-0.07	0.18	0.17	<b>0.41*</b>	<b>0.39*</b>
	Temperatura média (°C)	-0.08	-0.07	<b>-0.50*</b>	<b>-0.51*</b>	-0.23	-0.24	0.07	0.06	<b>0.33*</b>	<b>0.31*</b>
	Precipitação (mm)	-0.08	-0.08	<b>-0.29*</b>	<b>-0.29*</b>	<b>-0.34*</b>	<b>-0.36*</b>	-0.27	<b>-0.28*</b>	-0.13	-0.15
	Umidade relativa (%)	0.12	0.13	0.14	0.10	<b>0.33*</b>	<b>0.31*</b>	<b>0.39*</b>	<b>0.38*</b>	<b>0.48*</b>	<b>0.47*</b>
	Insolação (h/dia)	0.10	0.09	0.02	0.04	-0.14	-0.12	-0.18	-0.16	<b>-0.29*</b>	-0.28
NEGRO DE BURSA	Temperatura máxima (°C)	-0.05	0.00	<b>-0.50*</b>	<b>-0.37*</b>	<b>-0.35*</b>	-0.23	-0.05	0.05	0.22	<b>0.31*</b>
	Temperatura mínima (°C)	<b>-0.34*</b>	-0.19	<b>-0.43*</b>	-0.28	-0.16	0.00	0.08	0.23	<b>0.31*</b>	<b>0.45*</b>
	Temperatura média (°C)	-0.11	-0.04	<b>-0.57*</b>	<b>-0.42*</b>	<b>-0.31*</b>	-0.17	-0.02	0.10	0.24	<b>0.36*</b>
	Precipitação (mm)	-0.10	-0.06	<b>-0.31*</b>	<b>-0.31*</b>	<b>-0.42*</b>	<b>-0.29*</b>	<b>-0.35*</b>	-0.19	-0.23	-0.03
	Umidade relativa (%)	0.09	0.14	0.07	0.15	0.23	<b>0.39*</b>	<b>0.30*</b>	<b>0.45*</b>	<b>0.41*</b>	<b>0.55*</b>
	Insolação (h/dia)	0.11	0.07	0.04	0.03	-0.06	-0.17	-0.07	-0.23	-0.19	<b>-0.38*</b>

**Negrito\*** representa diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste F.

Para os dados defasados de 1 dia, somente a variável ‘temperatura mínima’ apresentou correlação negativa com o progresso da severidade da doença na cultivar ‘Negro de Bursa’ sem a pulverização com fungicidas.

Para a cultivar ‘Lemon’, nos dados defasados de 7 dias, houve correlação significativa positiva com a variável ‘umidade relativa’. Até 30 dias antes da avaliação, houve correlação positiva com as variáveis ‘temperatura’ e ‘umidade relativa’, e correlação negativa para ‘insolação’, e aos 60 dias, houve correlação significativa e positiva com as variáveis ‘temperaturas máxima, mínima e média’ e ‘umidade relativa’, enquanto para a variável ‘insolação’, as correlações foram negativas nos dois tratamentos avaliados.

Para a cultivar ‘Frucote’, houve correlação negativa em ambos tratamentos para os dados defasados de 7 dias com as variáveis ‘temperatura máxima’, ‘temperatura mínima’, ‘temperatura média’ e ‘precipitação’. Até 30 dias da avaliação, houve correlação negativa com as variáveis ‘temperatura máxima’ e ‘precipitação’, e correlação positiva com ‘umidade relativa’. Aos 60 dias antes da avaliação, houve correlações significativas negativa com a variável ‘precipitação’ no tratamento sob pulverização, e positiva com a variável ‘umidade relativa’ nos dois tratamentos.

Para a cultivar ‘Negro de Bursa’, em dados defasados de 7 dias, houve correlação significativa negativa com as variáveis ‘temperatura máxima’, ‘temperatura média’ e ‘precipitação’ em ambos tratamentos e somente no tratamento testemunha com a variável ‘temperatura mínima’. Para os dados defasados de 30 dias, houve correlação negativa no tratamento testemunha com as variáveis ‘temperatura máxima’ e ‘temperatura média’, correlação positiva no tratamento sob aplicação de fungicidas com a variável ‘umidade relativa’, e correlação negativa em ambos tratamentos para a variável ‘precipitação’.

## AACPD

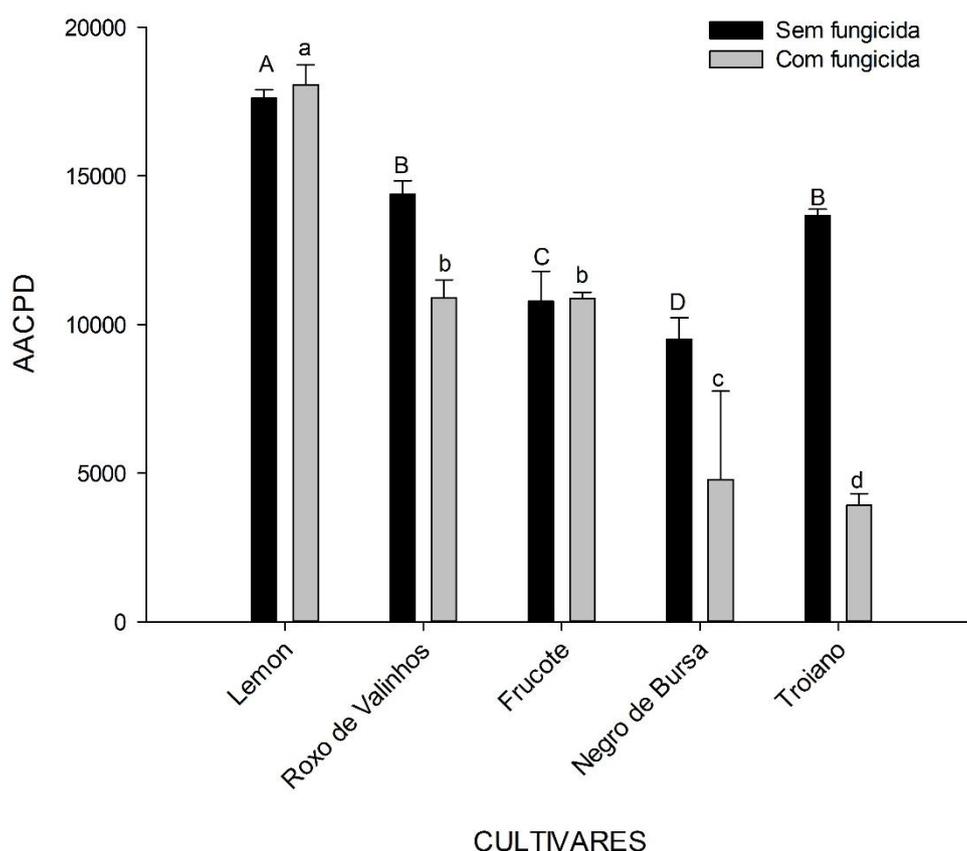
Houve diferença significativa ( $p < 0.05$ ) para a interação entre os tratamentos e entre as cultivares (Figura 2). As cultivares representativas foram reunidas em 4 agrupamentos de acordo com a variação percentual dos índices médios AACPD

No tratamento sem aplicação de fungicidas, a cultivar ‘Lemon’ obteve o maior índice de AACPD (17 613.75). As cultivares ‘Roxo de Valinhos’ e ‘Troiano’ tiveram médias significativamente iguais, com variação no índice AACPD de 18.35% em

comparação ao primeiro agrupamento formado. A cultivar ‘Frucote’ apresentou média de AACPD de 10.784,37, seguida da ‘Negro de Bursa’, que obteve o menor índice AACPD (9 506.87).

No tratamento sob aplicação de fungicidas, a cultivar ‘Lemon’ obteve novamente o maior índice AACPD (18 073.12), e a variação do seu índice em comparação aos índices do agrupamento seguinte, das cultivares ‘Roxo de Valinhos’ e ‘Frucote’, foi de 39.70%. A cultivar de comportamento intermediário neste tratamento foi a ‘Negro de Bursa’, com índice AACPD variando 56.06% em comparação ao agrupamento anterior. E a cultivar ‘Troiano’ apresentou o menor dos índices AACPD (3 915.62).

Figura 2. Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) das cultivares ‘Lemon’, ‘Roxo de Valinhos’, ‘Frucote’, ‘Negro de Bursa’ e ‘Troiano’ nos tratamentos testemunha e com aplicação de fungicidas, no período entre julho de 2017 e julho de 2018.



Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na barra cor preta pertencem ao mesmo grupo pelo Teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade. E médias seguidas por letras minúsculas iguais na barra cor cinza pertencem ao mesmo grupo pelo Teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade

## DISCUSSÃO

A intensidade da ferrugem variou ao longo do período de avaliação, porém todos os tratamentos alcançaram nível máximo de severidade (100.0%). Essa variação deve-se a diferença entre os tratamentos e as variáveis climáticas correlacionadas significativamente.

Pôde-se identificar o comportamento atípico da ferrugem nas cultivares tratadas com fungicidas, caracterizado por aumento em escala logarítmica da severidade da doença partir de dezembro/2017 (27.03% para 50.78% em janeiro/2018 e 95.31% em fevereiro), atingindo o seu 'pico' em março (100.0%). As parcelas sob o tratamento controle, tiveram crescimento da severidade da doença mais lento (25.31% em dezembro/2017, 40.63% em janeiro/2018 e 100.0% em março). Em contraste, Subhash (2018) reportou, em experimento de avaliação de campo de diferentes fungicidas sistêmicos e não sistêmicos para o manejo efetivo da ferrugem do figo, a diminuição linear da intensidade da doença e o aumento dos parâmetros de produtividade em tratamento com azoxistrobina (0.05%). Rios et al. (2016) realizaram estudo das consequências da aplicação de fungicidas sobre cultivares com diferentes níveis de resistência a brusone do arroz e observaram a variação da magnitude do efeito dos produtos entre as cultivares e entre os tempos de avaliação, fato que explica a maior intensidade da doença na cultivar classificada como resistente nos primeiros dias após a inoculação do patógeno.

O aumento da severidade da doença a partir de outubro/2017 foi acompanhado da elevação da pluviosidade, alcançando 321.10mm em março/2018. A água constitui fator vital para a germinação dos esporos e penetração do patógeno no hospedeiro, relacionando a intensidade da doença diretamente à duração do período de molhamento. Os resultados desse trabalho corroboram com informações apresentadas por Philip e colaboradores (1993) sobre a incidência da ferrugem (*C. fici*) na amoreira, provando o início da incidência na estação chuvosa. Leite e Amorim (2002), em trabalho sobre a influência da temperatura e molhamento foliar no monociclo da mancha de *Alternaria* em girassol, descrevem o aumento diretamente proporcional da densidade relativa das lesões e da severidade da doença com o aumento da água livre nas folhas.

A severidade da doença foi inversamente proporcional a quantidade de radiação solar sobre as plantas no período avaliado. A luz solar afeta a fotossíntese a transpiração do hospedeiro, bem como a sobrevivência do inóculo (Vale et al. 2004). Custódio e colaboradores (2010) verificaram diferença significativa na AACPD para incidência e severidade da ferrugem do cafeeiro quanto à exposição da face da planta ao sol, em razão da ausência de luz aumentar o molhamento foliar, diminuindo o déficit pressão de vapor e evaporação da água, fatores essenciais à germinação e penetração dos uredinósporos do patógeno (Muller e Buck. 2003).

A umidade relativa do ar tem influência direta na intensidade da doença. Verificou-se o aumento da severidade da doença com a elevação dos índices médios da variável climática, assim como observado por Alves et al. (2007) na avaliação da intensidade da ferrugem asiática da soja em diferentes cultivares sob diferentes temperaturas e períodos de molhamento foliar. A umidade relativa tem relação com a esporulação de algumas espécies (Vale et al. 2004) e a eficiência de infecção do patógeno. Vale (2004), estudando os aspectos epidemiológicos da ferrugem asiática da soja na cultivar Paraná, citou a umidade relativa superior a 90% para sucesso da colonização do patógeno.

De maneira geral, a temperatura é a variável mais influente nos componentes biológicos do patossistema no desenvolvimento da epidemia (Campbell e Madden. 1990). Durante o período avaliado, a temperatura média em campo foi acima dos 22°C, condição inicial para o sucesso da colonização do patógeno. Alves et al. (2007) confirmam a maior intensidade da ferrugem asiática da soja em temperaturas próximas a 20 °C nas 3 cultivares avaliadas. De acordo com Mijuskovic (1963), a ferrugem da figueira geralmente não causa danos significativos no Mediterrâneo, onde a amplitude térmica é elevada. Nos Trópicos, o patógeno encontra temperatura favorável ao desenvolvimento e infecção por mais tempo ao longo do ano.

Verga e Nelson (2014) afirmam que a ferrugem da figueira é mais provável de ocorrer durante o clima quente e úmido, propício para o desenvolvimento de esporos de ferrugem. Em climas quentes e secos, a ferrugem da figueira não representa risco significativo para o cultivo de figos. Patógenos de ferrugem podem se adaptar a diferentes temperaturas ideais (Chakraborty et al. 2011) e mudanças na capacidade dos patógenos de sobreviver por uma estação e outra devem ser consideradas ao determinar os prováveis efeitos do clima alterado na severidade da ferrugem.

O estudo dos fatores climáticos associados ao comportamento do patógeno pode auxiliar na compreensão da ocorrência de epidemias em campo, permitindo aplicações de medidas de controle adequadas (Montoya e Chaves. 1974). As correlações significativas entre as variáveis climatológicas registradas e a severidade da doença foram aumentando juntamente com as médias dos dados defasados de 1, 30, 60 e 90 dias antecedentes às avaliações.

As correlações significativas entre as variáveis ‘temperaturas máxima, mínima e média’, ‘umidade relativa’ e a severidade da doença foram aumentando de 7 a 90 dias antes das avaliações. Para essas variáveis, as correlações foram positivas, ou seja, quanto maior a média das temperaturas e a umidade relativa do ar, maior foi a severidade da ferrugem. Tal fato pode ser justificado pela necessidade de umidade para a germinação da maioria dos esporos fúngicos assim como também para a penetração do tubo germinativo no hospedeiro (Agrios. 2005), e a temperatura é o principal fator que afeta a viabilidade do urediniósporos (Elisson et al. 1998). Custódio et al. (2014), em estudo sobre os efeitos da irrigação por pivô central sobre a ferrugem e cercosporiose em cafeeiro, identificou similarmente correlações positivas da elevação da temperatura e pluviosidade com a incidência das doenças avaliadas, apresentando índice de 0.99.

A variável ‘precipitação’ apresentou correlação significativa positiva somente para os dados defasados de 90 dias na cultivar ‘Lemon’, ou seja, a pluviosidade foi diretamente proporcional ao progresso da severidade da doença. A água da chuva é o principal fator disseminador de esporos do fungo (Lorenzetti et al. 2011), justificando a correlação direta da pluviosidade com o progresso da doença. Resultados similares foram observados em outros trabalhos com foco no desenvolvimento de ferrugens (Junk et al. 2016; Godoy et al. 2002; Tsukahara et al. 2008). As correlações significativas foram negativas nas outras cultivares selecionadas para a maioria dos tratamentos nos dados defasados entre 7 e 60 dias, ou seja, o aumento da severidade da doença ocorreu com menos pluviosidade.

Todas as correlações significativas entre a severidade e a variável ‘insolação’ foram negativas, portanto, quanto menor o período luminoso sobre as plantas, maior a severidade da doença. *Cerotelium fici* é um patógeno fúngico de esporos hialinos (não possuem melanina), portanto, sensível à radiação solar (Gupta et al. 1994). Diferente dos fungos dematiáceos, como *Cercospora coffeicola*, capazes de sobreviver em habitats com características extremas de radiação, como provado por Custódio e colaboradores (2010),

com o aumento da incidência de cercosporiose e a diminuição da ferrugem em cafeeiros quando expostos à face que recebia mais luz solar durante o dia.

A área abaixo da curva de progresso da doença da maioria das cultivares no tratamento testemunha foram maiores em comparação ao tratamento sob aplicação de fungicidas, provando sobre a aplicação preventiva e curativa conferir um grau de resistência ao progresso da doença no campo. Emmit e colaboradores (2016) obtiveram resultados semelhantes, com diminuição dos índices AACPD em tratamentos sob aplicação de fungicidas para o controle da ferrugem em *Hemerocallis* spp. em menos de 14 dias após a pulverização.

No tratamento testemunha, a cultivar ‘Negro de Bursa’ apresentou menor índice AACPD, no entanto, na avaliação do desempenho agrônomo das mesmas dezoito cultivares de figueira visando a produção de figos verdes em regiões de clima subtropical, Figueiredo (2017) não observou produção significativa de frutos vindimos dessa cultivar mediante o sistema de podas e condução utilizados. Já no tratamento com aplicação de fungicidas, mais representativo das condições de pomares comerciais, a cultivar ‘Troiano’ apresentou índice AACPD considerado baixo, e essa cultivar apresenta potencial produtivo em condições subtropicais, pois atingiu o dobro de produtividade (4.4 ton/ha) da cultivar ‘Roxo de Valinhos’ (2.28ton/ha) na safra 2016/17 (Figueiredo. 2017).

Conclui-se, portanto, a influência das variáveis climáticas no desenvolvimento da ferrugem da figueira no campo, e, sob aplicação de fungicidas, a cultivar ‘Troiano’ apresenta melhores resultados quanto a resistência à doença, podendo ser a cultivar alternativa para diversificação nos pomares brasileiros.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 - por concessão de bolsa de estudos para a primeira autora, aos colegas do setor de Fruticultura do Departamento de Agricultura e pós-graduandos do Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras/MG, por auxiliar nas avaliações e interpretar os resultados obtidos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrios, G. N. (2005). *Plant Pathology*, 5 ed., (pp.562-574), Amsterdam, Elsevier Academic Press.
- Alves, M.C., Pozza, E.A., Ferreira, J.B., Araújo, D.V., Costa, J.C.B., Deuner, C.C., Muniz, M.F.S., Zambenedetti, E.B., & Machado, J.C. (2007). Intensidade da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi* H. Sydow & P. Sydow) da soja [*Glycine max* (L.) Merr.] nas cultivares Conquista, Savana e Suprema sob diferentes temperaturas e períodos de molhamento foliar. *Summa Phytopathologica*, 33(3), 239-244.
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., & Sparovek, G. (2014). Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(3), 711–728.
- Bedendo, I. P. Ferrugens. In H Kimathi et al. (Eds.) (2005). *Manual de Fitopatologia*, 4 ed., v.1, (pp. 479-491), São Paulo, Agronômica Ceres.
- Bedendo, I.P., Amorim, L. Ambiente e doença. In H Kimathi et al. (Eds.) (2005). *Manual de Fitopatologia*, 4ed., v.1, (pp. 133-148), São Paulo, Agronômica Ceres.
- Bergamin Filho, & A., Amorim, L. (1996). *Doenças de plantas tropicais: Epidemiologia e controle econômico*. São Paulo: Ceres.
- Bisi, R.B., Locatelli, G., Barbosa, C. M. A., Pio, R., & Balbi, R.V. (2016). Rooting of stem segments from fig tree cultivars. *Acta Scientiarum. Agronomy (Online)*, 38, 379-385.
- Campagnolo, M.A., Pio, R., Dalastra, I.M., Chagas, E.A., Guimarães, V.F., Dalastra, G.M. (2010). Sistema desponte na produção de figos verdes 'Roxo de Valinhos'. *Ciência Rural*, 40, 1, 25-29.
- Campbell, C.L., & Madden, L.V. (1990). *Introduction to plant disease epidemiology*. New York: John Wiley.
- Campo-Dall'Orto, F.A., Barbosa, W., & Quaggio, B.V. Frutíferas: frutas de clima temperado, II. In B.V. Raij, H. Cantarella, A. Quaggio, & A.M.C. Furlani (1996). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. (pp.141-142), Instituto Agronômico. (Boletim Técnico, 100).

- Chakraborty, S., Luck, J., Hollaway, G., Fitzgerald, G., & White, N. (2011). Rust-proofing wheat for a changing climate. *Euphytica*, 79, 19–32.
- Custódio, A.A.P., Pozza, E.A., Custódio, A.A.P., Souza, P.E., Lima, L.A., & Lima, L.M. (2010). Intensidade da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro quanto à face de exposição das plantas. *Coffee Science*, 5(3), 214-228.
- Dalastra, I.M., Pio, R., Campagnolo, M.A., Dalastra, G.M., Chagas, E.A., & Guimarães, V. F. (2009). Pruning time in the production of 'Roxo de Valinhos' green fig in organic sistem in the west region of Paraná State. *Revista Brasileira de Fruticultura (Impresso)*, 31, 447-453.
- Dalgaard P. (2008). *ISwR: introductory statistics with R. R package version 1 .0–5*. University of Copenhagen: Copenhagen.
- FAOSTAT: Food And Agriculture Organization of United Nations. (2018). *Figs*. <http://www.faostat.org>. Acesso em 05 Nov 2018.
- Ferreira, E.A., Pasqual, M., & Tulmannet, A. (2009). In vitro sensitivity of fig plants to gamma rays. *Sci Agric*, 65, 540–542.
- Freire, F.C.O., Parente, G.B., & Cardoso, B.B. (2006). *Doenças da figueira (Ficus carica L.) no estado do Ceará*. Fortaleza, Embrapa Agroindústria Tropical, 5p. (Circular técnica, 26).
- Galleti, S.R., & Rezende, J.A.M. (2005). Doenças da figueira. In H. Kimathi et al. (Eds.), *Manual de Fitopatologia: doenças de plantas cultivadas*, 4 ed., v.2, (pp.351-354), Agronômica Ceres.
- Godoy, C.V., Amorim, L., Bergamin Filho, A., Silva, H.P., Silva, W.J., & Berger, R.D. (2002). Temporal progress of southern rust in maize under different environmental conditions. *Fitopatologia brasileira*, 28(3), 273-278.
- Gupta, V. P., Tewari, S. K., & Datta, R. K. (1994). Surface ultrastructure of the uredinial stage of *Cerotelium fici* and its infection process on mulberry. *Mycopathologia*, 128(2), 99-104.
- IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *SIDRA: Banco de dados agregados do IBGE*. <http://www.sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em 13 jan 2019.

- Junk, J., Kouadio, L., Dellfosse, P., & El Jarroudi, M. (2016). Effects of regional climate change on brown rust disease in winter wheat. *Climatic Change*, 135, 439–451
- Leitte, R.M.V.B.C., Amorim, L. (2002). Influência da temperatura e do molhamento foliar no monociclo da mancha de *Alternaria* em girassol. *Fitopatologia Brasileira*, 27(2),193-200.
- Ljung, G. M., Box, G. E. P. (1978). On a measure of a lack of fit in time series models. *Biometrika*. 65(2), 297–303
- Lorenzetti, E.R. (2011). Doenças da figueira. In S. Leonel; A. C. Sampaio (Org.). *A Figueira*. (pp.267-278), Unesp.
- MAPA: Ministério da Agricultura Pecuária e Desenvolvimento. *Agrofit: Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários*. [http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons). Acesso em 28 Mar 2019.
- Marchi, C.E., Resende, M.L.V., Carvalho, V.V. & Chalfun. N.N.J. (1999). *Manejo Integrado da Ferrugem da Figueira*. Lavras, Editora UFLA, 12p. (Boletim nº38).
- Montoya, R.H., & Chavez, G.M. (1974). Influência da temperatura e da luz na germinação, infectividade e período de geração de *Hemileia vastatrix* Berk & Br. *Experientiae*, 18(11), 239-266
- Moura, P.H.A., Campagnolo, M.A., Pio, R., Curi, P.N., Assis, C.N., & Silva, T.C. (2012). Fenologia e produção de cultivares de framboeseiras em regiões subtropicais no Brasil. *Pesquisa Agropecuária brasileira*, 47(2), 1714-1721.
- Pio, R., Chagas, E.A., Campo Dall’Orto, F.A, & Barbosa, W. (2007). Manejo para o cultivo da figueira. *Campo & Negócio*, 62-63.
- Pio, R., Oliveira, A.C.L., Pasqual, M., Pio, L.A.S., Curi, P.N., & Bisi, R.B. (2017). Protocol for flow cytometric estimation of nuclear DNA amount in fig (*Ficus carica* L.) cultivars. *Acta Horticulturae*, 1, 99-104.
- Philip, T., Govindaiah, A. K. Bajpai, C. Nagabhushannam, & Naidu, N. R. (1997). A preliminary survey on mulberry disease in South India. *Indian J. Seric*, 32, 128-132.

Tsukahara, R.Y., Hikishima, M., & Canteri, M.G. (2008). Relationship between climate and the progress of the asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in two micro-regions of Paraná State. *Semina*, 29(1), 47-52.

Verga, A., & Nelson, S. (2014). Fig rust in Hawaii. College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawai at Manoa.