



**RENATA CRISTINA MARTINS PEREIRA**

**ELABORAÇÃO E VALIDAÇÃO DE ESCALA  
DIAGRAMÁTICA PARA FERRUGEM DA CANDEIA E  
PROGRESSO DA DOENÇA NO CAMPO**

**LAVRAS – MG  
2017**

**RENATA CRISTINA MARTINS PEREIRA**

**ELABORAÇÃO E VALIDAÇÃO DE ESCALA DIAGRAMÁTICA PARA  
FERRUGEM DA CANDEIA E PROGRESSO DA DOENÇA NO CAMPO**

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

Profa. Dra. Maria Alves Ferreira  
Orientadora

**LAVRAS – MG  
2017**

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

Pereira, Renata Cristina Martins.

Elaboração e validação de escala diagramática para ferrugem da can-deia e progresso da doença no campo / Renata Cristina Martins Pereira. - 2017.

56 p. : il.

Orientador(a): Maria Alves Ferreira.

.  
Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Ferrugem da can-deia. 2. Escala diagramática. 3. Progresso da doença. I. Ferreira, Maria Alves. . II. Título.

RENATA CRISTINA MARTINS PEREIRA

**ELABORAÇÃO E VALIDAÇÃO DE ESCALA DIAGRAMÁTICA PARA FERRUGEM DA CANDEIA E PROGRESSO DA DOENÇA NO CAMPO**

**ELABORATION AND VALIDATION OF DIAGRAMS SCALE FOR CANDEIA'S RUST AND PROGRESS OF FIELD DISEASE**

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

APROVADA em 30 de Agosto de 2017.

Prof. Dr. Eduardo Alves

UFLA

Dr. Hudson Teixeira

EPAMIG

Profa. Dra. Maria Alves Ferreira

Orientador

**LAVRAS – MG**

**2017**

*Aos meus pais, Iara e Maurício por serem meus exemplos de vida e não medirem esforços para que eu concluísse mais essa etapa na minha vida, e a minha irmã Bianca por todo amor, carinho e companheirismo.*

*Com muito amor,*

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Fitopatologia (DFP) pela oportunidade de realização do mestrado e pelo investimento que faz em seus discentes.

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

A Profa. Dra. Maria Alves Ferreira pela orientação, compreensão, dedicação e seus ensinamentos que foram de grande relevância para a realização deste trabalho e meu crescimento profissional.

Aos professores e discentes do Departamento de Fitopatologia da UFLA, pelos ensinamentos transmitidos e colaboração.

Aos alunos graduandos Cézár e Mario pela preciosa ajuda na condução dos experimentos. Aos amigos da Fitopatologia e Lavras pela fraternidade em momentos compartilhados.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação e conquista deste sonho.

A meus colegas e amigos do laboratório de Patologia Florestal, Gizeli, Thaissa, Gabi, Hallem, Luiza, e Bruna pelo apoio todos os dias.

A meus amigos de Lavras pelos momentos de descontração e pela força durante todos esses anos.

Aos meus pais, Iara e Mauricio, meus avós Marinho, Aparecida, Homero e Maria, e minha irmã, Bianca pelo amor.

## RESUMO

A candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish), espécie florestal nativa da América do Sul, tem levantado interesse comercial devido sua madeira bruta com alta resistência, durabilidade e a produção do óleo essencial que contém o alfabisabolol, muito utilizado na indústria farmacêutica e de cosméticos. No entanto, doenças podem reduzir a produtividade e comprometer o seu fornecimento no mercado brasileiro. A ferrugem da candeia causada pelo patógeno *Puccinia velata* ocorre no campo em árvores adultas, entretanto não existem dados nem pesquisas de base para se determinar estratégias de controle e manejo dessa doença. Logo, o objetivo desse trabalho foi criar um método padronizado para quantificar a severidade da ferrugem no campo e observar o progresso temporal da doença durante dez meses. Diante do primeiro objetivo, uma escala diagramática foi desenvolvida com oito valores: 0,25, 0,50, 1, 2, 4, 8, 16, 32% de severidade da doença, baseado nos intervalos de frequência encontrados no campo. Das folhas coletadas no campo, 95% apresentaram severidade abaixo de 16% e apenas 5% entre 16 e 32%. O uso da escala proporcionou aos avaliadores bons níveis de acurácia, precisão, repetibilidade e reprodutibilidade. Dessa forma, a escala demonstrou ser adequada para quantificação de ferrugem-da-candeia. Posteriormente, com esse método visual de quantificação, o progresso da doença foi avaliado para 17 clones de *E. erythropappus* em um campo experimental da Universidade Federal de Lavras. O monitoramento da doença foi feito mensalmente no período de setembro de 2016 a julho de 2017. Posteriormente, foram ajustados três modelos empíricos para descrever a doença, realizado um teste de média para os valores de AACDP para avaliar resistência dos clones, e avaliada a correlação entre as condições climáticas e o progresso da ferrugem. Apesar de apresentar sintomas do patógeno durante todo o período avaliado, surtos epidêmicos ocorreram a partir do mês de março, sendo constatada uma incidência da doença em até 90% das árvores no campo. O melhor modelo ajustado para sete clones no período de epidemia da doença foi o Exponencial. O teste de Scott-Knott separou os clones em três agrupamentos, considerando o primeiro com oito clones moderadamente resistente, o segundo com seis clones moderadamente suscetíveis e o terceiro grupo com três clones suscetíveis. A correlação das variáveis climáticas com a severidade no campo constatou que apenas a temperatura influencia no progresso da doença.

**Palavras chave:** *Eremanthus erythropappus*, *Puccinia velata*, Patometria, Análise temporal.

## ABSTRACT

Candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish), a native forest species from South America, has raised commercial interest due to its high resistance raw timber, durability and the production of an essential oil that contains the alphasabolol, widely used in the pharmaceutical industry of cosmetics. However, plant diseases can severely reduce productivity and compromise their supply in the Brazilian market. The rust in candeia is caused by the pathogen *Puccinia velata* which occurs in the field plantations in adult trees. However, there is no data or basic research to determine control and management strategies. Therefore, the objective of this work was to create a standardized method to quantify the severity of rust in field plantations and observe temporal progression of the disease during a year. Before the first objective, a diagrammatic scale was developed with eight values: 0,25, 0,50, 1, 2, 4, 8, 16, 32% of disease severity, based on the frequency ranges found in the field plantations. From the leaves collected in the field, 95% of them presented severity below 16% and only 5% had it between 16 and 32%. The use of the scale provided the evaluators with good levels of accuracy, precision, repeatability and reproducibility. Thus, the scale proved to be adequate for the quantification of rust in “candeia”. Subsequently, to this visual method of quantification, the disease progress was also evaluated for 17 clones of *E. erythropappus* in an experimental field at the Federal University of Lavras. The monitoring of the disease was done monthly from September 2016 to July 2017. Three empirical models were then adjusted to describe the disease, a mean test for the AACDP values was performed to evaluate resistance of the clones and the correlation between the conditions and the progress of rust. In spite of presenting symptoms of the pathogen during the whole evaluated period, epidemic outbreaks occurred in the month of March, having an highest incidence of the disease, affecting about up to 90% of the trees in the field plantations. The best model adjusted for the seven clones evaluated in the epidemic disease period was Exponential. Scott-Knott test separated the clones into three clusters: the first with eight moderately resistant clones, the second with six moderately susceptible clones and the third with three susceptible clones. The correlation of the climatic variables with the severity in the field indicated that only temperature influences the progress of the disease.

**Keywords:** *Eremanthus erythropappus*, *Puccinia velata*, Pathometry, temporal analysis.

## SUMÁRIO

<b>PRIMEIRA PARTE</b>	<b>1</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>3</b>
2.1 Caracterização da candeia	3
2.2 Etiologia de ferrugens	4
2.3 Ferrugem da candeia	5
<b>3 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO</b>	<b>8</b>
<b>SEGUNDA PARTE -</b>	<b>10</b>
<b>ARTIGO 1 - Elaboração e validação de escala diagramática para ferrugem da candeia</b>	<b>10</b>
<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>13</b>
Elaboração e desenvolvimento da escala diagramática para ferrugem da candeia	13
Validação da escala diagramática utilizando Regressão Linear	13
Validação da escala utilizando método de Lin	14
<b>RESULTADOS</b>	<b>15</b>
Elaboração e desenvolvimento da escala diagramática para ferrugem da candeia	15
Validação da escala diagramática usando Regressão Linear	18
Validação da escala diagramática usando método de Lin	22
<b>DISCUSSÃO</b>	<b>24</b>
<b>AGRADECIMENTOS</b>	<b>25</b>
<b>REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO</b>	<b>26</b>
<b>ARTIGO 2 - Análise temporal da ferrugem em plantios clonais de candeia</b>	<b>11</b>
<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>31</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>32</b>
Área experimental e delineamento	32
Análises de curvas de progresso da doença usando modelos empíricos	33
Influência de variáveis climatológicas na severidade da ferrugem	34
<b>RESULTADOS</b>	<b>34</b>
Progresso temporal de ferrugem em candeia	32
Resistência dos clones de acordo com a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD)	38
Influência de variáveis climatológicas na severidade da ferrugem	39
<b>DISCUSSÃO</b>	<b>42</b>
<b>AGRADECIMENTOS</b>	<b>44</b>
<b>REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO</b>	<b>44</b>

## **PRIMEIRA PARTE – Introdução e Referencial teórico geral**

### **1 INTRODUÇÃO**

A candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish) tem ganhado visibilidade nos últimos anos, tanto pela sua representatividade ecológica como pelo seu potencial para exploração de madeira e óleo essencial (SCOLFORO, J. R. S., 2002). Devido às múltiplas propriedades do óleo essencial, essa espécie tem sido fortemente explorada pelas indústrias de cosméticos e farmacêuticas. Além disso, a capacidade de adaptação dessa espécie em solos pouco férteis e em áreas de elevada altitude lhe conferem a vantagem de se desenvolver em locais onde seria difícil a implantação de culturas agrícolas ou de outras espécies florestais (RIZZINI, C. T., 1979). Aproveitando suas particularidades e visando minimizar a exploração de candeais nativos, os plantios de candeia surgem como uma promissora opção de cultivo florestal.

Apesar dos benefícios econômicos e ambientais advindos de plantios florestais, muitos problemas surgem com a implantação de uma monocultura (GALDINO et al., 2006). Conseqüentemente, vários fatores podem contribuir para a redução da sua produtividade e comprometer o fornecimento de madeira para o mercado. Dentre eles, citam-se as adversidades climáticas, as pragas e as doenças. Entre as doenças relatadas, podem ser citadas manchas foliares, cujos agentes etiológicos podem ser *Phyllachora eremanthi* e *Asteridiella cyclopoda*, e a ferrugem da candeia cujo agente etiológico é *Puccinia velata* (DIETEL, P., 1897). A ferrugem tem ocorrido com frequência, podendo causar danos em árvores campo na região do sul de Minas Gerais.

Diante desse cenário, o controle da doença é essencial, sendo a utilização de clones resistentes a forma mais eficiente de controle para ferrugens (ALFENAS et al., 2016). No entanto, para fazer a seleção de clones resistentes, estudos epidemiológicos são necessários, pois auxiliam na avaliação da doença no campo.

O sucesso da quantificação da doença depende da metodologia utilizada para fazer as avaliações. A escolha desse método deve levar em consideração a doença, o órgão afetado,

sua aplicabilidade em diferentes situações, acessibilidade, e sua capacidade de gerar resultados reprodutíveis e padronizados (BERGAMIN FILHO, A., 1996).

O uso de escalas diagramáticas é o método mais utilizado para a mensuração de severidade de doenças. A representação no diagrama é comparada com as amostras, criando uma padronização das estimativas e aumentando a acurácia, precisão e reprodutibilidade dos dados (CAMPBELL e MADDEN, 1990), sendo uma ferramenta muito útil para o estudo do progresso temporal de epidemias. Por meio de análises temporais, é possível estudar a interação entre o patógeno, o hospedeiro e o ambiente, permitindo prever níveis futuros de doenças e criar estratégias de controle (ZAMBOLIM, L., JUNIOR, W.C. J., RODRIGUES, F.A., 2014).

Nesse sentido, o conhecimento dos parâmetros epidemiológicos é fundamental para a tomada de decisão de estratégias de manejo. Visando entender o comportamento da ferrugem da can-deia, esse trabalho teve como objetivo desenvolver e validar uma escala diagramática para ferrugem da can-deia e avaliar a severidade da doença no campo durante 11 meses (setembro/2016 a julho/2017).

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Caracterização da candeia

A candeia é uma espécie florestal pertencente à família Asteraceae e ao gênero *Eremanthus*, dentro desse gênero, 18 espécies são chamadas popularmente por este nome (MACLEISH, N. F. F., 1987). Porém, dentre essas 18 espécies, apenas duas ocorrem em larga escala no estado de Minas Gerais, sendo elas *E. erythropappus* e *E. incanus*. *E. erythropappus* é utilizada para a produção de moirões, devido à sua alta durabilidade e extração de óleo essencial, enquanto que *E. incanus* é utilizada apenas para a produção de moirões, pois não apresenta potencial para extração de óleo.

Ambientalmente, *E. erythropappus* é importante devido à formação de povoamentos puros que protegem outros maciços florestais, e, de acordo com Oliveira-Filho e Fluminhan Filho (1999), ela forma um tampão antifogo devido à sua resistência moderada a incêndios.

Essa espécie tem como características morfológicas as folhas com dupla coloração. Na parte superior são verdes e glabas e na parte inferior possuem um tom branco e textura aveludada; são simples, opostas com pilosidade cinérea (CORRÊA, M. P., 1931). As inflorescências possuem cor púrpura e flores hermafroditas nas extremidades dos ramos (ARAÚJO, L. C., 1944), sendo as características das folhas e inflorescências fundamentais para a identificação da espécie. Apresentam floração entre os meses de maio a agosto, dispersando sementes durante os meses de agosto a outubro. O fruto é do tipo aquênio, de cor parda, cilíndrico e com aproximadamente 2mm de comprimento, no qual está contida apenas uma semente (MACLEISH, N. F. F., 1987).

O tronco da candeia possui casca grossa com muitas fendas. Entretanto nos galhos mais novos a casca é menos rústica. A madeira é utilizada para extrair óleo essencial cujo princípio ativo é o alfabisabolol. Essa substância possui propriedades antiflogísticas, antibacterianas, antimicóticas, dermatológicas e espasmódicas (TEXEIRA et al., 1996).

A candeia se desenvolve em solos pouco férteis, rasos e predominantemente em áreas de elevada altitude. Devido a essas características de adaptação a implantação de candeais é

uma alternativa para o produtor rural que possui áreas com solos pedregosos, onde o plantio de culturas agrícolas ou espécies florestais não é viável (RIZZINI, C. T., 1979).

## **2.2 Etiologia de ferrugens**

Um terço dos basidiomicetos encontrados no mundo é representado pela ordem Uredinales, que agrupa os agentes causais do grupo de doenças conhecidas por ferrugens (AINSWORTH, B. C., 1971). Aproximadamente 130 gêneros de ferrugens já foram registrados, tendo como hospedeiros cerca de duzentas famílias de plantas vasculares (FIGUEIREDO, M. B. e PASSADOR, M. M., 2008). Wellman (1972) citou mais de 150 espécies de ferrugens importantes para a agricultura na América do Sul, sendo os danos causados por essas doenças em plantios de interesse econômico um fator limitante para a produção, tornando sua implantação inviável.

A queda da produção da planta hospedeira é promovida pela retirada de nutrientes e destruição da área foliar decorrente da formação dos sinais do patógeno e da queda precoce das folhas (BERGAMIN FILHO, A., REZENDE, J. A. M., AMORIM, L., 2011). Consequentemente a área fotossintética é reduzida afetando o rendimento fisiológico da planta. Mesmo sendo fitopatógenos de grande importância, estudos relativos à sua etiologia e epidemiologia são menos frequentes em relação a outros grupos fúngicos, devido às particularidades desses organismos. Dentre as características que tornam o estudo desses patógenos complexos, está o fato de se tratarem de fungos biotróficos, sendo cultivados apenas em associação com seus hospedeiros específicos (FIGUEIREDO, M. B., e PASSADOR, M. M., 2008).

A colonização dos tecidos vegetais ocorre por crescimento micelial inter e intracelular, pois são capazes de retirar nutrientes diretamente do interior das células devido a produção de haustórios. O ciclo de vida desses patógenos podem ser macrocíclico, contendo todas as cinco fases, ou microcíclico, em que pode faltar uma ou mais fases. As cinco estruturas de frutificação produzidas no seu ciclo de vida são pécnio, écio, urédio, télio e basídio, sendo assim cada estrutura produz diferentes tipos de esporos. Esses esporos podem ser disseminados pelo vento, insetos, água e a ação humana. Entretanto, o vento é o agente que promove maior dispersão a

grandes distâncias, distribuindo o inóculo para amplas áreas geográficas (BERGAMIN FILHO, A., REZENDE, J. A. M., AMORIM, L., 2011).

### **2.3 Ferrugem da candeia**

A ferrugem causada por *P. velata* em *Eremanthus* sp. foi relatada pela primeira vez por Dietel em 1897, na cidade de Ouro Preto, Minas Gerais. Em seguida, ela foi reportada por Jackson e Holway como *P. vanillosmopisdis* e *Uredo illaudanda*, em 1932. Contudo, os autores não compararam suas amostras com o material de *Puccinia velata*, pois apenas o gênero da espécie foi mencionado no primeiro relato. Posteriormente, Carvalho (2012) comparou exsicatas dos dois materiais e confirmou que as duas se tratavam da espécie *E. erythropappus*, definindo como nome oficial para o patógeno *P. velata*.

Além disso, os autores encontraram apenas teliósporos e urediniósporos. As fases de pécnio e écio não foram observadas. O télio de *P. velata* é hipófilo, com 0,2 a 0,4 mm de diâmetro, densamente agrupados ou dispersos, castanhos amarronzados. Teliósporos com diâmetros de (27-) 29-32 x (21-) 22-24  $\mu\text{m}$ , amplamente elipsoide, arredondado em ambas as extremidades, ligeiramente ou não contraídos no septo; as paredes laterais tem 1,5-2  $\mu\text{m}$ , a parede no ápice possui 2-3  $\mu\text{m}$ , são castanhos claros, com verrugose; poro na célula superior, poro na menor célula ao lado do pedúnculo; pedicelo caduco, hialino e pequeno (DIETEL, P., 1897) (Figura 1). Os urediniósporos foram encontrados separadamente da fase de télio, possuindo formato arredondado, cor marrom escuro, com 23-25 x 29-31  $\mu\text{m}$  de diâmetro e com ornamentações na parede.

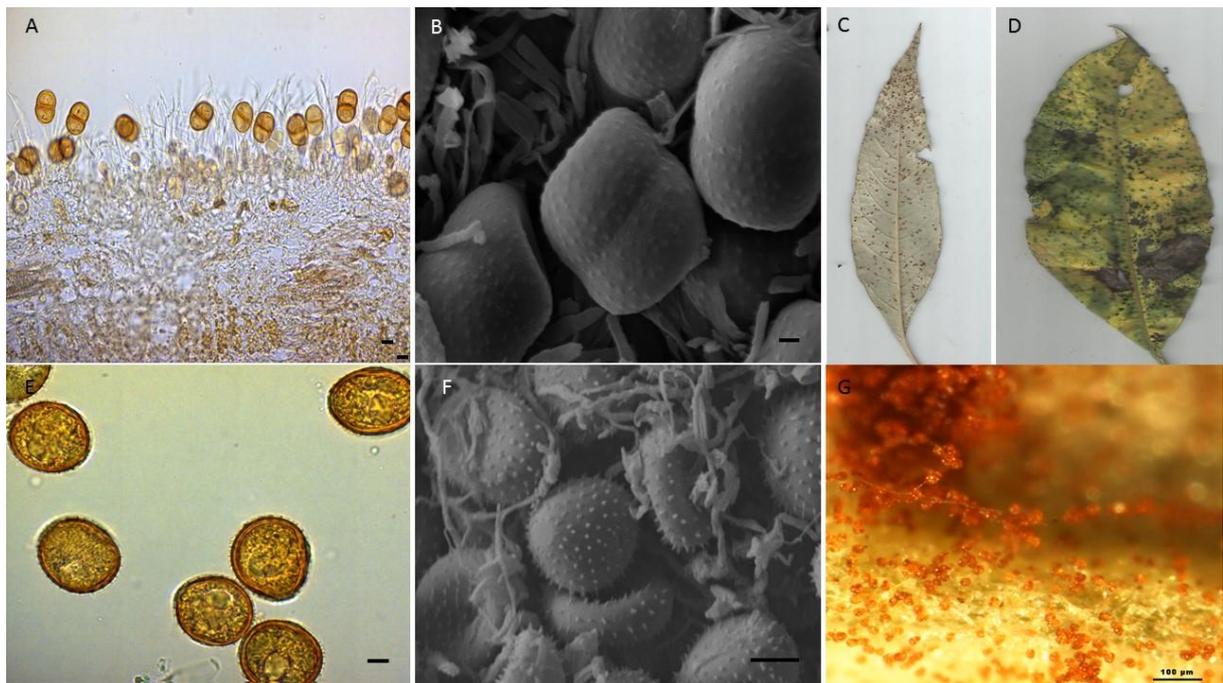


Figura 1. Pustula contendo teliosporos de *P. velata* (A); Teliosporos vistos na microscopia de varredura (B); Frente e verso da folha de *E. erythropappus* apresentando sintomas de ferrugem (C e D); Urediniosporos (E) vistos na microscopia de varredura (F). Pustula de *P. velata* visto na lupa (G).

#### 2.4 Desenvolvimento de escala diagramaticas

A severidade da doença é considerada a proporção de área afetada por uma doença expressa em porcentagem (MADDEN et al., 2007). A estimativa de severidade é frequentemente feita por métodos visuais qualitativos e quantitativos (DEL PONTE et al., 2017). Dentre esses métodos visuais encontram-se as escalas diagramaticas, que são muito utilizadas para avaliações de doenças no campo, consistindo de representações esquemáticas do órgão doente da planta. (ZAMBOLIM et al., 2014). Esse método produz dados mais acurados e aumentam a repetibilidade das estimativas visuais (JAMES, 1971).

As primeiras escalas foram desenvolvidas no século XX (COBB, 1892), entretanto apenas nos últimos 20 anos métodos estatísticos foram criados para testar sua eficiência (DEL PONTE et al., 2017). O processo de validação da escala pode utilizar dois métodos estatísticos:

a regressão linear e o método de Lin, que permitem analisar a acurácia, precisão e magnitude dos erros estimados (BOCK et al., 2010).

A regressão linear tem sido utilizada em 83% dos trabalhos publicados sobre escalas diagramáticas (DEL PONTE et al., 2017). As análises feitas entre a severidade real e observadas pelos avaliadores, sem e com a ajuda da escala, a partir desses dados um teste t é aplicado para verificar se o intercepto da regressão linear difere de 0 e se o coeficiente angular difere de 1 (ZAMBOLIM et al., 2014). Esses parâmetros são utilizados para medir a acurácia dos avaliadores enquanto o coeficiente de determinação é utilizado para verificar a precisão.

O método de Lin utiliza análises de correlação de concordância, que calculam o grau de deslocamento das observações em relação à linha concordante de 45°. Esse método combina medidas de acurácia e precisão em apenas um parâmetro. De acordo com Del Ponte (2017), cerca de 14% dos estudos sobre escalas diagramáticas publicados utilizam esse método. Entretanto, essa análise passou a ser mais utilizada apenas nos últimos cinco anos.

### 3 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ALFENAS, A. C.; MAFIA, R. G. **Métodos em fitopatologia**. UFV, 2016, p.171-184.

AINSWORTH, B.C. **Ainsworth & Bisbys Dictionary of the fungi**. New Surrey: Commonwealth Mycological Institute, 1971, p 663.

ARAÚJO, L. C. *Vanillosmopsis erythropappa* (DC.) Sch. **Bip: sua exploração florestal**. Rio de Janeiro: Escola Nacional de Agronomia, 1944, p 58.

BERGAMIN FILHO, A.; REZENDE, J. A. M.; AMORIM, L. **Manual de fitopatologia**. Eds. Hiroshi Kimati, Luis Eduardo Aranha Camargo, and Jorge Alberto Marques Rezende. Vol. 1. Agronômica Ceres, 2011, p 479-485.

BERGAMIN FILHO, A. **Doenças de plantas tropicais: epidemiologia e controle econômico**. Ed. Agronômica Ceres, 1996.

BOCK, C. H.; POOLE, G. H.; PARKER, P. E.; GOTTWALD, T. R. Plant disease severity estimated visually, by digital photography and image analysis, and by hyperspectral imaging. *Critical Reviews in Plant Science*, 2010, p 59-107.

CAMPBELL, C. L.; MADDEN L.V. **Introduction to Plant Disease Epidemiology**. New York, NY, John Wiley, 1990, p 560.

CARVALHO, A. A.; HENNEN, J. F. "The species of *Puccinia* on *Piptocarpha* and *Vanillosmopsis* in the Neotropics. *Mycologia*, 2012, p 557-568.

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

CORRÊA, M. P. **Dicionário de plantas úteis do Brasil**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1931. v. 1.

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**, 2017.

DIETEL, P. *Uredineae brasilienses* a cl. E. Ule lectae. **Hedwigia**, 1897, p 26-37.

FIGUEIREDO, M. B.; PASSADOR, M. M. Morfologia, funções dos soros e variações dos ciclos vitais das ferrugens. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, 2008, p 117-134.

GALDINO, A. P. P.; BRITO, J. O.; GARCIA, R. F.; SCOLFORO, J. R. Estudo sobre o rendimento e qualidade do óleo de candeia (*Eremanthus* ssp) e a influência das diferentes origens comerciais da sua madeira. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, 2006, p 44-46.

JACKSON, H. S. The Rusts of South America Based on the Holway Collections: VI. **Mycologia**, 1932, p 62-186.

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

MACLEISH, N. F. F. Revision of *Eremanthus* (Compositae: Vernoniae). **Annals of the Missouri Botanical Garden**, 1987, p 265-290.

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

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; FLUMINHAN FILHO, M. Ecologia da vegetação do parque florestal Quedas do Rio Bonito. **Cerne**, 1999, p 51-64.

RIZZINI, C. T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil: manual de dendrologia brasileira**. São Paulo: E. Blucher, 1979, p 296.

SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A.D.; DAVIDE, A.C. **Manejo sustentável da candeia *Eremanthus erythropappus* e *Eremanthus incanus*: relatório técnico científico**. Lavras: UFLA-FAEPE, 2002, p 350.

ZAMBOLIM, L.; JUNIOR, W.C. J.; RODRIGUES, F.A. **O essencial da Fitopatologia: Epidemiologia de doenças de plantas**. 2014, p 101 – 165.

WELLMAN, F.A. Tropical American plant diseases. **Metuchen: Scarecrow Press**, 1972, p. 989.

**SEGUNDA PARTE** - Artigos para submissão em periódicos.

**ARTIGO 1** - ESCALA DIAGRAMÁTICA PARA AVALIAÇÃO DA SEVERIDADE DA FERRUGEM DA CANDEIA

O artigo será submetido no periódico “Journal of Phytopathology”. Preparado em concordância com as normas do periódico.

Renata Cristina Martins Pereira<sup>1</sup>; Maria Alves Ferreira<sup>1</sup>; César de Alencar Laignier Filho<sup>1</sup>;  
Lucas Amaral de Melo<sup>2</sup>; Paulo Cezar Alozen<sup>3</sup>; Reginaldo Gonçalves Mafía<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Fitopatologia, Universidade federal de Lavras, Lavras, MG, 37200-000, Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Ciências Florestais, Universidade federal de Lavras, Lavras, MG, 37200-000, Brasil

<sup>3</sup>Fibria S. A., Rodovia Aracruz-Barra do Riacho, s/n - Barra do Riacho, Aracruz - ES, 29197-900, Brasil

**Autor para correspondência:** Maria Alves Ferreira, Departamento de Fitopatologia, Laboratório de Patologia Florestal, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil.

E-mail: ferreirama.ufla@gmail.com

**RESUMO** - A inexistência de uma metodologia para quantificar a severidade de ferrugem (*Puccinia velata*) em plantas de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish) justificou a elaboração e validação de uma escala diagramática contendo oito valores (0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8; 16; e 32%) de severidade da doença. Em uma amostragem em condições naturais de ocorrência da doença no campo, observou-se que 95% das folhas apresentaram severidade abaixo de 16% e apenas 5% entre 16 e 32% de severidade. A validação da escala diagramática proposta foi realizada por dez avaliadores inexperientes, que realizaram três avaliações de folhas com diferentes níveis de severidade. As avaliações foram realizadas em intervalos de sete dias, sendo que na primeira os avaliadores não utilizaram a escala diagramática e nas demais atribuíram valores de severidade com auxílio da escala proposta neste trabalho. A acurácia e a precisão, entre a severidade real e a severidade estimada, para cada avaliador, foram analisadas por regressão linear e pelo método de Lin. A reprodutibilidade das estimativas foi avaliada analisando o coeficiente de determinação das regressões lineares por pares de avaliadores. O uso da escala proporcionou adequados níveis de acurácia, precisão, repetibilidade e reprodutibilidade. Dessa forma, recomenda-se o uso da escala proposta para quantificação da severidade da ferrugem em candeia.

**Palavras chave:** *Puccinia velata*, *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish, Patometria, Método de Lin

**ABSTRACT 2** - The deficiency of an effective methodology to quantify the severity of rust (*Puccinia velata*) in “candeia” justified the elaboration and validation of a diagrammatic scale for this plant disease. Thus, a diagrammatic scale was developed containing eight different values: 0.25, 0.50, 1, 2, 4, 8, 16, 32% of disease severity. From the leaves collected in the field plantations, 95% of them presented a severity below 16% and only 5% had a severity between 16 and 32%. In the validation of the process, ten inexperienced and unbiased evaluators assessed leaves with different levels of severity. Three evaluations were then performed in a interval of one week between them. The first evaluation was performed without the help of the scale and the others with the aid of it. The accuracy and precision, between actual severity and estimated severity, for each evaluator, were analyzed by linear regression and Lin method. The reproducibility of the estimations was evaluated by analyzing the coefficient of determination of the linear regressions by pairs of evaluators. The use of the scale provided good levels of accuracy, precision, repeatability and reproducibility. Thus, the scale was adequate for quantification of rust in a “candeia”.

**Keywords:** *Puccinia velata*, *Eremanthus erythropappus*, Quantification, Pathometry.

## INTRODUÇÃO

A candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish) tem despertado o interesse comercial em função de sua madeira apresentar alta resistência e durabilidade (Melo et al. 2012), bem como pela produção de óleo essencial contendo alfabisabolol, muito utilizado na indústria farmacêutica e de cosméticos (Scolforo et al. 2012). No entanto, vários fatores podem reduzir a produtividade e comprometer o seu fornecimento no mercado brasileiro. Dentre eles, citam-se as adversidades climáticas, técnicas de manejo, pragas e doenças florestais.

Apesar de diversas pesquisas nos últimos anos (Melo et al. 2014), estudos sobre a fitossanidade de candeia ainda são escassos. Conseqüentemente, poucas doenças foram relatadas para essa espécie até o momento. Dentre as doenças conhecidas, a ferrugem da candeia, causada pelo fungo *Puccinia velata* (Dietel 1897), é uma das mais frequentes e importantes. O sintoma típico da doença é a formação de pústulas de coloração marrom escuro sobre as folhas expandidas, em condições ambientais favoráveis.

A quantificação da intensidade de uma doença é fundamental para se desenvolver técnicas de controle. Do ponto de vista prático, o ideal é que o método de avaliação seja simples, rápido e que permita uma avaliação acurada e precisa, para que possa ser empregado em avaliações de campo (Bergamin Filho 1996). Neste caso, devem ser levados em consideração o agente causador da doença, o órgão afetado e a característica espacial da doença (Gaunt 1995).

A quantificação da severidade de doenças foliares é realizada normalmente por métodos visuais, que podem ser muito subjetivos e variáveis de acordo com os avaliadores (Gomes et al. 2004). Diante disso, para reduzir o erro e aumentar a reprodutibilidade podem ser utilizadas escalas diagramáticas, que consistem de ilustrações dos sintomas causados pela doença e, ou, sinais do patógeno, em diferentes níveis de severidade. Para maior sucesso por este método, a escala deve ser aplicável em diferentes condições, apresentar facilidade de uso, gerar resultados reprodutíveis e apresentar todos os níveis de severidade encontrados no campo (Bergamin e Amorim 1996). Sendo assim, a elaboração da escala diagramática deve considerar a frequência normalmente observada de severidade, os valores máximos e mínimos de área lesionada encontrados no campo e respeitar as limitações da acuidade visual humana definida pela lei de Weber-Fechner (Horsfall e Barratt 1945).

Para culturas agrônômicas existem diversas escalas diagramáticas para quantificação de doenças, entretanto para espécies florestais as escalas disponíveis são, na maioria, para doenças

em eucalipto (Alfenas et al., 2009). Sendo assim, considerando a inexistência de métodos para quantificação de ferrugem em candeia, objetivou-se elaborar e validar uma escala diagramática para avaliação de severidade da doença considerando os níveis de acurácia, precisão, repetibilidade e reprodutibilidade a partir de sua utilização.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Elaboração da escala diagramática**

Para elaborar a escala diagramática, 100 folhas de *E. erythropappus* com diferentes níveis de severidade de ferrugem, naturalmente infectadas por *P. velata*, foram obtidas de um campo experimental na cidade de Lavras, Minas Gerais, Brasil. As imagens digitais destas folhas foram obtidas com auxílio da impressora HP Deskjet Ink Advantage 1516, com resolução de 300DPI (Dots Per Inch). Posteriormente, com o auxílio do software QUANT (Vale et al. 2003), determinou-se a área foliar doente e a área total da folha. A severidade real foi determinada pela razão entre estes dois valores. De acordo com os valores máximos e mínimos observados foi verificada a distribuição da frequência dos dados. Em seguida, com base na lei de Weber – Fechner (Horsfall and Barratt 1945) a escala foi construída considerando oito valores (0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8; 16; e 32%) de severidade da doença.

### **Validação da escala diagramática utilizando regressão linear**

Para realizar a validação da escala diagramática, cinquenta folhas de candeia apresentando sintomas de ferrugem foram utilizadas para representar todos os níveis de variação da severidade da doença. Em três avaliações, 10 avaliadores sem experiência em quantificação de doença de plantas observaram slides no Microsoft PowerPoint 2010 com imagens das folhas doentes. A primeira avaliação foi feita sem o uso da escala. Após um intervalo de sete dias a segunda avaliação foi realizada com o auxílio da escala diagramática.

Para confirmar a repetibilidade dos valores observados, a terceira avaliação foi realizada após sete dias também utilizando a escala proposta.

A partir dos dados obtidos de cada avaliador, a acurácia e a precisão foram determinadas por meio de regressão linear simples utilizando o programa R software (R Core Team 2013). A severidade real foi considerada como variável independente e a severidade observada como variável dependente. A acurácia das estimativas de cada avaliador foi determinada pelo teste t comparando-se os valores 0 e 1 em relação ao intercepto da regressão linear ( $\beta_0$ ) e a inclinação da reta ( $\beta_1$ ), respectivamente, ao nível de 5% de significância ( $P=0,05$ ). Valores de intercepto abaixo de 0 indicam subestimação e acima de 0 superestimação da área lesionada. Para a inclinação, valores menores que 1 indicam subestimação e acima de 1 superestimação (Nutter Junior e Schultz 1995). A precisão das avaliações foi estimada pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da regressão linear e pela variância dos erros absolutos para cada avaliação (Campbell e Madden 1990; Nutter Junior e Schultz 1995). A reprodutibilidade dos valores observados foi determinada de acordo com o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) entre os valores da mesma unidade de amostragem, estimados por diferentes avaliadores combinados em pares (Kranz 1988; Campbell e Madden 1990; Nutter Junior e Schultz 1995).

### **Validação da escala utilizando o método de Lin**

O desempenho dos avaliadores sem ou com o auxílio da escala diagramática foi comparado por meio da estimativa da precisão e acurácia, de forma concomitante. A concordância entre valores estimados e a severidade real para cada avaliador foi calculada pela correlação de concordância de Lin ( $P_c$ ) (Lin 1989). O coeficiente de  $P_c$  afere a aptidão dos pares de observações, combinando as medidas de precisão e acurácia, permitindo assim determinar a concordância entre estimativas e os valores reais. O fator de correção de desvio ( $C_b$ ) foi calculado a partir do fator de mudança de localização (onde 0 = combinação perfeita entre x e y) e o fator de mudança da escala (onde 1 = combinação perfeita entre x e y) e foram derivados das médias e dos desvios padrão de x e y, respectivamente. O componente de

mudança de escala mede a diferença entre valores reais e estimados, que foi calculado pela diferença entre a inclinação da linha ajustada pela regressão com a linha concordante. O fator de mudança na localização reflete a mudança da linha ajustada pela regressão em relação a linha concordante, que afere a diferença da altura entre as duas linhas. Esse termo indica a superestimação ou subestimação dos avaliadores. Além desses parâmetros, a correlação de Pearson foi calculada como um indicador de precisão. Para verificar se houve diferenças significativas entre as duas avaliações foi aplicado o test t ( $P = 0,05$ ) e obtido o intervalo de confiança (IC) a 95% entre os grupos de avaliadores com e sem ajuda da escala. A confiabilidade interavaliadores aponta a reprodutividade das estimativas visuais e foi avaliada com o coeficiente de correlação intraclassa (ICC) (Shrout e Fleiss, 1979). A influência da escala na confiabilidade dos interavaliadores para cada tempo de avaliação foi medido com o intervalo de confiança das estimativas ICC.

As análises estatísticas foram realizadas no R software (R Core Team 2013), utilizando a função `epi.ccc` do pacote `epiR` (Stevenson et al. 2012) e o ICC foi calculado usando a função `icc` do pacote `irrR`.

## **RESULTADOS**

### **Escala diagramática**

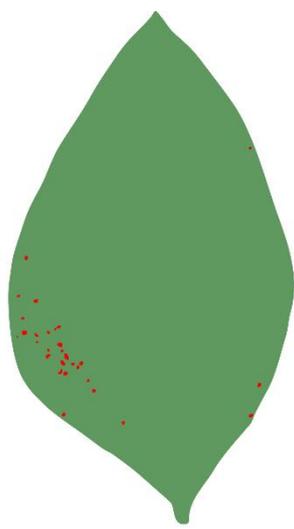
Os valores de mínimo e máximo de severidade de ferrugem encontrados nas amostras foram 0,25% e 32%, respectivamente. Do total de amostras, 95% das folhas apresentaram severidade menor que 16%, enquanto apenas 5% se encontram entre 16% e 32% (Tabela 1). Desse modo, a escala foi desenvolvida com 8 valores de severidade, para representar os intervalos de frequência mais altos de acordo com os valores encontrados no campo (Figura 1). A representação dos sintomas incluiu apenas os sinais do patógeno, não representando tecidos necrosados ou manchas cloróticas.

**Tabela 1** – Distribuição de frequência para valores de severidade (%) da ferrugem (*Puccinia velata*) da candeia (*Eremanthus erythropappus*).

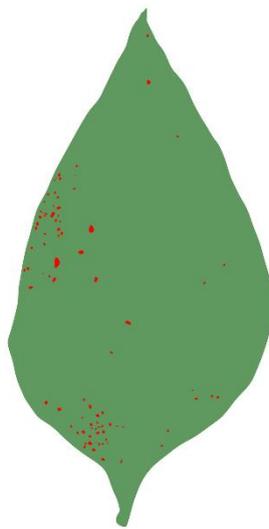
Intervalo (Severidade %)	Frequência	Porcentagem (%)	Frequência acumulada	Porcentagem acumulada (%)
0-1	32	32	32	32
1-2	26	26	58	58
2-3	8	8	66	66
3-4	9	9	75	75
4-5	3	3	78	78
5-6	8	8	86	86
6-7	1	1	87	87
7-8	3	3	90	90
8-9	2	2	92	92
9-10	0	0	92	92
10-11	1	1	93	93
11-12	0	0	93	93
12-13	1	1	94	94
13-14	0	0	94	94
14-15	1	1	95	95
15-16	0	0	95	95
16-17	0	0	95	95
17-18	1	1	96	96
18-19	0	0	96	96
19-20	1	1	97	97

20-21	1	1	98	98
21-22	0	0	98	98
22-23	0	0	98	98
23-24	0	0	98	98
24-25	0	0	98	98
25-26	1	1	99	99
26-27	0	0	99	99
27-28	0	0	99	99
28-29	0	0	99	99
> 29	1	1	100	100

---



0,25 %



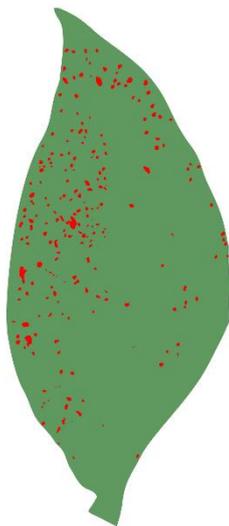
0,50 %



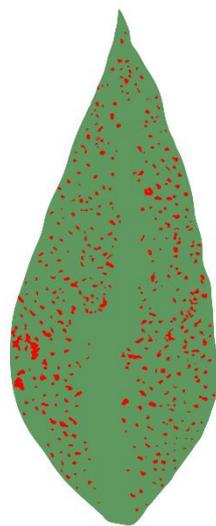
1,00 %



2,00 %



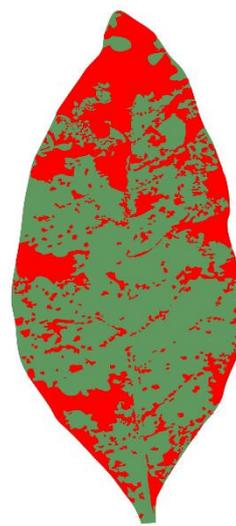
4,00 %



8,00 %



16,00 %



≥32,00 %

**Figura 1** – Escala diagramática para avaliação da severidade de ferrugem, causada por *Puccinia velata*, em folhas de candeia (*Eremanthus erythropappus*). A porcentagem indica a proporção de área foliar doente, representada na imagem pelas áreas em vermelho.

### **Validação da escala diagramática usando regressão linear**

A regressão linear confirmou um aumento na acurácia e precisão das avaliações realizadas com a escala diagramática. De acordo com o parâmetro de intercepto da regressão linear ( $\beta_0$ ), a acurácia das estimativas, em 70% das avaliações sem uso da escala ficou abaixo do nível desejado, indicando uma tendência de superestimação da severidade da doença. Na segunda avaliação, realização com auxílio da escala diagramática, todos os avaliadores apresentam adequada acurácia em suas estimativas. Na última avaliação, apenas quatro avaliadores não foram acurados em suas estimativas, mesmo com o uso da escala (Tabela 2).

O uso da escala também melhorou a acurácia das estimativas de acordo com o coeficiente angular ( $\beta_1$ ). Quatro avaliadores não foram acurados de acordo com este critério quando não utilizou a escala. Por outro lado, apenas um avaliador não atingiu a acurácia necessária com o uso da escala, na segunda avaliação realizada. Na terceira oportunidade, todos os avaliadores apresentam níveis desejados de acurácia. (Tabela 2). Analisando os valores do coeficiente angular foi possível determinar que houve superestimação da severidade da doença em 88% dos casos sem uso da escala, enquanto ocorreu a subestimação em 4,3% na primeira avaliação e 18% na segunda, com uso da escala diagramática proposta neste trabalho (Tabela 2).

De acordo com o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) verificou-se um aumento na precisão das estimativas com auxílio da escala diagramática. Devido à inexperiência dos avaliadores na quantificação de doenças, a média do  $R^2$  na primeira avaliação, sem uso da escala foi 0,68. De qualquer forma, houve aumento da precisão atingindo 0,89 na segunda e de 0,XX na terceira avaliação, com uso da escala (Tabela 2).

**Tabela 2** – Coeficientes da regressão linear entre os valores reais e estimados de severidade da ferrugem causada por *Puccinia velata* em candeia (*Eremanthus erythropappus*) para dez avaliadores com e sem o uso da escala diagramática.

Avaliadores	Coeficientes								
	Sem escala			Com escala					
	$\beta_0^a$	$\beta_1^b$	$R^{2c}$	Primeira Avaliação			Segunda Avaliação		
			$\beta_0$	$\beta_1$	$R^2$	$\beta_0$	$\beta_1$	$R^2$	
A	11,90*	3,25 <sup>NS</sup>	0,61	-0,46 <sup>NS</sup>	0,98*	0,84	1,90*	0,56 <sup>NS</sup>	0,7
B	7,72*	2,24*	0,66	0,44 <sup>NS</sup>	0,86 <sup>NS</sup>	0,81	0,17 <sup>NS</sup>	0,74 <sup>NS</sup>	0,87
C	1,09 <sup>NS</sup>	1,17 <sup>NS</sup>	0,75	0,25 <sup>NS</sup>	0,96 <sup>NS</sup>	0,97	0,68*	0,89 <sup>NS</sup>	0,95
D	2,29*	2,37 <sup>NS</sup>	0,81	0,17 <sup>NS</sup>	0,87 <sup>NS</sup>	0,93	0,41 <sup>NS</sup>	0,89 <sup>NS</sup>	0,88
E	4,48*	1,21*	0,64	0,66 <sup>NS</sup>	0,92 <sup>NS</sup>	0,86	0,07 <sup>NS</sup>	0,99 <sup>NS</sup>	0,91
F	1,82*	1,03*	0,69	0,13 <sup>NS</sup>	0,93 <sup>NS</sup>	0,89	0,05 <sup>NS</sup>	0,78 <sup>NS</sup>	0,85
G	29,95*	3,20 <sup>NS</sup>	0,45	0,73 <sup>NS</sup>	1,00 <sup>NS</sup>	0,89	0,87*	0,73 <sup>NS</sup>	0,89
H	5,29*	1,83 <sup>NS</sup>	0,63	0,01 <sup>NS</sup>	1,05 <sup>NS</sup>	0,89	0,36 <sup>NS</sup>	0,96 <sup>NS</sup>	0,92
I	0,29 <sup>NS</sup>	1,33*	0,74	0,73 <sup>NS</sup>	1,00 <sup>NS</sup>	0,89	0,87*	0,73 <sup>NS</sup>	0,89
J	0,62 <sup>NS</sup>	1,1 <sup>NS</sup>	0,78	0,33 <sup>NS</sup>	0,95 <sup>NS</sup>	0,9	0,39 <sup>NS</sup>	0,83 <sup>NS</sup>	0,79

<sup>NS</sup> hipótese nula ( $\beta_0=0$  e  $\beta_1=1$ ) foi aceita pelo teste T ( $P=0,05$ ).

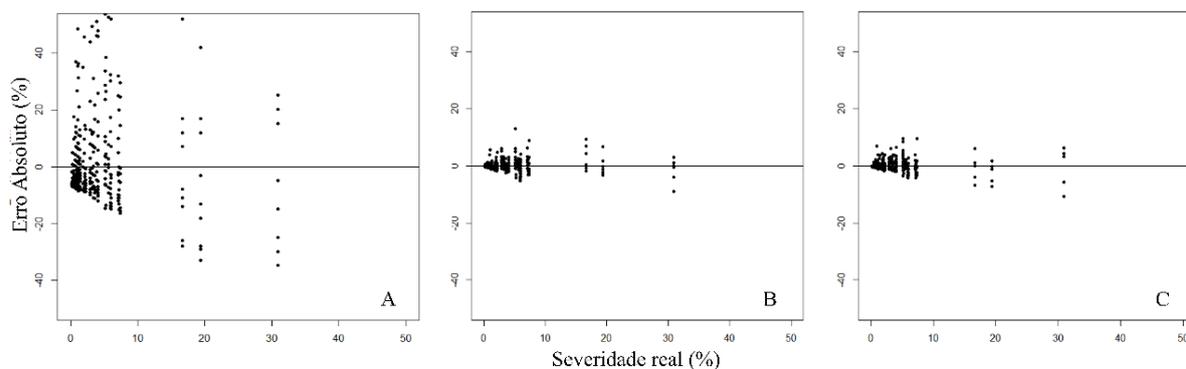
\* a hipótese nula foi rejeitada pelo teste T ( $P=0,05$ ).

<sup>a</sup> Intercepto da equação linear ( $\beta_0$ ).

<sup>b</sup> Coeficiente angular da equação de regressão linear ( $\beta_1$ ).

<sup>c</sup> Coeficiente de determinação para as equações ( $R^2$ ).

Os valores máximo e mínimo dos resíduos para as avaliações sem uso da escala foram de 38,9 e 43,5 respectivamente, demonstrando alta amplitude e heterogeneidade dos resíduos e do erro absoluto. Com o emprego da escala ocorreu uma redução da amplitude dos resíduos que corresponderam a 7,6 e 13,4, para a segunda e terceira avaliações, respectivamente (Figura 2).



**Figura 2** – Distribuição dos resíduos das estimativas (severidade real e severidade estimada) sem e com o uso da escala para quantificação da severidade da ferrugem da can-deia. Avaliações sem (A) e com o uso (B e C) da escala diagramática para ferrugem da can-deia.

Além da acurácia e precisão, a reprodutibilidade das estimativas foi testada pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) entre valores estimados por todas as combinações em pares dos avaliadores. Os valores observados variaram de 0,35 a 0,87 sem uso da escala. Estes valores foram maiores com uso da escala, com variação de 0,68 a 0,93 na primeira avaliação e de 0,48 a 0,93 na segunda avaliação com o auxílio da escala (Tabela 3).

**Tabela 3** – Coeficientes de determinação ( $R^2$ ) da equação de regressão linear entre pares de avaliadores sem e com ajuda da escala diagramática para quantificação da severidade da ferrugem da can-deia.

Avaliadores	B	C	D	E	F	G	H	I	J
<b>Sem escala</b>									
A	0,66	0,53	0,65	0,71	0,55	0,74	0,77	0,67	0,71
B		0,47	0,75	0,71	0,62	0,62	0,79	0,53	0,60
C			0,77	0,56	0,80	0,36	0,54	0,45	0,76
D				0,67	0,75	0,52	0,84	0,59	0,87
E					0,73	0,58	0,75	0,57	0,67
F						0,42	0,63	0,43	0,73
G							0,68	0,44	0,46
H								0,55	0,78
I									0,66
<b>Com escala - Primeira Avaliação</b>									
A	0,80	0,86	0,80	0,72	0,79	0,90	0,86	0,79	0,83
B		0,78	0,77	0,77	0,68	0,79	0,81	0,85	0,77
C			0,93	0,84	0,89	0,83	0,88	0,83	0,90
D				0,81	0,86	0,74	0,89	0,81	0,91
E					0,82	0,80	0,80	0,83	0,79
F						0,74	0,86	0,81	0,86
G							0,82	0,74	0,75
H								0,83	0,89
I									0,85
<b>Com escala - Segunda Avaliação</b>									
A	0,70	0,63	0,65	0,63	0,48	0,48	0,65	0,72	0,50
B		0,85	0,77	0,75	0,74	0,76	0,88	0,84	0,77
C			0,86	0,85	0,85	0,66	0,93	0,80	0,81
D				0,83	0,84	0,68	0,88	0,81	0,80
E					0,83	0,70	0,88	0,81	0,81
F						0,79	0,84	0,77	0,90
G							0,69	0,69	0,82
H								0,82	0,85
I									0,72

### Validação da escala diagramática usando o método de Lin

O segundo método estatístico utilizado para validar a escala diagramática proposta demonstrou uma melhoria nas estimativas de severidade para todos os avaliadores. O valor do fator de correção de desvio ( $C_b$ ) sem a escala ( $C_b = 0,43$ ) foi inferior em comparação com as estimativas obtidas com uso da escala ( $C_b = 1,00$ ). Os avaliadores demonstraram tendência em superestimar a doença sem o uso da escala ( $u = 1,00$ ) e subestimar com o uso ( $u = -0,04$ ). O coeficiente de correlação que mede a concordância entre os valores reais e observados mostrou que o uso da escala proporcionou maior eficiência ( $P_c = 0,92$ ) na quantificação em relação as avaliações sem o uso da escala ( $P_c = 0,24$ ) (Tabela 4). O coeficiente de Pearson foi menor sem a escala ( $r = 0,56$ ) quando comparado com o seu uso ( $r = 0,92$ ) para quantificação da severidade da doença. Esse coeficiente apontou um aumento na precisão dos avaliadores que utilizaram a escala como base para aferir os valores de severidade. De acordo com o teste t as avaliações sem e com a ajuda da escala diagramática para a ferrugem da candeia foram significativamente diferentes ( $P = 0,05$ ) (Figura 3).

**Tabela 4** – Coeficiente de concordância e correlação de Lin para dez avaliadores com e sem o uso da escala para estimar a severidade da ferrugem em candeia.

Estatística de Lins	Sem escala	Com escala	95% CI <sup>f</sup>
Coeficiente de concordância e correlação <sup>a</sup>	0,24	0,92	<b>-0,6208; -0,15514</b>
Fator de mudança da escala <sup>b</sup>	3,34	0,95	<b>0.5180; 2.1701</b>
Fator de mudança da localização <sup>c</sup>	1	-0,04	<b>0.3852; 1.6518</b>
Fator de correção de desvio <sup>d</sup>	0,43	1	<b>-0.5704; -0.1729</b>
Coeficiente de Pearson <sup>e</sup>	0,56	0,92	<b>-0.2868; -0.1341</b>

<sup>a</sup>Coeficiente de concordância e correlação ( $P_c$ ) combina precisão e acurácia para medir a concordância dos valores.

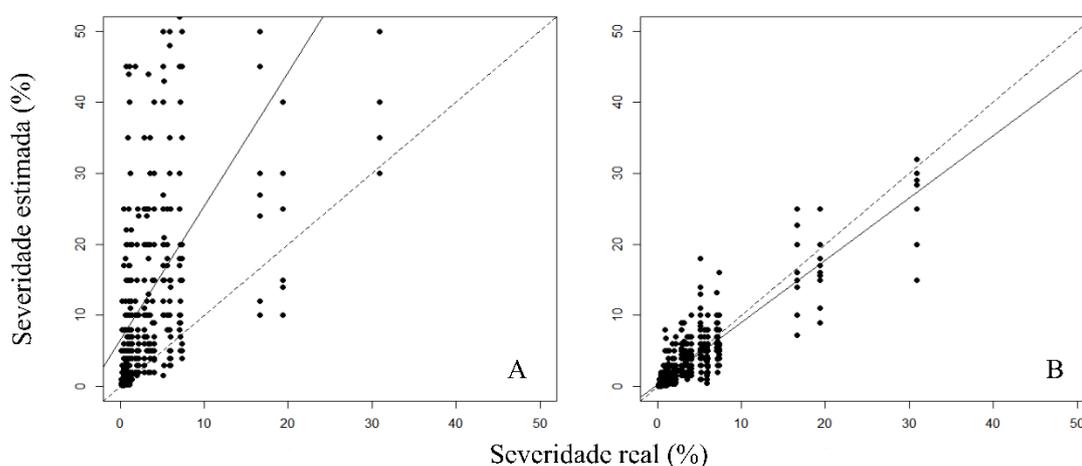
<sup>b</sup>Fator de mudança da escala relativo a combinação perfeita (1 = combinação perfeita entre x e y)

<sup>c</sup>Fator de mudança da localização (u) relativo a combinação perfeita (0= combinação perfeita entre x e y)

<sup>d</sup>Fator de correção de desvio( $C_b$ ) mede o quanto a linha de melhor ajuste se desvia da linha de 45°. Sendo calculado a partir dos parâmetros Fator de mudança da localização e Fator de mudança de escala

<sup>e</sup>Coefficiente de Pearson (r) aferindo a precisão

<sup>f</sup>Intervalo de confiança superior e inferior para 95% de confiança. Em negrito representa diferença significativa entre as duas avaliações de acordo com o teste t



**Figura 3** – Dispersão dos dados de acordo com o método de Lin representando a linha concordante e a linha obtida na regressão linear para todos os avaliadores sem (A) e com (B) a ajuda da escala diagramática para ferrugem da can-deia.

A reprodutibilidade entre os avaliadores analisados pelo coeficiente de correlação intraclassas indicou maior heterogeneidade entre os avaliadores (ICC=0,375) sem o uso da escala, enquanto com o uso da escala ocorreu maior homogeneidade entre as observações.

**Tabela 5** – Coeficiente de correlação Intraclassas (ICC) para dez avaliadores com e sem o uso da escala para estimar a reprodutibilidade das estimativas visuais.

Avaliações	Coeficiente de correlação intraclassas, P (95% CI)
Sem escala	0,375 (0,212 - 0,543)
Primeira avaliação com escala	0,896 (0,854 - 0,932)
Segunda avaliação com escala	0,866 (0,813 - 0,911)

## DISCUSSÃO

As avaliações realizadas com auxílio da escala diagramática proposta neste trabalho apresentaram melhores estimativas da severidade da ferrugem. Sendo assim, essa é a primeira escala devidamente validada para quantificação da doença ferrugem em candeia.

De acordo com a frequência encontrada em condições naturais de infecção, a escala apresenta como valor máximo o nível de 32% de severidade. Este valor é diferente das observações feitas por Godoy (2006) e Angelotti (2008) em ferrugens para culturas agronômicas, que encontraram 78,5% de área lesionada pela ferrugem da soja e de 75% em videira. Entretanto, para patossistemas florestais, geralmente em folhas expandidas, os valores normalmente observados estão abaixo de 49% de severidade (Passador et al. 2013). A ausência de folhas com severidade acima de 32% pode ser explicada como uma importante característica da doença, devido à interação do patógeno com o hospedeiro. Em maiores intensidades da doença, ocorre a necrose dos tecidos foliares ocasionando a queda precoce da folha.

Del Ponte (2017) realizou um levantamento das escalas diagramáticas publicadas nos últimos 20 anos, sendo que das 127 escalas estudadas, 103 representavam doenças causadas por fungos. Grande parte dessas escalas (44,8%) foi esquematizada em preto e branco enquanto apenas 31,2% e 24,0% utilizavam imagens coloridas e reais, respectivamente. Apesar de escalas em preto e branco serem mais utilizadas, Angelotti (2008) observou que para a ferrugem em videira a escala colorida apresentou melhor precisão e acurácia. Nesse estudo, a escala foi elaborada com as cores verde (área sadia) e vermelho (área lesionada). Em candeia a visualização das pústulas, principalmente em severidades mais baixas, é dificultada pela coloração da folha e quantidade de tricomas (Dutra et al. 2010) presentes na superfície abaxial da folha, impossibilitando muitas vezes a visualização das pústulas de ferrugem.

A quantificação de severidade pode ser influenciada por vários fatores (Kranz, 1988; Sherwood, 1993), dentre eles podem ser citados o tamanho e a forma das lesões, a cor e o número de lesões. Por estes motivos é importante o uso de uma escala diagramática para melhor calibração do avaliador (James et al. 1971). Para as doenças do tipo ferrugem, esse método é fundamental em função da grande quantidade de lesões de pequenas dimensões, o que dificulta a estimativa da severidade.

Os valores dos coeficientes da regressão linear indicaram maior precisão do que a acurácia nas avaliações com escala, o que condiz com o observado por diversos outros autores (Nutter et al. 1993, Stonenhouse 1994, Michereff et al. 2000, Andrade et al. 2005). Na análise de precisão, o coeficiente de determinação aumentou com o uso da escala para todos os avaliadores. Embora não tenha atingido o valor desejado, acima de 95%, de acordo com Kranz (1988), a escala apresenta níveis de precisão compatíveis com outras escalas (Diaz et al. 2001; Hock et al. 1992; Gomes et al. 2004).

A reprodutibilidade foi analisada por regressão linear em pares por avaliadores (Nutter Junior e Schultz 1995), demonstrando que o uso da escala permitiu maior padronização na estimativa da severidade da doença. Esse método é mais empregado para a validação de escalas diagramáticas, enquanto o coeficiente de correlação intraclasses foi utilizado apenas em cinco estudos. Nesse trabalho os dois métodos indicaram uma melhora significativa da reprodutibilidade das avaliações com escala, mensurando a homogeneidade dos avaliadores e evidenciando a redução na proporção da variabilidade total atribuída às observações.

As duas metodologias para validação utilizadas nesse estudo demonstraram o mesmo resultado, evidenciando maior acurácia e precisão com o uso da escala diagramática. Apesar de ser o método mais utilizado para validação de escalas a utilização do método de regressão linear vem sendo discutido nos últimos anos (Lin 1989; Nita et al. 2003; Madden et al. 2007; Bock et al. 2010), enquanto o método de Lin é considerado mais apropriado para validação de escalas diagramáticas (Madden et al. 2007, Bock et al. 2010; Nunez et al., 2017).

A escala diagramática desenvolvida nesse trabalho foi eficiente na quantificação da ferrugem da candeia, permitindo estimar a severidade da doença de forma rápida, precisa, com boa acurácia e de forma reprodutível, se tornando em uma alternativa para avaliações da intensidade da doença.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos para a primeira autora.

## REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

- Alfenas AC, Zauza EAV, Mafia RG, Assis TF. (2009) Clonagem e doenças do eucalipto. Viçosa: Editora UFV.
- Andrade GCG, Alfenas AC, Mafia RG, Maffia LA, Gonçalves RC. (2005). Escala diagramática para avaliação da severidade da mancha foliar do eucalipto causada por *Quambalaria eucalypti*. Fitopatologia Brasileira, p. 504–509.
- Angelotti F, Scapin CR, Tessmann DJ, Vida JB, Oliveira RR, Canteri MG. (2008) Diagrammatic scale for assessment of grapevine rust. Tropical Plant Pathology, p. 439-443.
- Bergamin Filho A, Amorim L. (1996) Doenças de Plantas Tropicais: Epidemiologia e Controle Econômico. São Paulo, SP, Brazil, Agronômica Ceres.
- Bock CH, Poole GH, Parker PE, Gottwald TR. (2010) Plant disease severity estimated visually, by digital photography and image analysis, and by hyperspectral imaging. Critical Reviews in Plant Sciences, p. 59–107.
- Campbell CL, Madden LV. (1990) Introduction to Plant Disease Epidemiology. New York, NY, John Wiley, p 560.
- Correa MP. (1931) Dicionário de plantas úteis do Brasil. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, p. 431-433.
- Diaz CG, Bassanezi RB, Filho AB. (2001) Desenvolvimento e validação de uma escala diagramática para *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* em feijoeiro. Summary Phytopathology, p. 35–39.
- Del Ponte E, Pethybridge SJ, Bock C, Michereff SJ, Machado FJ, Spolti P. (2017) Standard Area Diagrams for Aiding Severity Estimation: Scientometrics, Pathosystems and Methodological Trends in the last 25 years. Phytopathology.
- Dietel P. (1897) *Uredineae brasilienses* a cl. E. Ule lectae. Hedwigia 36:26–37.
- Dutra RC, Ferraz SO, Pimenta DS, Sousa OV. (2010) Caracterização morfoanatômica das folhas de *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeisch, Asteraceae. Revista Brasileira Farmacogn, p. 818-824.
- Gaunt R E. (1995) The relationship between plant disease severity and yield. Annual Review of Phytopathology, p. 19-145.

- Godoy CV, Koga LJ, Canteri, MG. (2006) Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. *Fitopatologia Brasileira*, p. 63-68.
- Gomes AMA, Michereff SJ, Mariano RLR. (2004) Elaboração e validação de escala diagramática para cercosporiose da alface. *Summary Phytopathology*, p. 38–42.
- Hock J, Kranz J, Renfro BL. (1992) Tests of standard diagrams for field use in assessing the tarspot disease complex of maize (*Zea mays*). *Tropical Pest Management*, p. 314-318.
- Horsfall JC, Barratt RW. (1945) An improved grading system for measuring plant diseases. *Phytopathology*, p. 35:665.
- James WC. (1971) An illustrated series of assessment keys for plant diseases. Their preparation and usage. *Canadian Plant Disease Survey*, p.39-65.
- Kranz J. (1988) Measuring plant disease. In: Kranz J, Rotem J (eds) *Experimental Techniques in Plant Disease Epidemiology*. Heidelberg, Springer Verlag, p. 35–50.
- Lin L. (1989) A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics* p. 255–268.
- Madden LV, Hughes G, van den Bosch F. (2007) *The Study of Plant Disease Epidemics*. APS Press, St. Paul, MN.
- Melo LA, Davide AC, Teixeira LAF. (2012) Metodologia para resgate de matrizes e enraizamento de estacas de *Eremanthus erythropappus*. *Cerne*, p. 631-638.
- Melo LAD, Pereira GDA, Moreira EJC, Davide AC, Silva EVD, Teixeira LAF. (2014). Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eremanthus erythropappus* sob diferentes formulações de substrato.
- Michereff SJ, Maffia LA, Noronha MA. (2000) Escala diagramática para avaliação da severidade da queima das folhas do inhame. *Fitopatologia Brasileira*, p. 612–619.
- Nita M, Ellis MA, Madden LV. (2003) Reliability and accuracy of visual estimation of Phomopsis leaf blight of strawberry. *Phytopathology*, P.995–1005.
- Núñez AMP, Monteiro FP, Pacheco LP, Rodríguez GAA, Nogueira CCA, Pinto FAMF, Souza JT. (2017) Development and Validation of a Diagrammatic scale to assess the Severity of Black Rot of Crucifers in Kale. *Journal of Phytopathology*, p. 195-203.

- Nutter Junior FW, Gleason ML, Jenco JH, Christians NC. (1993) Assessing the accuracy, intra-rater repeatability, and inter-rater reliability of disease assessment systems. *Phytopathology*, p. 806–812.
- Nutter Junior FW, Schultz PM. (1995) Improving the accuracy and precision of disease assessments: selection of methods and use of computer-aided training programs. *Canadian Journal of Plant Pathology*, p. 174–184.
- Passador MM, Porcena AS, Vinícius Masson M, de Pieri C, Finkenauer E, Furtado EL. (2013) Escala diagramática para quantificação da severidade de manchas em folhas de *Eucalyptus globulus* Labill. causadas por *Teratosphaeria nubilosa* (Cooke) Crous & U. Braun. *Ciência Florestal*, p.23.
- Pearson OH. (1933) Study of the life history of *Brassica oleracea*. *Botanical Gazzette*, p. 534–550.
- R Core Team. (2013) R: A Language & Environment for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Internet Resource: <http://www.R-project.org/> (verified July 5, 2017).
- Sherwood RT, Berg CC, Hoover MR, Zeiders KE. (1983) Illusions in visual assessment of stagonospora leaf spot of orchard grass. *Phytopathology*, p. 173-177.
- Shrout PE, Fleiss JL. (1979) Intraclass correlations: uses in assessing rater reliability. *Psychol bull* 86:420.
- Stevenson M, Nunes T, Sanchez J, Thornton R, Reiczigel J, Robison-Cox J, Sebastiani P. (2012) epiR: An R package for the analysis of epidemiological data. The Comprehensive R Archive Network website. Internet Resource: <http://CRAN.R-project.org/package=epiR> (verified July 5, 2017).
- Vale FXR, Fernandes Filho EI, Liberato JR. (2003) QUANT. A software plant disease severity assessment. 8th International Congress of Plant Pathology, Christchurch New Zealand, p.105.

**ARTIGO 2** - Análise temporal da ferrugem em plantios clonais de candeia.

O artigo será submetido no periódico “Journal of Phytopathology”. Preparado em concordância com as normas do periódico.

Renata Cristina Martins Pereira<sup>1</sup>; Maria Alves Ferreira<sup>1</sup>; Mario Fraiz Coelho Maia de Andrade<sup>1</sup>; Lucas Amaral de Melo<sup>2</sup>; Edson Ampélio Pozza

<sup>1</sup>Departamento de Fitopatologia, Universidade federal de Lavras, Lavras, MG, 37200-000, Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Ciências Florestais, Universidade federal de Lavras, Lavras, MG, 37200-000, Brasil

**Autor para correspondência:** Maria Alves Ferreira, Departamento de Fitopatologia, Laboratório de Patologia Florestal, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil  
E-mail: ferreirama.ufla@gmail.com

**RESUMO** – A evolução da epidemia de ferrugem da candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish), causada pelo fungo *Puccinia velata*, foi acompanhada em um campo experimental na Universidade federal de Lavras, Minas Gerais. Na área foi instalado um plantio com 17 clones de *E. erythropappus* e a partir de avaliações visuais da severidade da doença em folhas, foi analisado o progresso temporal da doença. A doença foi monitorada mensalmente entre setembro de 2016 e julho de 2017. As curvas de progresso baseadas na severidade da doença foram analisadas e modelos empíricos ajustados. O cálculo da AACPD foi realizado e, posteriormente, aplicado o teste de comparação para selecionar clones resistentes a doença. O coeficiente de Pearson foi empregado para verificar as correlações entre a severidade da doença e os fatores meteorológicos. O modelo que melhor descreveu o desenvolvimento da doença no período avaliado foi o Exponencial. O teste de Scott-Knott agrupou os clones em três grupos com diferentes níveis de resistência, separados em suscetíveis, moderadamente suscetíveis e moderadamente resistentes. Houve correlação negativa entre a severidade da ferrugem e as temperaturas do ar; entretanto a umidade, precipitação e horas de insolação não influenciaram na doença. Considerando que a doença ocorreu em todos os clones e que as condições climáticas do sul de Minas são favoráveis ao progresso da ferrugem da candeia, estudos com diferentes clones devem ser feitos para verificar a adaptabilidade nessa região.

**Palavras chave:** *Eremanthus erythropappus*, Progresso da doença, *Puccinia velata*.

**ABSTRACT** - The evolution of the epidemic of rust in “candeia” (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish), caused by the fungus *Puccinia velata*, was monthly assessed in an experimental field plantation at the Federal University of Lavras, Minas Gerais. In the area, it was planted 17 clones of *E. erythropappus* and from visual evaluations of the severity of leaf lesions, the temporal progression of the disease was then analyzed. The disease was monitored monthly between the period of September 2016 and July 2017. Progress curves based on disease severity were analyzed and adjusted in empirical models. The AACPD calculation was performed and the comparison test was subsequently applied to select clones resistant to this disease. Pearson coefficient was used to verify the correlations between the severity of the disease and the meteorological factors. The model that best described the development of the disease in the period evaluated was Exponential. The Scott-Knott test grouped the clones into three groups with different resistance levels, separated them into susceptible, moderately susceptible and moderately resistant. There was a negative correlation between rust severity and air temperatures. However, humidity, precipitation and sunlight exposure hours did not influence the disease. Considering that the disease occurred in all clones and that the climatic conditions of the south of Minas Gerais are favorable to the progress of the rust in “candeia” plants, studies with different clones are indicated to verify the adaptability in this region.

**Keywords:** *Eremanthus erythropappus*, Progresso da doença, *Puccinia velata*.

## INTRODUÇÃO

A candeia (*Eremanthus erythropappus*), espécie arbórea fortemente explorada por sua madeira e por seu potencial para extração de óleo essencial (Araújo 2012), ocorre na América do Sul, sendo encontrada também na Argentina, Paraguai e no Brasil (Carvalho 1994). No Brasil, a candeia ocorre nos estados de Minas Gerais, Bahia, Espírito Santo e Rio de Janeiro (Teixeira e Nunes 1996). Entretanto, seus plantios se concentram no sul de Minas Gerais, onde as condições edafoclimáticas condicionam melhor desenvolvimento e produtividade para a candeia. Contudo, a implantação de povoamentos de candeia proporciona um ambiente favorável ao surgimento de doenças de origem fúngica e bacteriana, entre as doenças foliares a ferrugem da candeia.

A ferrugem da candeia, cujo agente etiológico é *Puccinia velata*, ocorre em árvores acima de três anos e em folhas adultas no campo (Galdino et al. 2006). Tendo sido observada pela primeira vez em 1897 por Dietel em Ouro Preto – MG. Desde então, estudos sobre esse patógeno se limitaram a pequenos relatos em povoamentos nativos. No entanto, nos últimos anos a exploração dessa espécie arbórea aumentou consideravelmente (Melo et al. 2014). Entretanto, o aumento da área plantada pode favorecer as epidemias de doenças no campo. A ferrugem da candeia pode ser disseminada pelo vento ou pela água das chuvas, podendo se tornar um problema para os produtores, onde têm sido observados surtos da doença em plantios clonais de candeia.

O ciclo do patógeno é policíclico, porém ainda não foi completamente estudado e apenas as fases de télio e urédia foram encontradas. O hospedeiro apresenta sinais do patógeno durante todo ano, mas os surtos da doença ocorrem entre os meses de junho a agosto, conseqüentemente o número de pústulas e de folhas infectadas aumenta podendo interferir na produtividade da planta como ocorre para outras ferrugens (Figueiredo e Passador 2008). Apesar de sua importância, não existem estudos epidemiológicos sobre essa doença, sendo necessária a caracterização da dinâmica de epidemias para esse patossistemas.

Dessa forma, o objetivo do trabalho foi estudar o progresso temporal da ferrugem da candeia no campo em diferentes clones de *E. erythropappus*, no município de Lavras – MG;

ajustar modelos empíricos para descrever a epidemia da ferrugem da can-deia; selecionar clones resistentes à ferrugem e correlacionar a severidade da doença com as variáveis meteorológicas precipitação pluviométrica, umidade relativa do ar, temperatura média, mínima e máxima do ar e insolação.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Área experimental e delineamento**

O experimento foi conduzido entre setembro de 2016 e julho de 2017 em um campo experimental localizado no viveiro florestal da Universidade Federal de Lavras, latitude 21° 14' S, longitude 45° 00' W Gr. e 918 m de altitude; o clima é temperado chuvoso (mesotérmico), ou Cwa, segundo a classificação de Köppen, com períodos chuvosos no verão e inverno seco; temperatura média anual de 20,4°C; e 1460 mm de pluviosidade anual (DANTAS et al., 2007). O preparo do solo foi feito por meio de subsolagem na linha de plantio com incorporação de 300 kg de fosfato natural por hectare.

A doença foi avaliada em 17 clones (C 4, C 6, C 7, C 12, C 19, C 20, C 24, C 25, C 26, C27, C 30, C 33, C 35, C 36, C 37, C 40, C 49) de *E. erythropappus* com 5 anos de idade. A parcela experimental foi composta de 350 árvores com 11 linhas, espaçamento 3 x 3m. Para retirar o efeito das bordas apenas árvores nas linhas centrais foram avaliadas. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em arranjo fatorial, composto de dois fatores (Clones X Tempo).

O monitoramento da severidade foi realizado mensalmente, utilizando método não destrutivo, pela amostragem de 30 folhas por repetição, sendo 10 do terço apical, 10 do terço médio e 10 do terço basal. As folhas foram avaliadas, aleatoriamente, entre o terceiro e o quarto par de folhas dos ramos plagiotrópicos. A determinação da porcentagem de severidade da doença foi feita utilizando a escala diagramática proposta por Pereira (2017).

## **Análises de curvas de progresso da doença usando modelos empíricos**

As curvas de progresso foram construídas utilizando valores médios das severidades por clone em função do tempo. Os dados foram ajustados para três modelos empíricos usando análise de regressão linear. Os modelos monomolecular [ $y = \ln[1/(1-y)]$ ], logístico [ $y = \ln[y/(1-y)]$ ] (Campbell e Madden 1990) e exponencial [ $\ln(y) = \ln(y_0) + r_g t$ ] foram utilizados como equações de previsão para comparar estatisticamente os dados empíricos transformados linearmente. As variáveis para o modelo foram  $y$  (severidade da doença),  $y_0$  (nível da doença inicial),  $r$  (taxa de crescimento da doença). O erro quadrado médio, coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e gráficos dos resíduos foram obtidos utilizando regressão e análise de variância (ANOVA).

De acordo com os valores de significância estatística da análise de regressão, os clones foram submetidos ao ajuste dos modelos supracitados. Para selecionar o melhor modelo para descrever o progresso da doença para cada clone, foram usados o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o erro do quadrado médio e a análise dos gráficos dos resíduos versus os valores previstos.

### **Resistência dos clones de acordo com a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD)**

Os valores obtidos das avaliações de severidade de ferrugem da can-deia foram transformados em área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), segundo Campbell & Madden (1990), de acordo com a equação abaixo.

$$\text{AACPD} = S(Y_i + Y_{i+1}/2) * (t_{i-1} - t_i)$$

Em que:

AACPD = Área abaixo da curva de progresso 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

Os valores de AACPD de cada tratamento foram submetidos ao teste  $F$  na análise de variância e as médias agrupadas pelo teste de Scott-Knott ( $P= 0,05$ ) para agrupar os clones em moderadamente resistentes, moderadamente suscetíveis e suscetíveis.

### **Influência de variáveis climatológicas na severidade da ferrugem**

Para determinar as correlações existentes entre a severidade da doença e temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura média, umidade relativa do ar, precipitação pluviométrica e horas de insolação, foi empregado o coeficiente de Pearson ( $P<0,05$ ). Os dados climatológicos foram coletados no Setor de Agrometeorologia do Departamento de Engenharia da Universidade federal de Lavras, obtidos da estação climatológica principal de Lavras (ECP), localizado no campus da UFLA, pertencente ao 5º Distrito em Meteorologia, em convênio com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a UFLA.

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do R software (R Core Team 2013), com o pacote Scottknott (Jelihovschi 2014) com a função SK.

## **RESULTADOS**

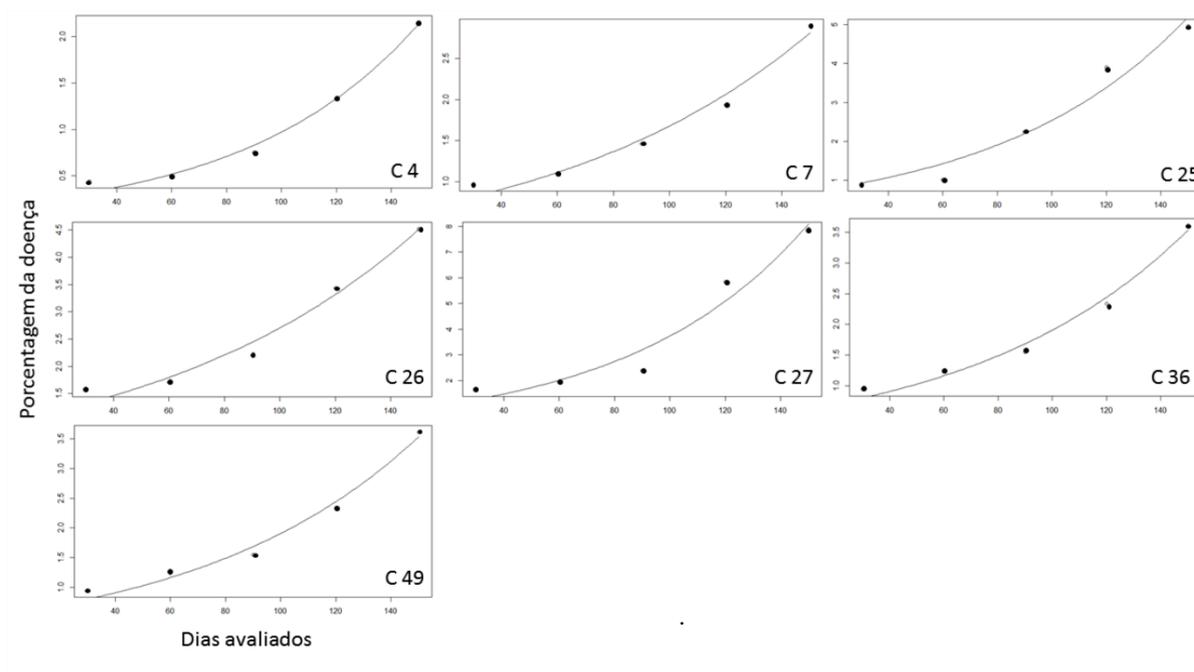
### **Análises de curvas de progresso da doença usando modelos empíricos**

A ocorrência da ferrugem da can-deia teve início no mês de março após quedas nas temperaturas, atingindo seu máximo de severidade no mês de junho. Durante o período de abril a junho, que coincidiu com o período de temperaturas mais baixas, 90% das árvores no campo tiveram incidência da doença. Após esse período não houve aumento da severidade da doença.

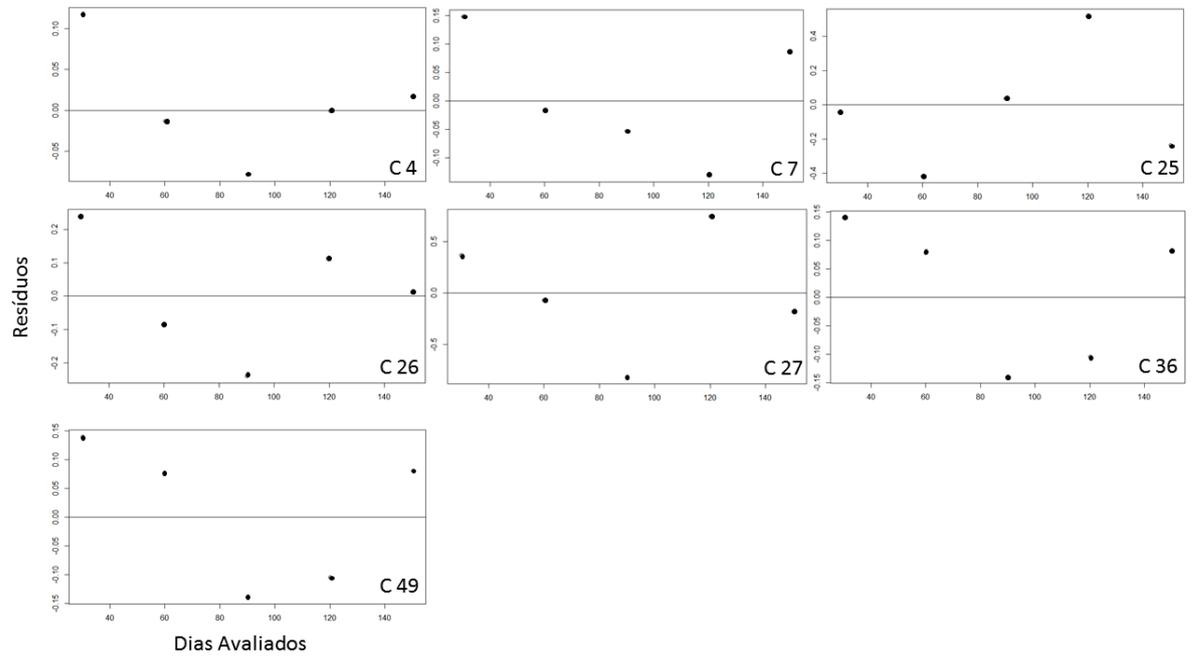
Verificou-se que as regressões lineares para os três modelos ajustados para descrever o progresso da ferrugem em can-deia entre 2016 e 2017 mostraram variação entre os clones. Entretanto o modelo Exponencial se ajustou melhor para esse patossistema. Os valores de  $R^2$

foram maiores e o QME inferiores para esse modelo em relação aos demais (Figura 1 e 2). A análise de regressão para o modelo Logístico não foi significativa ( $P>0,05$ ) para nenhum clone (Tabela 1).

A severidade inicial para 75% dos clones foi maior que 25%. A taxa de progresso da doença variou entre os clones, sendo que o clone C 7 apresentou o menor valor (0,009) e o clone C 49 o maior valor (0,016).



**Figura 1** – Severidade de ferrugem da candeia, em função do tempo em 7 clones de *Eremanthus erythropappus*. Comparação entre os dados observados e as curvas de progresso de doença obtidas pelas médias observadas e as obtidas aplicando-se o modelo Exponencial.



**Figura 2.** Dispersão dos resíduos dos dados transformados em função do tempo para o modelo Exponencial, para os diferentes clones.

**Tabela 1** - Parâmetros utilizados nas análises de regressão dos modelos lineares para comparação dos ajustes dos modelos (Logístico, Monomolecular e Exponencial) para a ferrugem da can-deia.

Clones	Modelos	R <sup>2a</sup>	QME <sup>b</sup>	Y <sub>0</sub> <sup>c</sup>	r <sup>d</sup>
C 25	Logístico	0,600	2,240	0,250	0,091
	Monomolecular	0,600	2,240	-1,394	0,090
	Exponencial	0,974	0,031	0,436**	0,011***
C 4	Logístico	0,632	0,090	0,129	0,040
	Monomolecular	0,567	0,107	-0,295	0,024
	Exponencial	0,963	0,009	0,220*	0,014*
C 27	Logístico	0,550	37,31	-0,970	0,045
	Monomolecular	0,977	0,195	1,270***	0,018***
	Exponencial	0,979	0,175	0,7216**	0,0133***
C 36	Logístico	0,608	2,240	0,250	0,0915
	Monomolecular	0,608	2,240	-1,394	0,090
	Exponencial	0,977	0,031	0,436**	0,011***
C 49	Logístico	0,110	1,250	0,057	0,065
	Monomolecular	0,286	1,261	-1,890	0,040
	Exponencial	0,997	0,003	0,227**	0,016***
C 26	Logístico	e	e	e	e
	Monomolecular	0,980	0,046	1,485**	0,016***
	Exponencial	0,989	0,024	1,202**	0,011**
C 7	Logístico	0,539	1,178	0,249	0,088
	Monomolecular	0,539	1,178	-1,320	0,085
	Exponencial	0,971	0,022	0,490**	0,009***

\*\*\* Significância (P<0,001); \*\* Significância (P<0,01); \*Significância (P<0,05)

<sup>a</sup>R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação da análise de regressão linear;

<sup>b</sup>QME<sup>(1)</sup>: quadrado médio do resíduo da análise de regressão linear;

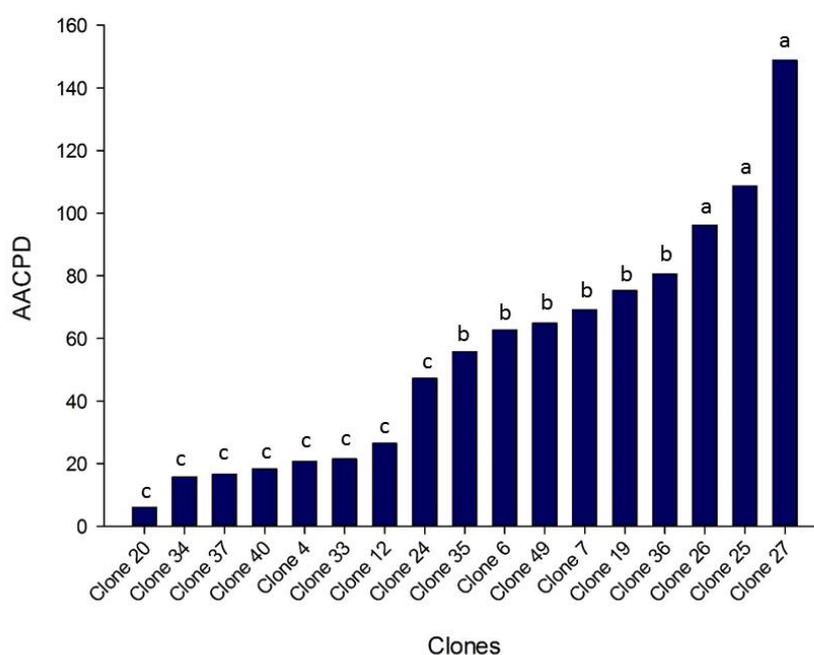
<sup>c</sup>Y<sub>0</sub>: incidência inicial;

<sup>d</sup>r: taxa;

<sup>e</sup> Regressão não significativa.

### Resistência dos clones de acordo com a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD)

Houve diferença significativa entre os clones ( $P = 0,05$ ) quanto à severidade de ferrugem durante o período avaliado. Com base no agrupamento do teste de Scott-Knott foi possível classificar a resistência dos clones em três grupos quando considerados os valores de AACPD: moderadamente resistente (MR), moderadamente suscetível (MS) e suscetível (S) (Figura 3).



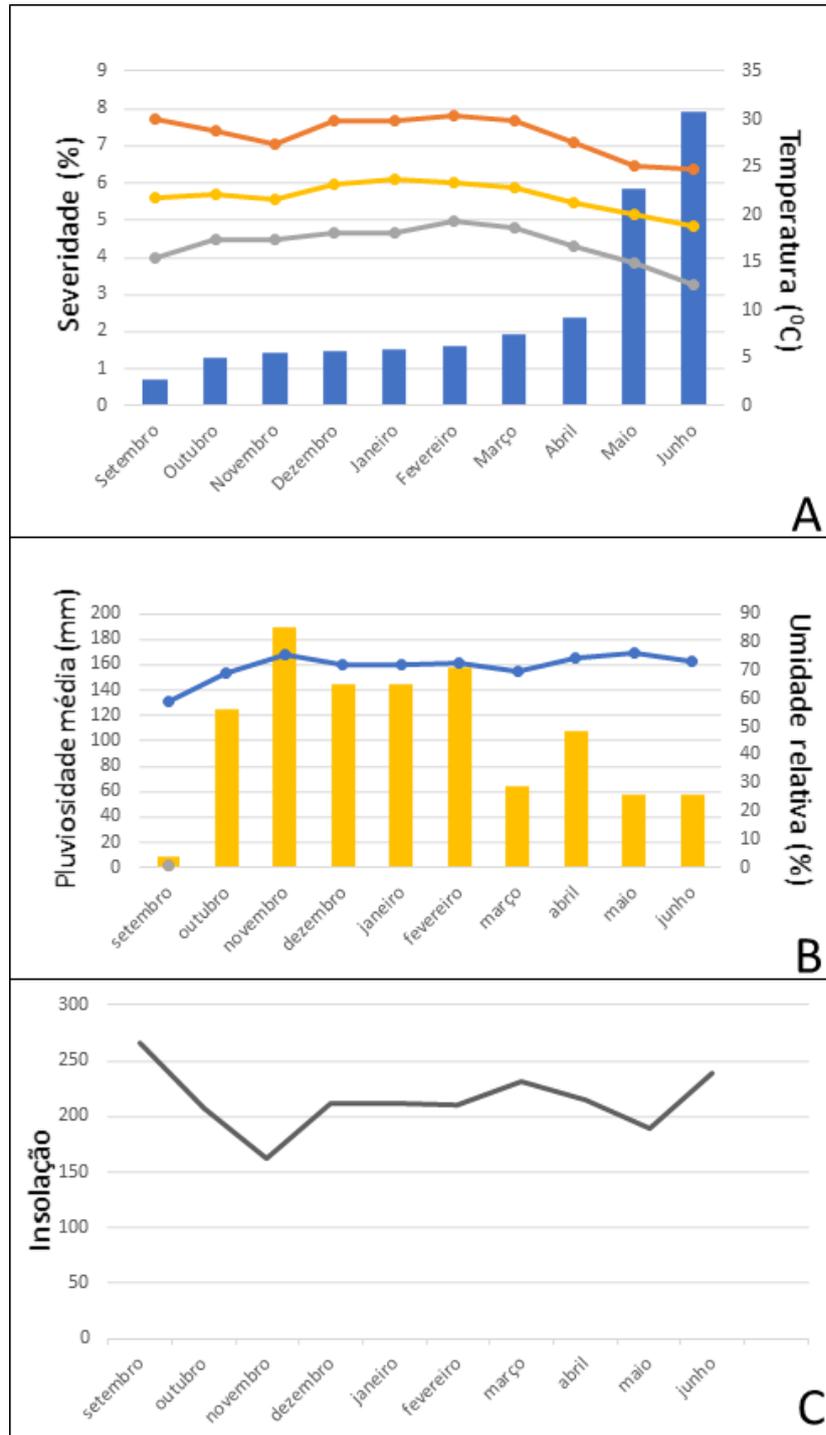
**Figura 3.** Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) em clones de can-deia em resposta à *Puccinia velata*. Médias seguidas por letras distintas minúsculas diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $P < 0,05$ ).

Os grupos MR e MS possuem clones que apresentaram menores severidades, variando a amplitude de 6,05 a 59,54 e 64,84 a 96,22, respectivamente. Observou-se que em clones classificados como MR, além de menor severidade houve também menor incidência da doença nas folhas.

A severidade, em função da AACPD, evidenciou que os clones C 27, C 26 e C 25 foram os mais suscetíveis ao patógeno, enquanto os clones C 20, C 24, C 34, C 40, C 33, C 37, C 4, C 12, C 6 e C 35 foram resistentes, não diferindo entre si.

### **Influência de variáveis climatológicas na severidade da ferrugem**

Durante o período avaliado ocorreram pequenas mudanças nas médias mensais de umidade relativa e na insolação (Figura 4). Entretanto, a redução nas variáveis de temperatura e precipitação a partir de março de 2017 teve correlação significativa com a quantidade de doença.



**Figura 4** - Progresso da ferrugem da candeia para o clone C 27. Média mensal de avaliação das temperaturas máximas, médias e mínimas (A), Precipitação pluviométrica média e umidade relativa média máxima e mínima semanal (B), Insolação mensal (C).

Houve correlação negativa entre as variáveis de temperatura média, mínima e máxima do ar e severidade da doença (Tabela 2). O maior valor de coeficiente de correlação foi - 0,90 para os clones C 24 e C 25 para a variável de temperatura máxima, - 0,89 e -0,80 para temperatura mínima e média, respectivamente (Figura 4). Assim, quanto menor a temperatura, maior foi a severidade da doença no campo. Por outro lado, para as variáveis de insolação, precipitação e umidade não houve correlação em relação à severidade da ferrugem, ou seja, não influenciaram na doença no campo.

**Tabela 2** - Coeficientes de correlação entre a variável severidade da ferrugem da Candeia (*P. velata*) e as variáveis climáticas, no período entre 16/09/2016 e 31/07/2017. Lavras – MG.

Clones	Insolação	Precipitação	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima	Temperatura Média	Umidade
C 4	0,06 <sup>NS</sup>	-0,24 <sup>NS</sup>	-0,78*	-0,69*	-0,75*	0,48 <sup>NS</sup>
C 6	0,09 <sup>NS</sup>	-0,38 <sup>NS</sup>	-0,84*	-0,74*	-0,83*	0,45 <sup>NS</sup>
C 7	0,05 <sup>NS</sup>	-0,29 <sup>NS</sup>	-0,78*	-0,64*	-0,74*	0,52 <sup>NS</sup>
C 12	0,26 <sup>NS</sup>	-0,42 <sup>NS</sup>	-0,77*	-0,80*	-0,84*	0,26 <sup>NS</sup>
C 19	0,17 <sup>NS</sup>	-0,43 <sup>NS</sup>	-0,76*	-0,69*	-0,77*	0,40 <sup>NS</sup>
C 20	0,29 <sup>NS</sup>	-0,33 <sup>NS</sup>	-0,66*	-0,77*	-0,74*	0,15 <sup>NS</sup>
C 24	0,04 <sup>NS</sup>	-0,47 <sup>NS</sup>	-0,90*	-0,82*	-0,89*	0,40 <sup>NS</sup>
C 25	0,01 <sup>NS</sup>	-0,37 <sup>NS</sup>	-0,90*	-0,79*	-0,87*	0,47 <sup>NS</sup>
C 26	0,01 <sup>NS</sup>	-0,30 <sup>NS</sup>	-0,84*	-0,72*	-0,79*	0,51 <sup>NS</sup>
C 27	0,04 <sup>NS</sup>	-0,39 <sup>NS</sup>	-0,87*	-0,80*	-0,85*	0,42 <sup>NS</sup>
C 33	0,17 <sup>NS</sup>	-0,41 <sup>NS</sup>	-0,81*	-0,85*	-0,84*	0,26 <sup>NS</sup>
C 34	0,26 <sup>NS</sup>	-0,49 <sup>NS</sup>	-0,73*	-0,71*	-0,80*	0,28 <sup>NS</sup>
C 35	0,15 <sup>NS</sup>	-0,46 <sup>NS</sup>	-0,85*	-0,82*	-0,87*	0,35 <sup>NS</sup>
C 36	0,15 <sup>NS</sup>	-0,43 <sup>NS</sup>	-0,83*	-0,78*	-0,84*	0,38 <sup>NS</sup>
C 37	0,22 <sup>NS</sup>	-0,51 <sup>NS</sup>	-0,77*	-0,73*	-0,82*	0,31 <sup>NS</sup>
C 40	0,16 <sup>NS</sup>	-0,40 <sup>NS</sup>	-0,82*	-0,79*	-0,85*	0,37 <sup>NS</sup>
C 49	-0,06 <sup>NS</sup>	-0,28 <sup>NS</sup>	-0,89*	-0,74*	-0,83*	0,54 <sup>NS</sup>

\*Correlações significativas (P<0,05); <sup>NS</sup> Correlação não significativa.

## DISCUSSÃO

Nesse trabalho foi apresentado o primeiro estudo de análise temporal de doença em *E. erythropappus*, sendo a ferrugem a principal doença da candeia até o momento. Apesar da ocorrência da ferrugem da candeia durante todo o ano, foi observado aumento na severidade somente a partir do mês de março. Os clones C 27 e C 25 apresentaram maior incidência e severidade, apresentando sinais do patógeno mesmo em condições não favoráveis, indicando que o desenvolvimento da doença não depende apenas das condições climáticas, mas também da fisiologia do hospedeiro. No campo, a constante produção de inóculo e sua dispersão pelo vento e água de chuva, além do ambiente favorável, principalmente temperatura, para a ocorrência da ferrugem da candeia pode acelerar o progresso da doença se o hospedeiro for suscetível.

O modelo exponencial teve melhor ajuste do progresso da doença. Esse modelo foi descrito por Vanderplank (1963) para modelagem de doenças, demonstrando que a taxa de infecção aumenta durante a epidemia por que não é limitado por fatores como a quantidade de tecido do hospedeiro. Analisando o progresso temporal de ferrugem em pêra, Estrada e Adaskaveg (2003) definiram o modelo exponencial como o melhor modelo para explicar o desenvolvimento da doença nos anos de 1996 e 1997. Esses autores observaram que a incidência da ferrugem pode progredir mesmo com baixos níveis de inóculo no campo, chegando a altos níveis no final da estação, devido à constante produção de inóculo secundário e a sucessivas infecções em períodos com condições favoráveis.

Nesi e Alves (2014) observaram que o modelo logístico se ajustou melhor para descrever a incidência de *Tranzschelia discolor* em pêra, enquanto o modelo exponencial explicou melhor a evolução da severidade da doença. A incidência da ferrugem da candeia chegou a 90% das árvores avaliadas no mês de maio, entretanto enquanto não ocorreram mudanças no número de árvores infectadas a porcentagem de área lesionada nos hospedeiros continuou a crescer até o mês de junho, devido às condições climáticas.

Todos os clones apresentaram incidência da doença, porém oito clones foram considerados moderadamente resistentes à ferrugem, apresentando menores AACPD, seis clones foram considerados moderadamente suscetíveis e três suscetíveis. A resistência e suscetibilidade de clones para fitopatógenos têm sido, frequentemente, estudadas comparando dados de AACPD para outras espécies florestais. Entretanto, devido ao recente reconhecimento da candeia como promissora espécie florestal para exploração, informações sobre a produtividade dos clones e os danos causados por doenças a esses sistemas não existem. Conseqüentemente, estudos relacionando a incidência e severidade do patógeno e o desenvolvimento de clones de candeia resistentes são necessários.

Durante o período experimental, os dados meteorológicos como, por exemplo, a umidade relativa do ar, precipitação, temperatura do ar e insolação foram registrados em uma estação meteorológica próxima ao campo experimental. Houve variação ao longo do tempo para todas essas variáveis, porém somente as variáveis de temperatura do ar apresentaram correlação significativa com a severidade da doença. Nesse caso, houve correlação negativa entre a variável de severidade da doença e a média mensal das temperaturas, ou seja, temperaturas amenas favorecem a incidência da doença. Tal fato pode ser justificado porque temperaturas entre 18 e 25°C oferecem melhores condições para a infecção de ferrugens florestais no campo (Alfnas et al. 2009). Sales (2017) afirmou que baixas temperaturas podem favorecer a doença, pois aumentam o estresse sofrido pela planta, aumentando assim sua suscetibilidade do hospedeiro. Ruiz (1989) observou uma correlação entre a severidade de *P. psidii* em *Eucalyptus grandis* e temperaturas entre 18°C e 25°C e altas umidades. No presente trabalho, a umidade não influenciou a doença, porém não foram levadas em consideração as condições micrometeorológicas da superfície da folha, sendo essa uma possível explicação relativa. Considerando que as regiões onde candeiais podem ser implantados podem oferecer condições climáticas favoráveis ao progresso da doença e que sua incidência causa danos ao desenvolvimento fisiológico da planta, a melhor opção de controle é o uso de variedades resistentes.

Os clones C 4, C 37 e C 34 foram os clones mais indicados para implantação no Sul de Minas Gerais. Porém, outros estudos são necessários para verificar se os danos causados pelo patógeno interferem na produtividade da árvore.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos para a primeira autora.

## **REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO**

- Alfenas AC, Zauza EAV, Mafia RG, Assis TF. (2009) Clonagem e doenças do eucalipto. Viçosa: Editora UFV.
- Araújo EJM, Pelissari AL, David HC, Scolforo JRS, Netto SP, Moraes VA. (2012). Relação hipsométrica para candeia (*Eremanthus erythropappus*) com diferentes espaçamentos de plantio em Minas Gerais, Brasil. Pesquisa Florestal Brasileira, p. 257.
- Bergamin AF, Amorim L, Hau B. (2014) Análise temporal e espacial de epidemias. In: O essencial da fitopatologia: epidemiologia de doenças de Planta. UFV, p. 101-165.
- Campbell CL, Madden LV. (1990) Introduction to Plant Disease Epidemiology. New York, NY, John Wiley, p. 560.
- Carvalho PER. (1994). Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Brasil: EMBRAPA-CNPq/SPI, p. 163.
- Dantas AAA, Carvalho LD, Ferreira E. (2007) Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. Ciência e Agrotecnologia, p.1862-1866.
- Dietel P. (1897) *Uredineae brasilienses* a cl. E. Ule lectae. Hedwigia, p. 26–37.
- Estrada AS, Adaskaveg JE. (2004). Temporal and quantitative analyses of stem lesion development and foliar disease progression of peach rust in California. Phytopathology, 94(1), 52-60.

- Figueiredo MB, Passador MM. (2008) Morfologia, funções dos soros e variações dos ciclos vitais das ferrugens. Arquivos do Instituto Biológico, São Pao, p.117-134.
- Galdino APP, Brito JO, Garcia RF, Scolforo JR. Estudo sobre o rendimento e qualidade do óleo de candeia (*Eremanthus ssp*) e a influência das diferentes origens comerciais da sua madeira. Revista Brasileira de Plantas Mediciniais. 2006, p. 44-46.
- Jelihovschi EG, Faria JC, Allaman IB. (2014) ScottKnott: a package for performing the Scott-Knott clustering algorithm in R. TEMA, p. 3-17.
- Melo LAD, Pereira GDA, Moreira EJC, Davide AC, Silva EVD, Teixeira LAF. (2014). Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eremanthus erythropappus* sob diferentes formulações de substrato.
- Nesi CN, Alves G, Ribeiro PJ, De Mio LLM. (2014) Heterogeneity of peach rust disease progress within the tree canopy. European journal of plant pathology, p. 663-677.
- R Core Team. (2013) R: A Language & Environment for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Internet Resource: <http://www.R-project.org/> (verified July 5, 2017).
- Ruiz RAR, Alfenas AC, Maffia LA, Barbosa MDM. (1989) Progresso da ferrugem do eucalipto, causada por *Puccinia psidii*, em condições de campo. Fitopatologia brasileira, p. 73-81.
- Sales NIS, Leão EU, Correia LCMDA, Siqueira CDA, Santos GRD. (2017) Temporal progress of teak rust in a tropical area of Tocantins State, Brazil. *Acta Amazonica*, p. 277-280.
- Teixeira MCB, Nunes YRF, Maya KMP, Ribeiro RN. (1996) Influência da luz na Germinação de sementes de candeia (*Vanillosmopsis erythropappa* Schult. Bit). In: Encontro REGIONAIS DE BOTANICOS. Belo horizonte. Anais Belo horizonte. PUCMG, p. 23-24.
- Vanderplank JE. (1963) Plant Diseases: Epidemics and Control. Academic Press, New York.