



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO – UFES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL – PPGPV

GUILHERME DE RESENDE CAMARA

**EPIDEMIOLOGIA DA FERRUGEM DO CAFEIRO CONILON
EM DIFERENTES ESTRATOS DE ALTITUDE**

ALEGRE – ES

2019

GUILHERME DE RESENDE CAMARA

**EPIDEMIOLOGIA DA FERRUGEM DO CAFEIRO CONILON
EM DIFERENTES ESTRATOS DE ALTITUDE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Produção Vegetal, na área de concentração de Fitossanidade/Fitopatologia.

Orientador: Prof. Dr. Willian Bucker Moraes

Coorientadores: Prof. Dr. Fábio Ramos Alves

Prof. Dr. Samuel de Assis Silva

Prof. Dr. Waldir Cintra de Jesus Junior

ALEGRE – ES

2019

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

C172e Camara, Guilherme De Resende, 1988-
Epidemiologia da ferrugem do cafeeiro conilon em diferentes estratos de altitude / Guilherme De Resende Camara. - 2019.
100 f. : il.

Orientador: Willian Bucker Moraes.
Coorientadores: Fábio Ramos Alves, Waldir Cintra de Jesus Junior, Samuel de Assis Silva.
Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Fitopatologia. 2. Agronomia. I. Moraes, Willian Bucker. II. Alves, Fábio Ramos. III. Jesus Junior, Waldir Cintra de. IV. Silva, Samuel de Assis. V. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. VI. Título.

CDU: 63

GUILHERME DE RESENDE CAMARA

**EPIDEMIOLOGIA DA FERRUGEM DO CAFEIEIRO CONILON
EM DIFERENTES ESTRATOS DE ALTITUDE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Produção Vegetal, na área de concentração de Fitossanidade/Fitopatologia.

Aprovada em 01 de abril de 2019.

Comissão Examinadora:



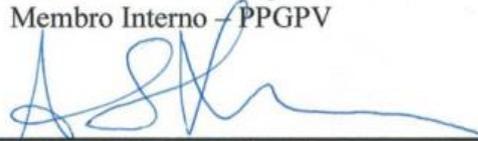
Prof. Dr. Leônidas Leoni Belan

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Membro Externo – UFES



Prof. Dr. Marcelo Antônio Tomaz

Universidade Federal do Espírito Santo
Membro Interno – PPGPV



Prof. Dr. André da Silva Xavier

Universidade Federal do Espírito Santo
Membro Externo – PPGPV



Prof. Dr. Willian Bucker Moraes

Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

BIOGRAFIA

GUILHERME DE RESENDE CAMARA, filho de Maristella Ronchetti de Resende e Augusto Roberto Camara Dias, nasceu no Rio de Janeiro – RJ, em 17 de janeiro de 1988.

Passou a infância nas cidades do Rio de Janeiro (RJ), Gaurama (RS) e Petrópolis (RJ), onde concluiu o ensino fundamental no Instituto Educacional Biblos, no ano de 2002.

Em fevereiro de 2003, ingressou na Central de Ensino e Desenvolvimento Agrário de Florestal / Universidade Federal de Viçosa (CEDAF/UFV), onde concluiu o ensino médio e obteve o título de Técnico Agrícola, em fevereiro de 2006.

Em março de 2007 ingressou no Exército Brasileiro, servindo as forças armadas na cidade de Viçosa (MG), com conclusão em dezembro de 2007. Neste período foi promovido da patente de Atirador do Exército Brasileiro para Cabo do Exército Brasileiro, concluindo seu tempo de serviço com Honra ao Mérito.

Em março de 2008 ingressou no curso de Engenharia Agrônômica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre – ES, graduando-se como Bacharel em Agronomia em fevereiro de 2013.

Em março de 2013 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre – ES, concentrando seus estudos na área de Fitossanidade/Fitopatologia, submetendo-se à defesa de dissertação e obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal em 23 de fevereiro de 2015.

Em março de 2015 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre – ES, concentrando seus estudos na área de Fitossanidade/Fitopatologia, submetendo-se à defesa da tese e obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal em 01 de abril de 2019.

Dedico

A Deus, por ter me permitido caminhar até aqui;

Aos meus pais, Maristella Ronchetti de Resende e Augusto Roberto Camara Dias, pela dedicação e incentivo;

Ao amigo e companheiro Eufrânio Lucindo Junior, por toda a atenção, compreensão, paciência e parceria durante o decorrer desta etapa pessoal e profissional;

Ao Professor Willian Bucker Moraes, por todas as oportunidades e ensinamentos profissionais e pessoais que a mim foram concedidos e por toda a parceria profissional estabelecida;

Aos amigos Carlos Alberto Gonçalves Gomes, Isadora Rodrigues Garcia, Hiago Zambão Falqueto, Géssica Bighi Alvares Espano, Aline Barroso da Silva e Breno Benvindo dos Anjos, igualmente responsáveis pela execução e mérito deste trabalho.

“Costumo dizer que a luz não está no final do túnel, mas em todo o percurso que
caminharmos se em nós houver confiança e fé.”

Cecília Sfalsin

“Nas lutas habituais, não exija a educação do companheiro. Demonstre a sua.”

André Luiz/Chico Xavier

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado a vida, por ter me guiado até este momento e por ter me abençoado com a presença persistente de pessoas que me foram suporte;

Aos meus familiares, Maristella Ronchetti de Resende, Augusto Roberto Camara Dias, Márcio Antônio de Araújo (*In memoriam*), Isabel Cristina e Mariângela Ronchetti de Resende, pelo esforço e incentivo para que eu alcançasse este objetivo;

Ao amigo e companheiro Eufranio Lucindo Junior, pela atenção, auxílio, paciência e incentivo. Por ser suporte e estar presente em todos os momentos bons e ruins;

A Universidade Federal do Espírito Santo, ao Centro de Ciências Agrárias e Engenharias e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pela oportunidade em cursar o doutorado em Produção Vegetal;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos;

A Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), pela concessão de financiamento para realização deste trabalho;

Ao Professor Dr. Willian Bucker Moraes, pela orientação, confiança e oportunidades pessoais e profissionais proporcionadas durante todo o decorrer do doutorado, as quais levarei para toda a vida;

Aos Professores Dr. Fábio Ramos Alves e Dr. André da Silva Xavier, pela coorientação e ensinamentos proporcionados durante a execução deste trabalho;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pela significativa contribuição em minha vida profissional;

Aos amigos Carlos Alberto Gonçalves Gomes, Isadora Rodrigues Garcia, Hiago Zambão Falqueto, Géssica Bighi Alvares Espano, Aline Barroso da Silva e Breno Benvindo dos Anjos, também responsáveis pela execução deste trabalho. Juntos aprendemos o que é trabalhar em equipe. Com vocês divido o mérito deste trabalho!

Aos produtores rurais Mário César, Luíza, Sebastião, Roque e Romário, proprietários das áreas em que esta pesquisa foi realizada;

Aos profissionais e colegas de trabalho, Dr. Leônidas Leoni Belan, Msc. Angelo Oliveira e Anatan da Matta Rafael, por toda a orientação fornecida, a qual foi fundamental para a conclusão deste trabalho;

Aos demais profissionais, amigos e colegas do Laboratório de Epidemiologia e Manejo de Doenças de Plantas Agrícolas e Florestais (LEMP) e do Laboratório de Nematologia da UFES (NEMATUFES);

Aos amigos Eufranio Lucindo Junior, Jaimel de Oliveira Lima e Mila Letice Sangali Mattos Ferreira, por me acompanharem nessa caminhada e terem permanecido ao meu lado nos momentos em que não mais academicamente queria caminhar;

Aos amigos Jaimel de Oliveira Lima, Dennys de Souza Mourão, Anderson Luiz Kruger, Luiz Carlos Coelho, Angelo Oliveira, Patrícia Elisa, Breno Benvindo dos Anjos, Mila Letice Sangali Mattos Ferreira, Aline Barroso da Silva, João Paulo Pereira Paes, Lorena Contarini, Laura Vaillant, Johnny Rodrigues, Onofre Augusto Miranda, Rafael de Angeli, Mateus Augusto, Vívian Mainardi, Bárbara Moreira, Amanda Tristão Meneguelli, Cyntia Meiry, Lindomar Souza Machado, Sirlene Lucindo de Jesus, Jucélio Rosa e Lara Lucindo, pela amizade, apoio e incentivo dado, mesmos nas conversas mais descontraídas;

A comissão examinadora, pela disponibilidade e contribuição na melhoria deste trabalho;

E, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para este momento.

Obrigado!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| RESUMO..... | 11 |
| ABSTRACT | 12 |
| 1 INTRODUÇÃO GERAL..... | 13 |
| 2 HIPÓTESE..... | 15 |
| 3 OBJETIVO GERAL | 16 |
| 4 REVISÃO DE LITERATURA..... | 17 |
| 4.1 ASPECTOS ECONÔMICOS DA CULTURA..... | 17 |
| 4.2 ASPECTOS FITOSSANITÁRIOS DA CULTURA | 18 |
| 4.3 A FERRUGEM DO CAFEEIRO..... | 20 |
| 4.4 EFEITO DO AMBIENTE NA OCORRÊNCIA DA FERRUGEM DO CAFEEIRO CONILON | 21 |
| 4.4.1 Temperatura | 22 |
| 4.4.2 Precipitação e umidade relativa do ar..... | 25 |
| 4.4.3 Radiação e molhamento foliar..... | 27 |
| 4.4.4 Vento e face de exposição ao sol..... | 27 |
| 4.5 MANEJO DA FERRUGEM DO CAFEEIRO CONILON..... | 29 |
| 4.5.1 Amostragem e Monitoramento..... | 30 |
| 4.5.2 Dinâmica espaço-temporal da ferrugem do cafeeiro conilon..... | 31 |
| 5 MATERIAL E MÉTODOS | 33 |
| 5.1 IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO | 33 |
| 5.2 GRID AMOSTRAL..... | 35 |
| 5.3 QUANTIFICAÇÃO DO NÚMERO DE FOLHAS E DA INTENSIDADE DA DOENÇA | 35 |
| 5.4 ANÁLISE DO PROGRESSO TEMPORAL DA DOENÇA | 35 |
| 5.5 CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS | 36 |

| | |
|--|------------|
| 5.6 CORRELAÇÃO ENTRE A INTENSIDADE DA FERRUGEM E AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS | 37 |
| 5.7 FAVORABILIDADE DIÁRIA PARA A INFECÇÃO DE <i>Hemileia vastatrix</i> | 39 |
| 5.8 ANÁLISE DO PROGRESSO ESPACIAL DA DOENÇA | 40 |
| 6 RESULTADOS | 42 |
| 6.1 ANÁLISE DO PROGRESSO TEMPORAL DA DOENÇA | 42 |
| 6.2 CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS | 46 |
| 6.3 CORRELAÇÃO ENTRE INTENSIDADE DA FERRUGEM DO CAFEIEIRO E VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS | 54 |
| 6.4 FAVORABILIDADE DIÁRIA PARA A INFECÇÃO POR <i>Hemileia vastatrix</i> , .. | 62 |
| 6.5 ANÁLISE DO PROGRESSO ESPACIAL DA DOENÇA | 64 |
| 7 DISCUSSÃO | 68 |
| 8 CONCLUSÕES | 76 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 77 |
| APÊNDICE A – GRÁFICOS DE DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS | 92 |
| APÊNDICE B – GRÁFICOS DE SIMILARIDADE ENTRE A PROPORÇÃO DA DOENÇA REAL E A ESTIMADA | 93 |
| APÊNDICE C – GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS | 94 |
| APÊNDICE D – GRÁFICOS DE SIMILARIDADE ENTRE A PROPORÇÃO DA DOENÇA REAL E A ESTIMADA | 95 |
| APÊNDICE E – GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS | 96 |
| APÊNDICE F – GRÁFICOS DE SIMILARIDADE ENTRE A PROPORÇÃO DA DOENÇA REAL E A ESTIMADA | 97 |
| APÊNDICE G – LIMITES DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS CORRELACIONADAS COM AS VARIÁVEIS EPIDEMIOLÓGICAS: EA1.... | 98 |
| APÊNDICE H – LIMITES DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS CORRELACIONADAS COM AS VARIÁVEIS EPIDEMIOLÓGICAS: EA2.... | 99 |
| APÊNDICE I – LIMITES DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS CORRELACIONADAS COM AS VARIÁVEIS EPIDEMIOLÓGICAS: EA3... | 100 |

RESUMO

O Brasil é líder mundial na produção e exportação de cafés. A ocorrência de doenças no cafeeiro conilon é uma das barreiras limitantes para o aumento da produção e da produtividade da cafeicultura. O conhecimento das condições ambientais permite o planejamento e avaliação das estratégias para o manejo fitossanitário, os quais minimizam os danos e perdas, promovendo o desenvolvimento sócio-econômico-ambiental. Nesse contexto, é necessário desenvolver tecnologias para o manejo fitossanitário que considerem os efeitos ambientais sobre a ocorrência e intensidade da ferrugem do cafeeiro conilon, auxiliando na tomada de decisão e na elaboração racional de um manejo fitossanitário para esta doença. Deste modo, objetivou-se avaliar o efeito da altitude, temperatura, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica na intensidade (incidência e severidade) da ferrugem do cafeeiro conilon. Houve diferença no padrão de distribuição temporal da doença nos diferentes estratos de altitude (EA). Quanto maior o estrato de altitude, menor a taxa de progresso da doença e menor a favorabilidade diária para a infecção de *H. vastatrix* em cafeeiro conilon. Para a variável incidência da ferrugem do cafeeiro, o modelo de Gompertz foi o que melhor se ajustou para descrever a epidemia. Houve correlação entre as variáveis epidemiológicas nos diferentes EA e as variáveis meteorológicas.

Palavras-chave: Ambiente, *Coffea canephora*, *Hemileia vastatrix*, Quantificação de doenças.

ABSTRACT

Brazil is a world leader in coffee production and export. The occurrence of diseases in the Conilon coffee tree is one of the limiting barriers to increase coffee production and productivity. Knowledge of environmental conditions allows the planning and evaluation of strategies for phytosanitary management, which minimize damage and loss, promoting socio-economic-environmental development. In this context, it is necessary to develop technologies for phytosanitary management that consider the environmental effects on the occurrence and intensity of the Conilon coffee rust, helping in the decision making and rational elaboration of phytosanitary management for this disease. The objective of this study was to evaluate the effect of altitude, temperature, relative humidity and rainfall on the intensity (incidence and severity) of Conilon coffee rust. There was a difference in the temporal distribution pattern of the disease in the different altitude strata (AE). The higher the altitude stratum, the lower the disease progression rate and the lower daily favorability for *H. vastatrix* infection in conilon coffee. For the variable incidence of coffee rust, the Gompertz model was the best fit to describe the epidemic. There was a correlation between the epidemiological variables in the different AE and the meteorological variables.

Keywords: *Coffea canephora*, Environment, *Hemileia vastatrix*, Quantification of diseases.

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é líder mundial na produção e exportação de cafés, sendo o segundo maior consumidor da bebida no mundo. A produção de café conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner), também conhecido como café robusta, é base para o preparo de cafés solúveis que são consumidos em vários países, tornando este produto uma importante *commodity* no mercado nacional e internacional (USDA, 2017; USDA, 2018; CONAB, 2019).

A incidência de doenças no cafeeiro conilon representa uma das barreiras limitantes para o aumento da produção e da produtividade das lavouras de *C. canephora* no cenário agrícola nacional, com destaque para a ferrugem do cafeeiro, cujo agente etiológico é o fungo *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. (AVELINO et al., 2015; MCCOOK e VANDERMEER, 2015; ZAMBOLIM, 2016).

Para que a sustentabilidade do setor cafeeiro seja assegurada, estratégias de controle e de manejo de doenças devem considerar a coevolução patógeno-hospedeiro e os fatores epidemiológicos e ambientais. O efeito das condições do ambiente sobre a intensidade das doenças de plantas está diretamente relacionado à ocorrência dessas, devendo ser aplicadas em escala temporal e espacial, baseadas em pesquisas de cunho científico (VENTURA, COSTA e LIMA, 2017; MORAES et al., 2018).

Este conhecimento permite o planejamento e avaliação das estratégias de controle utilizadas em um programa de manejo fitossanitário, a partir de estudos dos padrões temporais e espaciais da doença, os quais auxiliam na compreensão da dinâmica populacional, na elaboração de estudos epidemiológicos, sistemas de alerta e avisos e programas de amostragem (MUSOLI et al., 2008; BELAN et al., 2015; ZAMBOLIM, 2016; MORAES et al., 2018).

Assim, considerando a correlação direta existente entre temperatura e altitude, conhecida como gradiente térmico vertical, que prediz em razão adiabática que há um acréscimo vertical de temperatura a cada 100 metros de elevação (FRITZSONS, WREGG e MANTOVANI, 2016), tornam-se viáveis a elaboração e execução de estudos do patossistema *Hemileia vastatrix* x *Coffea canephora* em diferentes estratos de altitude, simulando e avaliando diferentes condições meteorológicas sobre os aspectos fisiológicos e fitossanitários da cultura, auxiliando na adoção de medidas de mitigação ou adaptação, dando suporte ao setor cafeeiro na tomada de decisões.

2 HIPÓTESE

Variáveis meteorológicas de diferentes estratos de altitude modulam diferencialmente as epidemias da ferrugem do cafeeiro conilon.

3 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito das variáveis meteorológicas (temperatura, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica) na intensidade da ferrugem do cafeeiro conilon em diferentes estratos de altitude.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 ASPECTOS ECONÔMICOS DA CULTURA

A cafeicultura, representada principalmente pela produção das espécies *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, as quais, juntas, correspondem a quase todo o café produzido e comercializado no mundo (FERRÃO et al., 2011), é considerada como uma das atividades de maior importância no setor agropecuário mundial (EMBRAPA, 2017).

Mais de 55 países estão envolvidos no setor de produção cafeeira, com destaque para o Brasil, maior produtor e exportador mundial, com 31,9% da produção, a frente de países como Vietnã (18,5%), Colômbia (8,8%) e Indonésia (7,5%) (OIC, 2018).

O Brasil, com um aumento na produção de 18,8% no ano de 2017 em relação a 2016, e com produtividade média recorde de 24,14 sacas/hectare, 17,1% superior à safra passada, totalizou 44,970 milhões de sacas de 60 quilos em uma área de produção de 1,63 milhões de hectares, com perspectivas de aumento entre 21,1 a 30,1% em produção e 17,7 a 26,5% em produtividade na safra 2018 (CONAB, 2018).

Sendo o país com a segunda maior produção de *C. canephora* e maior produção de *C. arabica*, correspondente a 17% e 35% da produção mundial, respectivamente, o Brasil também se destaca como maior exportador, com aproximadamente 23 milhões de sacas de 60 quilos, com receita cambial de US\$ 3,94 bilhões, ao preço médio de US\$ 171,19 a saca (CECAFE, 2017).

No panorama nacional de produção de café conilon e arábica, a região sudeste destaca-se com a produção concentrada em dois principais estados: Minas Gerais e Espírito Santo, os quais, juntos, produzem 75% da produção nacional de café (CONAB, 2016; IBGE, 2017). Ao todo, Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Rondônia, Paraná e Goiás são responsáveis por aproximadamente 98,65% da produção nacional.

Acre, Ceará, Pernambuco, Mato Grosso do Sul, Distrito Federal, Pará, Mato Grosso e Rio de Janeiro respondem apenas por 1,35% da produção (MAPA, 2017).

Com o intuito de promover o desenvolvimento nacional da cafeicultura, diversos programas nacionais e estaduais de incentivo foram implementados nas mais diversas regiões produtoras do país, a exemplo do FUNCAFÉ (MAPA, 2017), Renova Sul Conilon (ES) (INCAPER, 2016), Cafés do Cerrado (MG) (FECACE, 2015), Tecnificação da Cafeicultura (RO) (RURAL CENTRO, 2010) e Rio Rural (RJ) (GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2017). A pesquisa científica, a transferência de tecnologias, a capacitação dos produtores, o incentivo à produção e a prestação de assistência técnica são algumas das ações previstas nestes programas governamentais, os quais objetivam, dentre outros, implementar, renovar e/ou revigorar lavouras de café visando o aumento da produtividade e a melhoria da qualidade do produto final, além de contribuir com o desenvolvimento regional sustentável.

4.2 ASPECTOS FITOSSANITÁRIOS DA CULTURA

O manejo fitossanitário da cultura do café é um dos grandes desafios para produtores e pesquisadores do setor cafeeiro, os quais deverão atender as exigências de qualidade do mercado nacional e internacional simultaneamente à oferta de um produto seguro, de qualidade, economicamente viável, com potencial de competitividade no mercado e com baixo impacto ambiental, a partir da compreensão e racionalização de todas as etapas da cadeia produtiva (MORAES et al., 2018).

As doenças representam um dos fatores mais limitantes para o desenvolvimento do setor cafeeiro, seja em viveiro ou a campo, pois podem decorrer em redução da produção, produtividade e qualidade final do produto e aumento do custo de produção, o que poderá

acarretar na inviabilidade econômica de exploração da cultura (CARVALHO, CUNHA e SILVA, 2012; VENTURA, COSTA e LIMA, 2017).

O uso de estratégias integradas de controle de doenças do cafeeiro, sejam estas culturais, físicas, biológicas, químicas, genéticas ou legislativas, deverá contemplar os aspectos fitossanitários de origem biótica (causadas por fungos, vírus, bactérias, nematoides, entre outros) e abiótica (decorrentes de temperaturas extremas, desequilíbrio nutricional, excesso ou déficit hídrico, fitotoxidez, entre outros) (ZAMBOLIM, ZAMBOLIM e JESUS JUNIOR, 2008; FERNANDES e VIEIRA JUNIOR, 2015).

Dentre as principais doenças de origem biótica que incidem sobre o cafeeiro, destaca-se a Ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.), Mancha-de-olho-pardo ou Cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berk. et Cook), Mancha Manteigosa (*Colletotrichum* spp), Mancha de *Phoma* (*Phoma tarda*), Seca-dos-Ponteiros (*Colletotrichum gloeosporioides*), Fusariose (*Fusarium solani*, *F. oxysporum*, *F. moliniforme*, *F. semitectum*, *F. equiseti.*), Mancha-de-Corynespora (*Corynespora cassiicola* (Berk. & Curtis) Wei) e as Nematoses, doenças decorrentes do parasitismo do sistema radicular por fitonematoides, principalmente dos gêneros *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Rotylenchulus*, *Xiphinema*, *Criconemela* e *Helicotylenchus*. (FERNANDES e VIEIRA JUNIOR, 2015; VENTURA, COSTA e LIMA, 2017).

Para que a sustentabilidade do setor cafeeiro seja assegurada, estratégias de controle e de manejo de doenças devem considerar a coevolução patógeno-hospedeiro e os fatores epidemiológicos e ambientais, devendo estas serem aplicadas em escala temporal e espacial, baseadas em pesquisas de cunho científico (VENTURA, COSTA e LIMA, 2017).

4.3 A FERRUGEM DO CAFEIEIRO

Em um patossistema agrícola, as epidemias de doenças de plantas resultam das relações estabelecidas entre o patógeno, hospedeiro, ambiente, homem e vetor (quando houver) (VALE; JESUS JUNIOR; ZAMBOLIM, 2004), sendo as relações entre patógeno, hospedeiro e ambiente, também denominadas de ‘Triângulo da Doença’, as mais importantes.

A ferrugem do cafeeiro, também denominada de ferrugem alaranjada do cafeeiro, é decorrente da interação entre o fungo *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. e os hospedeiros *Coffea* spp., sob condições favoráveis para o desenvolvimento da doença. Diagnosticada pela primeira vez em 1861 na Província de Nyanza (Quênia), a doença foi descrita em 1869 por Berkeley e Broome, após consequências devastadoras da mesma em lavouras comerciais no Ceilão, hoje Sri Lanka (VENTURA, COSTA e LIMA, 2017).

No Brasil, os primeiros relatos de *H. vastatrix* ocorreram no sul do estado da Bahia, em 1970. Quatro meses após, a doença já havia sido relatada em quase todos os estados do país e, após uma década, em toda a América Latina (ZAMBOLIM, VALE e ZAMBOLIM, 2005; VENTURA, COSTA e LIMA, 2017).

A rápida disseminação do patógeno e a susceptibilidade dos materiais cultivados a campo evidenciam a ocorrência da doença de forma generalizada em todas as regiões de cultivo, com severidade variável em função da agressividade do patógeno, das condições meteorológicas locais, carga pendente, estado nutricional e resistência das plantas, além da densidade de plantio. A associação destes fatores faz com que esta possa ser considerada a doença mais importante da cultura, com redução de rendimentos estimada entre 30 a 50%, quando em condições favoráveis à epidemia da doença (CAPUCHO et al. 2013).

O conhecimento e compreensão de cada um dos fatores que interferem e determinam em uma maior ou menor taxa de progresso da ferrugem do cafeeiro torna-se de grande importância, uma vez que condicionam a ocorrência, distribuição e intensidade da doença (sua incidência e severidade) e auxiliam, conseqüentemente, na previsão de epidemias, permitindo o estabelecimento de um programa de manejo fitossanitário com medidas de controle mais adequadas (MORAES et al., 2018). Entretanto, conforme será abordado a seguir, o ambiente exerce função preponderante sobre os demais fatores que constituem o ‘Triângulo da Doença’, ou seja, patógeno e hospedeiro, uma vez que também os influencia.

4.4 EFEITO DO AMBIENTE NA OCORRÊNCIA DA FERRUGEM DO CAFEIEIRO CONILON

O conhecimento dos efeitos ambientais que interferem na ocorrência da ferrugem do cafeeiro conilon é de grande importância, uma vez que afetam a epidemiologia da doença em seus aspectos espaciais (distribuição geográfica) e temporais, visto influenciar diretamente no crescimento e na suscetibilidade da planta hospedeira, na disseminação, na infecção, na colonização, na reprodução e na sobrevivência do patógeno, condicionando, assim, a intensidade da doença e sua taxa temporal e espacial de desenvolvimento (HAMADA et al., 2015; ANGELOTTI, GHINI e BETTIOL, 2017).

De modo geral, as condições epidemiológicas são específicas, visto estarem diretamente condicionadas por efeitos ambientais locais do que regionais (MONTROYA e CHAVES, 1974), sejam estes relacionados a temperatura (máxima, média e mínima), precipitação, umidade relativa do ar, vento, face de exposição ao sol (Noruega ou Soalheira), radiação solar, concentração de CO², balanço hídrico, características físico-

químicas e biológicas do solo, relevo, adensamento e tratos culturais (VALE et al., 2004a; GONÇALVES, 2015). As atuais técnicas de manejo do cafeeiro conilon podem ser otimizadas a partir do conhecimento das condições ambientais que favorecem ou não o desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro.

Dentre os fatores relacionados ao ambiente anteriormente descritos, os quais interferem direta e indiretamente no desenvolvimento do hospedeiro e do patógeno, condicionando a uma maior ou menor epidemia da doença nas lavouras, aqueles relacionados às condições climáticas/meteorológicas (temperatura, precipitação, umidade relativa do ar, radiação solar, vento e face de exposição ao sol) são de grande importância (VALE, JESUS JUNIOR e ZAMBOLIM, 2004).

O efeito das condições climáticas/meteorológicas sobre a intensidade das doenças de plantas deve ser considerado no setor agrícola, visto que permite ao produtor ou profissional implementar e avaliar estratégias de manejo utilizadas em um programa de manejo fitossanitário, preconizando-se o uso de estratégias de controle racionais que minimizem danos futuros e que atendam as atuais demandas econômicas, sociais e ambientais do mercado consumidor (GHINI, HAMADA e BETTIOL, 2008). Diversos modelos de previsão de doenças e sistemas de alerta fitossanitários estão embasados no conhecimento da interação entre o patógeno, o hospedeiro e as variáveis climáticas/meteorológicas (VALE et al., 2004a).

4.4.1 Temperatura

Dentre as variáveis ambientais que condicionam a incidência e a severidade de doenças de plantas agrícolas e florestais, a temperatura é considerada como variável meteorológica/climática de maior influência sobre a relação patógeno-hospedeiro

(ANGELOTTI, GHINI e BETTIOL, 2017). Ademais, a temperatura condiciona as interações com microrganismos simbiotes, com os insetos e plantas espontâneas, bem como na resistência a doenças e insetos-pragas (AGRIOS, 2005).

As doenças decorrentes de patógenos de solo são predominantemente influenciadas pelo clima da região, enquanto que para patógenos foliares a maior influência é exercida pelas condições meteorológicas locais, as quais afetam diretamente o microclima, condicionando epidemias esporádicas e curtas, de características muitas vezes explosivas (VALE et al., 2004a).

De maneira geral, a temperatura atua em todas as fases do ciclo das relações estabelecidas entre o patógeno e o hospedeiro (disseminação, infecção, colonização, reprodução e sobrevivência), e os patossistemas respondem individualmente às variações de temperatura (ANGELOTTI et al., 2014).

Na fase de infecção, por exemplo, a temperatura pode condicionar a taxa de germinação dos esporos (MAIA et al., 2011; POLTRONIERI et al., 2013), o que irá interferir, diretamente, na ocorrência, velocidade e expansão da doença (VALE et al., 2000b; MAY-DE-MIO et al., 2002).

É o que ocorre no patossistema *H. vastatrix* vs *Coffea canephora*, na qual a temperatura interfere na germinação dos uredósporos, sendo considerada ótima quando a 22°C. Temperaturas abaixo de 15°C e acima de 28°C inibem o processo de germinação (ZAMBOLIM, VALE e ZAMBOLIM, 2005). O número de ciclos de uma doença durante o período de cultivo está associado à temperatura favorável e ao desenvolvimento do patógeno, permitindo que o mesmo complete o ciclo em um menor tempo (ANGELOTTI, GHINI e BETTIOL, 2017).

Diferente do que ocorre na fase de germinação, o alongamento do tubo germinativo é crescente com o aumento da temperatura, até atingir 30°C. Essa característica evidencia que uma temperatura não favorável ao processo de germinação pode ser adversa para o processo germinativo, após este ter iniciado, assim como para as demais fases do ciclo do patógeno (ZAMBOLIM, VALE e ZAMBOLIM, 2005).

Considerando, então, a influência da temperatura sobre todas as fases do ciclo do patógeno, o período de incubação (período entre a germinação e o aparecimento dos sintomas) e o período latente (período entre a germinação e o aparecimento dos sinais) de *Hemileia vastatrix* em *Coffea canephora* pode variar de 29 a 62 dias e de 38 a 70 dias, respectivamente, interferindo diretamente na taxa de progresso da doença (ZAMBOLIM, VALE e ZAMBOLIM, 2005).

Elevadas temperaturas durante o período de incubação condicionam efeitos negativos nas taxas de progresso da ferrugem do cafeeiro. Moraes et al. (1976) e Meira, Rodrigues e Moraes (2008), relataram que temperaturas médias máximas microclimáticas acima de 31°C e 28°C, respectivamente, ocasionaram efeito depressivo sobre o período de incubação.

Alterações no período latente da ferrugem do cafeeiro também foram relatadas por Vale, Zambolim e Jesus Junior (2000b), os quais observaram alterações de 19 dias quando houve prevalência de temperaturas elevadas no verão e de até 60 dias quando em baixas temperaturas no inverno. Tais alterações permitem concluir que medidas de controle da ferrugem do cafeeiro podem não ter eficiência se implementadas no período em que as variáveis climáticas/meteorológicas exercem efeito negativo sobre a intensidade da doença.

O mesmo foi relatado por Vale, Zambolim e Jesus Junior (2000a), os quais observaram que há uma estreita relação entre as condições de favorabilidade à infecção e à severidade da doença no campo. Valores de temperaturas entre 20 e 25°C e presença de molhamento foliar, condicionam picos da severidade da doença de novembro a março (período favorável ao patógeno). Mas não somente a temperatura durante o período de molhamento foliar é importante. As médias baixas de temperatura mínima e as médias altas de temperatura máxima diárias reduzem, segundo Meira, Rodrigues e Moraes (2008), as taxas de infecção da ferrugem do cafeeiro, ou seja, as máximas e mínimas de temperatura durante a fase de infecção também possuem importância, embora em menor grau.

A identificação da capacidade de sobrevivência do patógeno em função da temperatura é importante para a compreensão do comportamento deste e sua capacidade de se estabelecer em novas regiões (ANGELOTTI, GHINI e BETTIOL, 2017). A adaptabilidade do patógeno a novas condições climáticas poderá determinar não somente uma maior ou menor intensidade da doença e, conseqüentemente, em um maior ou menor dano futuro, mas também poderá alterar as áreas atualmente mais favoráveis à produção do cafeeiro em nível global.

4.4.2 Precipitação e umidade relativa do ar

A precipitação e a umidade relativa do ar são, também, fatores ambientais diretamente relacionados à variação da intensidade das doenças nas lavouras cafeeiras, visto propiciar não somente a umidade necessária para a germinação dos esporos, mas também são fundamentais para a dispersão destes (VALE, ZAMBOLIM e JESUS JUNIOR, 2000a; MONTEIRO, SENTELHAS e CHIAVEGATO, 2006).

A interação existente entre a temperatura e o molhamento foliar determina o percentual de germinação dos esporos e de penetração do agente etiológico da ferrugem (KUSHALAPPA, AKUTSU e LUDWIG, 1983).

Essa afirmação corrobora os estudos de Meira, Rodrigues e Moraes (2008), referente à análise da epidemia da ferrugem do cafeeiro a partir do uso de árvore de decisão. Esses autores afirmam que a temperatura durante o período de molhamento foliar, a qual é estabelecida indiretamente pela temperatura média nos períodos de umidade relativa do ar maior que 95%, podem ser consideradas as variáveis mais importantes na determinação da taxa de infecção da ferrugem. Ressalta-se que o molhamento foliar ocorre mesmo quando não há precipitação, desde que a umidade relativa do ar esteja igual ou superior a 90% (SENTELHAS et al., 2008).

Ademais, a taxa de progresso da ferrugem do cafeeiro nas lavouras está diretamente relacionada à intensidade das chuvas e ao período de duração do molhamento foliar. A taxa de germinação dos esporos de *H. vastatrix* é favorecida por chuvas com baixa intensidade e o orvalho, os quais umedecem as folhas durante várias horas, condições estas necessárias ao processo germinativo (MONTROYA e CHAVES, 1974; MONTEIRO, SENTELHAS e CHIAVEGATO, 2006).

Por outro lado, chuvas de moderada a alta intensidade, principalmente quando em maior período de tempo, atuam como mecanismos de remoção dos sinais do patógeno, conduzindo os esporos ao chão e refletindo, diretamente, na redução da taxa de progresso da doença nos dias subsequentes (KUSHALAPPA e ESKES, 1989; MONTEIRO, SENTELHAS e CHIAVEGATO, 2006).

4.4.3 Radiação e molhamento foliar

A radiação solar inibe tanto o processo de germinação quanto o crescimento do tubo germinativo dos uredósporos de *H. vastatrix* (ZAMBOLIM, VALE e ZAMBOLIM, 2005). Quando associada ao período de molhamento foliar, a radiação exerce determinante influência sobre o patógeno, visto que o período de duração do molhamento foliar está diretamente relacionado ao período de exposição das folhas ao sol (CUSTODIO et al., 2010)

O molhamento foliar decorrente da presença de água no estado líquido é um fator indispensável para o processo de germinação dos uredósporos de *H. vastatrix* (WARD, 1882), que iniciam a colonização dos tecidos a partir da penetração pelos estômatos (MCCAIN e HENNEN, 1984). Quando as condições do ambiente estão favoráveis ao patógeno, ou seja, temperatura ótima de 22°C, ausência de luminosidade e presença de molhamento foliar, o processo de germinação dos uredósporos de *H. vastatrix* pode ocorrer em menos de cinco horas. Portanto, as condições favoráveis ao processo de germinação anteriormente descritas ocorrem à noite (ZAMBOLIM, VALE e ZAMBOLIM, 2005).

4.4.4 Vento e face de exposição ao sol

O microclima de uma lavoura é influenciado por diversos fatores relacionados a condições meteorológicas locais, relevo, área foliar, sistema de plantio, espaçamento, vento e face de exposição das plantas em relação ao sol, os quais, associados, interferem na interceptação e no balanço da radiação, bem como na temperatura, umidade, e regime de molhamento foliar (MADEIRA et al., 2002; SALGADO et al., 2007; SENTELHAS et al., 2008).

O vento é considerado como o principal agente de disseminação do patógeno em curtas e longas distâncias, sendo fator limitante a ser considerado no manejo fitossanitário desta doença. Além deste, o vento é um dos fatores ambientais responsáveis por promover a renovação do ar no interior do dossel da cultura, acelerando o processo de evaporação da água presente na superfície das plantas e reduzindo a duração do período de molhamento foliar. A intensidade da doença e seu progresso na área em função do vento dependerão, então, de cada área de produção em particular (MONTEIRO, SENTELHAS e CHIAVEGATO, 2006).

A depender das condições de manejo, diferenças na intensidade da doença podem ser quantificadas. A direção de plantio do cafeeiro na área, por exemplo, poderá acarretar em um maior ou menor período de molhamento foliar em virtude da face de exposição ao sol, influenciando diretamente nas condições ideais para o desenvolvimento do patógeno.

Conforme anteriormente discutido, o efeito das condições climáticas/meteorológicas sobre a intensidade das doenças de plantas é de grande importância, uma vez que afetam a epidemiologia da doença em seus aspectos espaciais e temporais, e devem ser consideradas pelo setor agrícola, visto que permitem ao produtor ou profissional implementar e avaliar as estratégias de controle utilizadas em um programa de manejo fitossanitário que minimizem prejuízos futuros e que atendam às atuais demandas econômicas, sociais e ambientais do mercado consumidor.

A partir da determinação precisa e acurada dos efeitos do ambiente na ocorrência da ferrugem do cafeeiro conilon, é possível desenvolver métodos ou modelos que identifiquem situações em que a incidência ou elevação da taxa de progresso da doença seja iminente. O manejo fitossanitário e o desenvolvimento dos chamados sistemas de alerta têm sido beneficiados pelo rápido desenvolvimento de avançadas tecnologias, seja

pela aquisição de dados a partir de estações meteorológicas, sensoriamento remoto, sistemas de informação global (GIS), sistemas de posicionamento geográfico (GPS), dentre outros.

4.5 MANEJO DA FERRUGEM DO CAFEEIRO CONILON

O manejo da ferrugem do cafeeiro conilon é realizado, comumente, com uso de variedades resistentes e aplicações de fungicidas protetores e sistêmicos, com base no monitoramento para tomada de decisão (BELAN et al., 2015), ou aplicados conforme datas preestabelecidas (CAPUCHO et al., 2013, ZAMBOLIM, 2016).

Para isto, o conhecimento da dinâmica espaço-temporal das doenças de plantas, ou seja, da sua distribuição, no espaço e no tempo, bem como quais os fatores que influenciam na sua distribuição, podem auxiliar na elaboração de um programa de manejo fitossanitário de doenças mais adequado à realidade do produtor (BERGAMIN FILHO et al., 2004). Atualmente, a geoestatística tem sido aplicada para essa finalidade, possibilitando modelar o padrão espaço-temporal e fornecer informações sobre aspectos epidemiológicos de doenças de plantas. (FREITAS et al., 2016; ROSAS et al., 2016; VASCO, 2016; ROCHA et al., 2017; BELAN, 2018).

O monitoramento do progresso da doença no campo, com base na quantificação da incidência e da severidade, é fator essencial para a estimativa dos danos e para determinação da tomada de decisão, permitindo, assim o uso racional dos recursos disponíveis (JESUS JUNIOR et al., 2004; BELAN et al., 2015; DEL PONTE et al., 2017).

4.5.1 Amostragem e Monitoramento

Para a adequada amostragem e monitoramento do progresso da ferrugem em lavouras de cafeeiro conilon, recomenda-se que a quantificação da intensidade (incidência e severidade) da doença seja feita por planta, as quais são selecionadas a partir da demarcação de uma malha com pontos distribuídos em um espaçamento que ocupe e represente toda a área de produção ou estudo (MORAES et al., 2018).

Após a demarcação das plantas, o monitoramento deverá ser realizado com base em avaliações dispostas no tempo, considerando o ciclo de desenvolvimento do patógeno, conforme metodologia específica para avaliação da ferrugem em cafeeiro conilon, proposta por Belan et al. (2013). Nesta, os autores propõem que a avaliação da doença seja feita em todas as folhas presentes em quatro ramos plagiotrópicos, selecionados e distribuídos ao acaso dentre os quatro quadrantes dispostos no terço superior da planta (Figura 1).

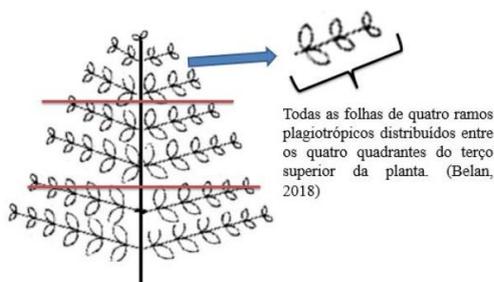


Figura 1. Método de amostragem não destrutivo para quantificação da ferrugem (*Hemileia vastatrix*) em folhas de cafeeiro conilon (*Coffea canephora*).

Autor: Belan (2018).

Concomitantemente à metodologia proposta por Belan et al. (2013), o uso de escalas diagramáticas para a avaliação e estimação do percentual da área de tecido foliar lesionado e da suscetibilidade ou a resistência da variedade, é de extrema importância

para o estudo da análise temporal e espacial de epidemias, servindo como ferramenta de auxílio na tomada de decisão pelo produtor (CAPUCHO et al., 2011; BELAN, 2018).

4.5.2 Dinâmica espaço-temporal da ferrugem do cafeeiro conilon

O conhecimento de todas as características que influenciam diretamente em uma epidemia, nos aspectos temporais e espaciais, possibilita uma ampla visão da estrutura e do comportamento de patossistemas, principalmente quando combinados (BERGAMIN FILHO, 2004).

Análises temporais e espaciais de epidemias são aplicadas no campo da epidemiologia de plantas com o objetivo de analisar as interações entre patógenos, hospedeiros e o ambiente em relação à epidemia decorrente desta interação (MUSOLI et al., 2008).

O uso de modelos matemáticos e estatísticos na análise temporal e espacial de epidemias auxilia na representação do comportamento da doença em diferentes ambientes e permite a comparação entre as epidemias. Esses modelos podem ser desenvolvidos de diferentes formas, dependendo do pesquisador, dos objetivos do trabalho e dos dados disponíveis (JESUS JUNIOR et al., 2004).

O sistema de avaliação utilizado para quantificar doenças é dependente do objetivo final que se deseja alcançar. Dentre os métodos mais utilizados, destaca-se o uso de escalas descritivas, escalas diagramáticas, contagem do número e diâmetro de lesões, relação entre incidência e severidade, análise de imagens e sensoriamento remoto (VALE et al., 2004b) como métodos diretamente relacionados à compreensão da dinâmica espaço-temporal da ferrugem do cafeeiro.

Para tanto, torna-se necessário a adequada quantificação da ferrugem do cafeeiro a campo, visto que, esta é a primeira e fundamental etapa de caracterização da dinâmica espaço-temporal da doença (MORAES et al., 2018).

Considerando a pressão social por um controle de doenças mais sustentável, a adoção de sistemas de alerta está em crescente desenvolvimento em todo o mundo (ZAMBOLIM, 2016), mas carece de estudos que associem, simultaneamente, eficiência de aplicação, viabilidade de implementação, execução e manutenção por parte do produtor rural e profissional, a fim de tornar o manejo de doenças de plantas base para a agricultura de precisão (MAGAREY e ISARD, 2017; HINNAH et al., 2018)

A análise espacial da ferrugem do cafeeiro é uma importante ferramenta no estudo de epidemias. Quando associada à geoestatística, possibilita evidenciar as relações entre os componentes de um patossistema, auxiliando no manejo e na tomada de decisões a partir da integração dos mapas com distribuição espacial (ALMEIDA, RIBEIRO e SOUZA, 2016).

Estudos relacionados à análise temporal e/ou espacial de epidemias da ferrugem do cafeeiro foram realizados para as mais diversas finalidades (DAMASCENO et al., 2008; GHINI et al., 2011; BIGIRIMANA et al., 2012; BELAN et al., 2014; BOUDROT et al., 2016; VANDERMEER et al., 2017; HINNAH et al., 2018; DABA et al., 2019). No entanto, são escassas as informações relacionadas à análise espaço-temporal da ferrugem em *C. canephora* e sua correlação com o ambiente, dificultando a implementação de estratégias de amostragem e manejo da doença (MORAES et al., 2018; PARTELLI, 2018).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

O estudo foi realizado em três lavouras de cultivo comercial de cafeeiro conilon, variedade Robusta Tropical propagada por sementes, localizadas na região Sul do estado do Espírito Santo (Figura 2, Tabela 1, Figura 3), em diferentes estratos de altitude (<100m; >100m e <500m; >500m), selecionadas e caracterizadas, para fins de comparação, com base na similaridade entre a idade da lavoura (20 anos), espaçamento de plantio (3 metros entre linhas x 2 metros entre plantas) e tratos culturais.

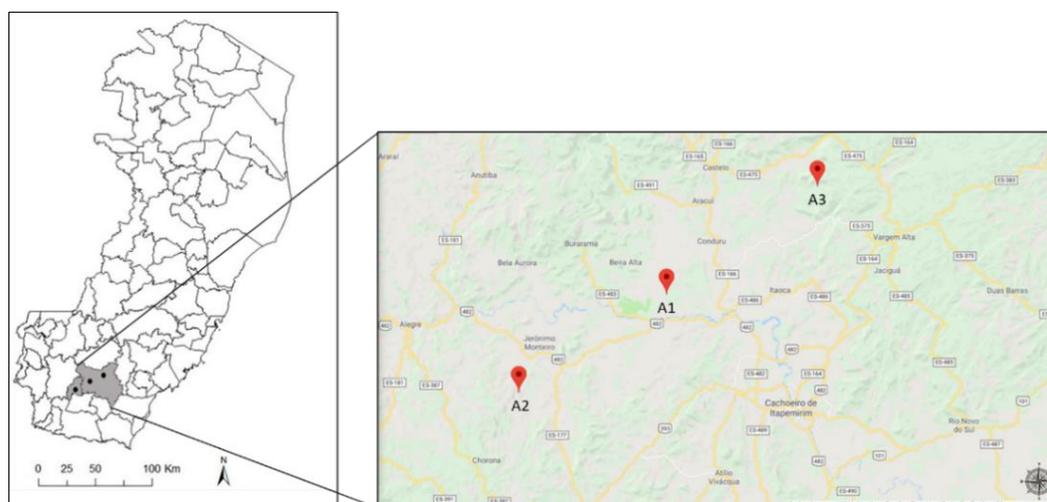


Figura 2 - Áreas de estudo localizadas na região sul do estado do Espírito Santo, Brasil. (EA1) Cachoeiro de Itapemirim/Pacotuba; (EA2) Jerônimo Monteiro/Santa Maria; (EA3) Cachoeiro de Itapemirim/Boa Vista.

Tabela 1 - Caracterização das áreas de estudo localizadas na região sul do estado do Espírito Santo, em três diferentes estratos de altitude (<100m; >100m e <500m; >500m).

| Código | Município | Localidade | Coordenadas Geográficas | | Área (hectares) | Altitude (m) | |
|--------|-----------|-------------------------|-------------------------|---------------|-----------------|--------------|-------------|
| | | | Latitude | Longitude | | | |
| Área 1 | EA1 | Cachoeiro de Itapemirim | Pacotuba | 20°44'03.2" S | 41°15'22.0" W | 0,81 | <100 |
| Área 2 | EA2 | Jerônimo Monteiro | Santa Maria | 20°50'01.1" S | 41°25'03.5" W | 0,6 | >100 e <500 |
| Área 3 | EA3 | Cachoeiro de Itapemirim | Boa Vista | 20°37'37.0" S | 41°05'13.9" W | 1,5 | >500 |

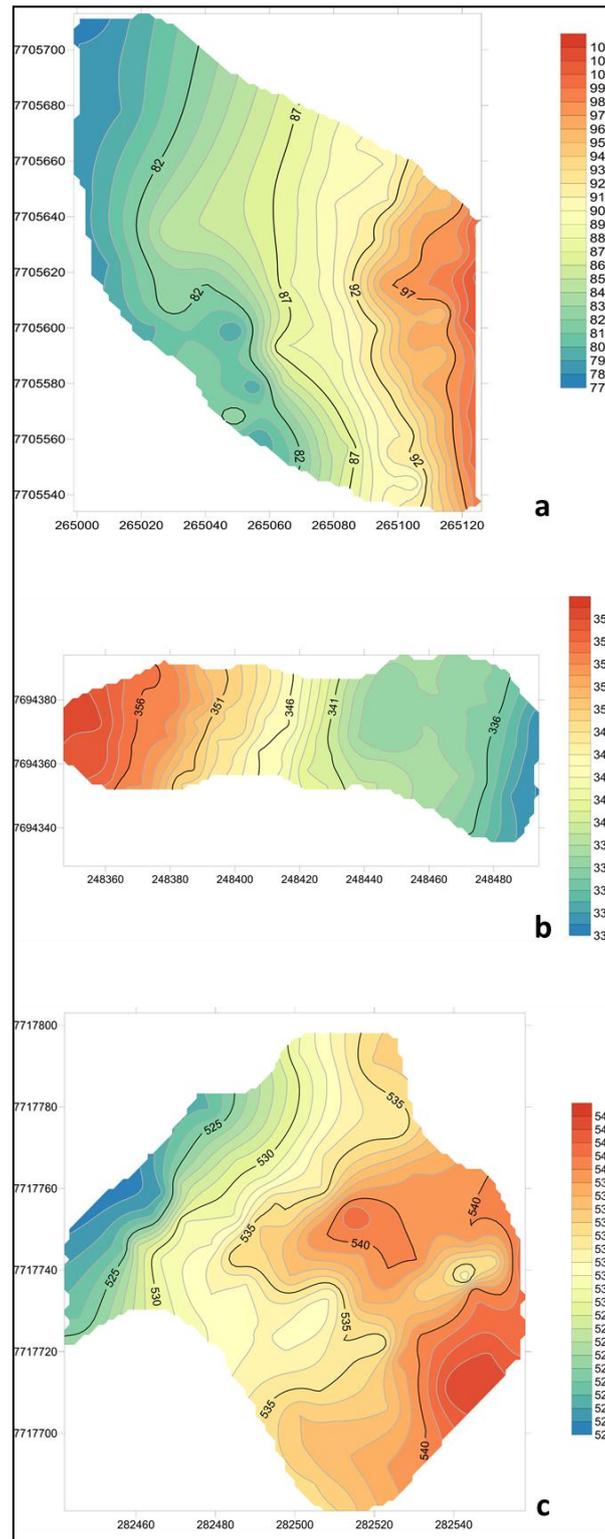


Figura 3 – Mapa de altitude das áreas de estudo localizadas na região sul do estado do Espírito Santo, Brasil. Cachoeiro de Itapemirim/Pacotuba (a); Jerônimo Monteiro/Santa Maria (b); Cachoeiro de Itapemirim/Boa Vista (c).

5.2 GRID AMOSTRAL

Em cada área de estudo foi demarcada uma malha amostral composta por 80 pontos, distanciados a cada 15 metros e distribuídos de forma a ocupar e representar toda a área. A localização geográfica de cada ponto, bem como da sua área limítrofe, foi registrada com auxílio do GPS ProMark3 MAGELLAN®. Cada ponto amostral foi composto por uma planta de *C. canephora*.

5.3 QUANTIFICAÇÃO DO NÚMERO DE FOLHAS E DA INTENSIDADE DA DOENÇA

A quantificação do número de folhas (NF), da incidência (INC) e da severidade (SEV) da ferrugem foi realizada mensalmente, de novembro de 2017 a novembro de 2018, conforme metodologia de avaliação não destrutiva proposta por Belan et al. (2013).

O valor de incidência da doença foi calculado fazendo uso da expressão ‘Incidência (%) = (nº de folhas com lesões x 100)/(nº total de folhas avaliadas)’. A severidade foi quantificada com auxílio da escala diagramática construída com fotografia em cores (EDCF), proposta por Belan (2018), e por escala diagramática de duas cores (EDDC), proposta por Capucho et al. (2011).

5.4 ANÁLISE DO PROGRESSO TEMPORAL DA DOENÇA

Para descrever o progresso temporal da doença, foram plotadas curvas de progresso da ferrugem do cafeeiro ao longo do tempo, e calculadas as variáveis Área Abaixo da Curva de Progresso da Incidência (AACPI) e da Severidade (AACPS) utilizando-se os valores de incidência e severidade da doença por planta ao longo do tempo, seguindo metodologia proposta por Shaner e Finney (1977):

$$AACPF = \sum_i^{n-1} \left(\frac{y_i + y_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i)$$

em que AACPF corresponde a Área Abaixo da Curva de Progresso da Ferrugem; n é o número de avaliações; y é a incidência da ferrugem e $(t_{i+1} - t_i)$ é o intervalo de tempo, em dias, entre duas avaliações consecutivas.

Os modelos empíricos Exponencial, Monomolecular, Logístico e de Gompertz foram ajustados aos dados de incidência, em proporção (y), e às formas linearizadas dos modelos exponencial $y = \ln(y)$, monomolecular [$y = \ln[1/(1-y)]$], logístico [$y = \ln[y/(1-y)]$] e de Gompertz [$y = -\ln[-\ln(y)]$] (JESUS JUNIOR et al., 2004), tendo o tempo como variável independente.

A escolha do modelo foi com base no maior coeficiente de determinação da regressão (R^2), menor erro padrão (EP), aleatoriedade e ausência de padrão de distribuição no gráfico de dispersão de resíduos (DR), similaridade entre as curvas dos dados reais e estimados (SER) e maior coeficiente de correlação (CC) (CAMPBELL; MADDEN, 1990; JESUS JUNIOR et al., 2004). Com base no modelo ajustado e selecionado, foi estimada a taxa de progresso da doença (r) ou o coeficiente angular da equação de regressão. As análises foram realizadas com auxílio do software R, versão 3.4.4 (R Development Core Team, 2018).

5.5 CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

Para monitoramento das condições ambientais locais, estações meteorológicas automáticas (modelo Irriplus® E5000) foram instaladas em locais estratégicos e representativos em cada área de estudo.

Foram registradas, em intervalos de uma hora, as variáveis meteorológicas temperatura máxima (TMÁX), temperatura média (TMED), temperatura mínima (TMIN), precipitação (PREC) e umidade relativa do ar (UR%), durante todo o período experimental. As variáveis período de molhamento foliar total (PMFT), período de molhamento foliar contínuo (PMFC), período de molhamento foliar diurno (PMFD), período de molhamento foliar noturno (PMFN) foram estimadas com base no número de horas totais e contínuas em que a UR% estava acima de 90% (SENTELHAS et al., 2008; ROWLANDSON et al., 2015).

De forma indireta, foram calculadas para cada mês a média das temperaturas máximas (MTMÁX), média das temperaturas médias (MTMED), média das temperaturas mínimas (MTMIN), média das máximas dos registros de umidade relativa do ar (MURMÁX), média das médias dos registros de umidade relativa do ar (MURMED), média das mínimas dos registros de umidade relativa do ar (MURMÍN), média das temperaturas médias durante o período de molhamento foliar noturno (MTMED_DPMFN) e médias dos registros de umidade relativa do ar durante o período de molhamento foliar noturno (MURMED_DPMFN).

5.6 CORRELAÇÃO ENTRE A INTENSIDADE DA FERRUGEM E AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

Dados de incidência e severidade da doença e as variáveis meteorológicas foram submetidos à análise de correlação de Pearson (5%), considerando os valores de incidência e severidade da doença como variável dependente e as médias das variáveis meteorológicas (Tabela 2) como independentes.

Tabela 2 – Variáveis meteorológicas utilizadas para as análises de correlação com as variáveis incidência e a severidade da ferrugem do cafeeiro, em três diferentes lavouras de *Coffea canephora* localizadas no sul do estado do Espírito Santo.

| Sigla | Definição da variável |
|--------------|--|
| PREC | Precipitação pluviométrica acumulada (mm). |
| MTMAX | Média das temperaturas máximas (°C). |
| MTMED | Média das temperaturas médias (°C). |
| MTMIN | Média das temperaturas mínimas (°C). |
| MURMAX | Média dos valores máximos de umidade relativa do ar (%). |
| MURMED | Média dos valores médios de umidade relativa do ar (%). |
| MURMIN | Média dos valores mínimos de umidade relativa do ar (%). |
| PDMFT | Período de Duração do Molhamento Foliar Total (horas). |
| PDMFC | Período de Duração do Molhamento Foliar Contínuo (horas). |
| PDMFD | Período de Duração do Molhamento Foliar Diurno (horas). |
| PDMFN | Período de Duração do Molhamento Foliar Noturno (horas). |
| MTMED_DPMFN | Média das temperaturas médias durante o período de molhamento foliar noturno (°C). |
| MURMED_DPMFN | Média das médias dos registros de umidade relativa do ar durante o período de molhamento foliar noturno (%). |

Para a análise das correlações, foram considerados oito diferentes períodos de tempo em virtude do período latente de *Hemileia vastatrix*: 0-10d (de zero a 10 dias antes da avaliação da intensidade da doença), 0-20d (de zero a 20 dias antes da avaliação da intensidade da doença), 0-30d (de zero a 30 dias antes da avaliação da intensidade da doença), 0-40d (de zero a 40 dias antes da avaliação da intensidade da doença), 0-50d (de zero a 50 dias antes da avaliação da intensidade da doença), 0-60d (de zero a 60 dias antes da avaliação da intensidade da doença), 15-60d (de 15 a 60 dias antes da avaliação da intensidade da doença) e 30-60d (de trinta a 60 dias antes da avaliação da intensidade da

doença). Todas as análises de correlação foram realizadas com auxílio do software Estatística, versão 10.0 (Statsoft, 2011).

5.7 FAVORABILIDADE DIÁRIA PARA A INFECÇÃO DE *Hemileia vastatrix*

A classificação da favorabilidade diária para a infecção de *Hemileia vastatrix* foi calculada a partir da adaptação da metodologia proposta por Girolamo Neto et al. (2014) (Tabela 3).

Tabela 3 – Favorabilidade diária para a infecção por *Hemileia vastatrix*, classificada a partir das condições ideais de infecção.

| Molhamento foliar* (MF) e luminosidade | Temperatura (T) (°C) | | | |
|--|-----------------------------------|---|--------------------------------------|---------------------------------|
| | Desfavorável (T<15 ou T>29) | Pouco favorável (15≤T<18 ou 27<T≤29) | Favorável (18≤T<21 ou 24<T≤27) | Muito favorável (21≤T≤24) |
| Desfavorável (MF noturno**<4 ou MF <6) | Desfavorável | Desfavorável | Desfavorável | Desfavorável |
| Pouco favorável (MF noturno ≥4 e MF ≥6) | Desfavorável | Desfavorável | Favorável | Favorável |
| Favorável (MF noturno ≥8 e MF ≥12) | Desfavorável | Favorável | Favorável | Muito favorável |
| Muito favorável (MF noturno ≥8 e MF ≥18) | Desfavorável | Favorável | Muito favorável | Muito favorável |

*Molhamento foliar (MF) calculado a partir no número de horas contínuas com umidade relativa (UR%) maior ou igual a 90%; **MF noturno calculado das 19:00h às 07:00h para as áreas EA1 e EA2 e das 19:00h às 09:00h para a área EA3; MF total foi considerado no dia epidemiológico, entre 12:00h de um dia e 12:00h do dia seguinte. Adaptado de Girolamo Neto et al. (2014).

Considerando que o molhamento foliar de uma planta a campo ocorre normalmente durante a noite, o molhamento foliar total (MFT) foi calculado entre as 12:00h de um dia e as 12:00h do dia seguinte (dia epidemiológico). A análise do período de duração do molhamento foliar foi calculada em sua extensão total (duração do período de molhamento foliar total – DPMFT) e noturna (duração do período de molhamento foliar noturno – DPMFN), considerado das 19:00h às 07:00h para as áreas EA1 e EA2. Para a

área EA3, em virtude das características do relevo local proporcionarem o maior sombreamento da lavoura, o período de molhamento foliar noturno foi considerado das 19:00h às 09:00h. Essa forma de avaliação da DPMFN foi definida a partir da análise dos índices de radiação registrados pelas estações meteorológicas instaladas em cada uma das áreas de estudo.

A temperatura média durante o período de molhamento foliar noturno também foi considerada, uma vez que para o adequado desenvolvimento do patógeno no campo há necessidade de ausência de radiação, água livre na superfície da folha e temperatura adequada. A partir das correlações descritas na Tabela 3, a favorabilidade diária para a infecção do cafeeiro por *Hemileia vastatrix* foi classificada como desfavorável, favorável ou muito favorável.

5.8 ANÁLISE DO PROGRESSO ESPACIAL DA DOENÇA

Para análise da distribuição espacial da doença, os dados de incidência, severidade EDCF e severidade EDDC foram submetidos à análise geoestatística para determinar e quantificar a dependência espacial, a partir do ajuste de funções teóricas aos modelos de variogramas experimentais, com base na pressuposição de estacionaridade da hipótese intrínseca, conforme equação proposta por Matheron (1963):

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

Em que $\gamma^*(h)$ é a semivariância estimada, $N(h)$ é o número de pares experimentais de observações $z(x_i) - z(x_i + h)$, separados por uma distância h .

Os dados experimentais foram submetidos aos ajustes de modelos de variogramas pelos métodos dos quadrados mínimos ponderados (QMP) e soma de quadrados e

resíduos (SQR). Foram testados os modelos: esférico, exponencial, gaussiano e linear com patamar. Nos ajustes dos modelos teóricos foram determinados os coeficientes efeito pepita (C_0), patamar (C_0+C), variância estrutural (C) e alcance (a). A escolha do modelo baseou-se no coeficiente de determinação (R^2) e na soma dos quadrados do resíduo (SQR). Os ajustes dos modelos foram realizados com auxílio do software GS⁺ (ROBERTSON, 2008).

6 RESULTADOS

6.1 ANÁLISE DO PROGRESSO TEMPORAL DA DOENÇA

Foram caracterizadas diferenças no padrão de distribuição temporal das variáveis incidência e da severidade da ferrugem do cafeeiro, em cafeeiro conilon cultivado nos diferentes estratos de altitude (Figura 4).

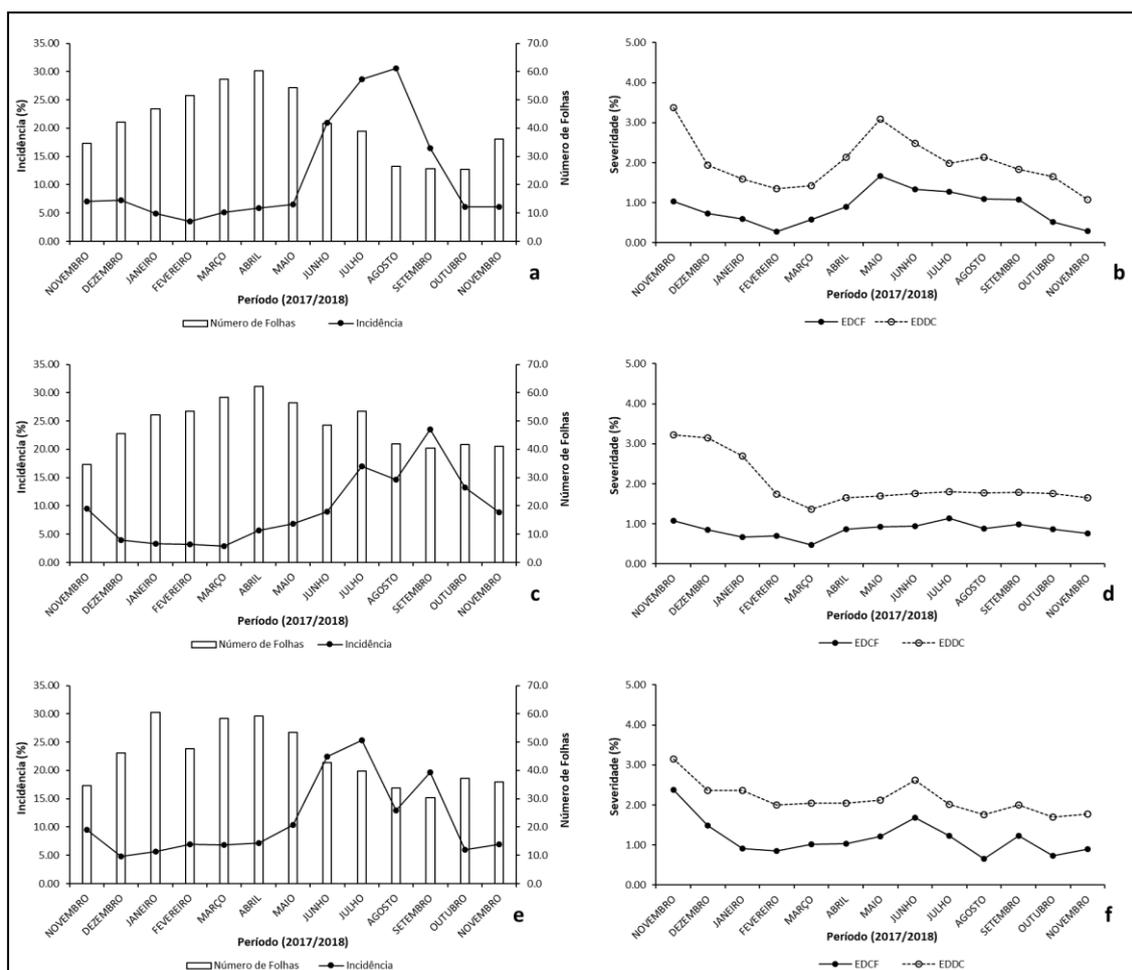


Figura 4 – Curva de progresso das variáveis incidência (INC) e severidade da ferrugem do cafeeiro conilon (*Hemileia vastatrix*) quantificada por escala diagramática construída com fotografia (EDCF) e por escala diagramática com duas cores (EDDC), de novembro de 2017 a novembro de 2018. EA1: <100m (a – b); EA2: >100m e <500m (c – d); EA3: >500m (e – f).

Na análise da curva de progresso da doença para a ferrugem do cafeeiro durante o período experimental, a máxima incidência da doença ocorreu no período de

colheita/pós-colheita do café em todas as áreas de estudo, entre os meses de julho e agosto de 2018 para as áreas EA1 (30,59%) e EA2 (23,49%), e entre junho e julho de 2018 para EA3 (25,30%) (Figuras 4a, 4c e 4e). Os valores médios de incidência durante o período de avaliação foram de 11,47%, 9,36% e 11,14%, respectivamente.

Houve decréscimo no número médio de folhas avaliadas por planta, entre os meses de maio e setembro de 2018, para as três áreas em estudo. A redução do número médio de folhas por planta acompanhou o aumento da incidência da ferrugem no cafeeiro conilon e se intensifica após a colheita, período este em que a incidência da doença reduz, também, em decorrência da desfolha.

Na análise da curva de progresso da severidade da doença, independente da metodologia de quantificação (EDCF ou EDDC) e da área de estudo, uma única epidemia da doença ocorreu nas lavouras de cafeeiro conilon durante o período de avaliação (Figuras 4b, 4d e 4f). Ressalta-se que a duração e o padrão temporal da epidemia não variaram entre as metodologias de quantificação EDCF ou EDDC, apenas entre as áreas em estudo.

Na área EA1, a epidemia da doença teve duração de quatro meses, com início em fevereiro de 2018 (0,27% EDCF e 1,35% EDDC) e término em maio de 2018, quando atinge o maior valor de severidade no respectivo ano (1,66% EDCF e 3,09% EDDC). Durante a epidemia, os valores médios de incidência, severidade EDCF e severidade EDDC foram de 5,27%, 0,85% e 2,00%, respectivamente, com Área Abaixo da Curva de Progresso da Incidência (AACPI), da Severidade EDCF (AACPS/EDCF) e da Severidade EDDC (AACPS/EDDC) iguais a 4468,65, 338,74 e 757,54.

Em EA2, a epidemia da doença teve duração maior que em EA1, com início em março de 2018 (0,48% EDCF e 1,37% EDDC) e término em julho do mesmo ano (1,14%

EDCF e 1,80% EDDC), totalizando cinco (5) meses. Os valores médios de incidência e severidade EDCF e EDDC durante a epidemia foram de 8,27%, 0,87% e 1,66%, respectivamente, com AACPI, AACPS/EDCF e AACPS/EDDC iguais a 3479,03, 322,07 e 758,84.

Na área EA3, de maior estrato de altitude, a duração da epidemia se assemelha à da área EA2 (cinco meses), com início no mês de fevereiro de 2018 (0,84% EDCF e 2,00% EDDC) e término no mês de junho de 2018 (1,68% EDCF e 2,61% EDDC). Os valores médios de incidência e severidade EDCF e EDDC durante a epidemia foram, respectivamente, de 10,78%, 1,16% e 2,17%. A área abaixo da curva de progresso da incidência, da severidade EDCF e da severidade EDDC foi de 4291,89, 437,28 e 812,97.

Na análise do desempenho dos modelos de linearização para a estimativa da taxa de infecção, os modelos diferiram entre as variáveis severidade EDCF e severidade EDDC e entre as áreas em estudo, tendo sido selecionado um mesmo modelo apenas para a variável incidência, independente da área (Tabela 4).

Tabela 4 – Índices estatísticos para diferentes modelos de linearização (Exponencial, Monomolecular, Logístico e Gompertz) na estimativa da taxa de infecção da ferrugem do cafeeiro (*H. vastatrix*), considerando os valores das epidemias em EA1, EA2 e EA3.

| MODELOS | yo | r | p_Valor | R ² | EP | DR | SER | COR |
|----------------------------------|-----------------------|---------|---------|----------------|--------|-----|-----|----------------------|
| EA1 (<100m) | | | | | | | | |
| INCIDÊNCIA | | | | | | | | |
| Exponencial | -3,4400*** | 0,0132 | *** | 0,9381 | 0,2461 | + | + | 0,0007 ^S |
| Monomolecular | -0,0169 ^{NS} | 0,0020 | NS | 0,8869 | 0,0531 | +++ | ++ | 0,9315 ^S |
| Logístico | -3,4570*** | 0,0153 | *** | 0,9356 | 0,2903 | + | + | 0,9686 ^S |
| Gompertz | -1,3110*** | 0,0064 | *** | 0,9216 | 0,1360 | ++ | +++ | 0,9729 ^S |
| SEVERIDADE EDCF | | | | | | | | |
| Exponencial | -5,8357*** | 0,0283 | * | 0,9688 | 0,1649 | + | + | 0,9853 ^S |
| Monomolecular | 0,0019 ^{NS} | 0,0001 | NS | 0,9014 | 0,0024 | +++ | ++ | 0,9496 ^{NS} |
| Logístico | -5,8338*** | 0,0210 | * | 0,9689 | 0,1661 | + | + | 0,9850 ^S |
| Gompertz | -1,7691*** | 0,0042 | * | 0,9681 | 0,0337 | ++ | + | 0,9796 ^S |
| SEVERIDADE EDDC | | | | | | | | |
| Exponencial | -4,3974*** | 0,0103 | * | 0,9292 | 0,1259 | + | + | 0,9646 ^S |
| Monomolecular | 0,0113 ^{NS} | 0,0002 | NS | 0,8819 | 0,0035 | +++ | + | 0,9389 ^{NS} |
| Logístico | -4,3861*** | 0,0105 | * | 0,9284 | 0,1293 | + | + | 0,9708 ^S |
| Gompertz | -1,4845*** | 0,0026 | * | 0,9190 | 0,0347 | ++ | + | 0,9646 ^S |
| EA2 (>100m e <500m) | | | | | | | | |
| INCIDÊNCIA | | | | | | | | |
| Exponencial | -3,3638*** | 0,0104 | *** | 0,9473 | 0,1821 | + | + | 0,9599 ^S |
| Monomolecular | 0,0120 ^{NS} | 0,0012 | ** | 0,8930 | 0,0303 | +++ | +++ | 0,9470 ^S |
| Logístico | -3,3518*** | 0,0116 | *** | 0,9507 | 0,1958 | + | + | 0,9624 ^S |
| Gompertz | -1,2486*** | 0,0045 | *** | 0,9490 | 0,0768 | ++ | ++ | 0,9641 ^S |
| SEVERIDADE EDCF | | | | | | | | |
| Exponencial | -5,1422*** | 0,0056 | NS | 0,7519 | 0,1881 | + | + | 0,8736 ^{NS} |
| Monomolecular | 0,0059** | 0,0004 | * | 0,8169 | 0,0012 | +++ | +++ | 0,9038 ^S |
| Logístico | -5,1363*** | 0,0057 | NS | 0,7524 | 0,1892 | + | + | 0,8739 ^{NS} |
| Gompertz | -1,6368*** | 0,0012 | NS | 0,7662 | 0,0370 | ++ | + | 0,8803 ^S |
| SEVERIDADE EDDC | | | | | | | | |
| Exponencial | -4,2266*** | 0,0019 | * | 0,7851 | 0,0581 | + | + | 0,8864 ^S |
| Monomolecular | 0,0147*** | 0,00003 | * | 0,8122 | 0,0009 | +++ | + | 0,9012 ^S |
| Logístico | -4,2119*** | 0,0020 | * | 0,7855 | 0,0590 | + | + | 0,8867 ^S |
| Gompertz | -1,4413*** | 0,0005 | * | 0,7915 | 0,0138 | ++ | + | 0,8901 ^S |
| EA3 (>500m) | | | | | | | | |
| INCIDÊNCIA | | | | | | | | |
| Exponencial | -3,2255*** | 0,0074 | *** | 0,8569 | 0,2540 | + | + | 0,9468 ^S |
| Monomolecular | 0,0023 ^{NS} | 0,0010 | ** | 0,7370 | 0,0526 | +++ | +++ | 0,8499 ^S |
| Logístico | -3,2231*** | 0,0084 | ** | 0,8438 | 0,3053 | + | ++ | 0,9411 ^S |
| Gompertz | -1,2301*** | 0,0035 | ** | 0,8073 | 0,1433 | ++ | +++ | 0,9205 ^S |
| SEVERIDADE EDCF | | | | | | | | |
| Exponencial | -4,7874*** | 0,0623 | *** | 0,9235 | 0,0830 | + | + | 0,9656 ^S |
| Monomolecular | 0,00796** | 0,00006 | * | 0,8870 | 0,0013 | +++ | + | 0,9418 ^S |
| Logístico | -4,7795*** | 0,0053 | ** | 0,9231 | 0,0842 | + | + | 0,9654 ^S |
| Gompertz | -1,5677*** | 0,0012 | * | 0,9169 | 0,0196 | ++ | + | 0,9611 ^S |

(...continuação)

| MODELOS | vo | r | p Valor | R ² | EP | DR | SER | COR |
|------------------------|------------|---------|---------|----------------|--------|-----|-----|----------------------|
| SEVERIDADE EDDC | | | | | | | | |
| Exponencial | -3,9499*** | 0,0019 | NS | 0,7363 | 0,0646 | + | + | 0,8665 ^{NS} |
| Monomolecular | 0,0193*** | 0,00004 | NS | 0,7199 | 0,0016 | +++ | ++ | 0,8482 ^{NS} |
| Logístico | 3,9306*** | 0,0020 | NS | 0,7359 | 0,0662 | + | ++ | 0,8662 ^{NS} |
| Gompertz | -1,3742*** | 0,0005 | NS | 0,7320 | 0,0173 | ++ | ++ | 0,8621 ^{NS} |

y₀: inóculo inicial; r: taxa de progresso da doença; R²: coeficiente de determinação da regressão; EP: erro padrão; DR: distribuição dos resíduos; SER: similaridades das curvas real comparada vs estimada; COR: correlação; ^{NS}: não significativo; ^S: significativo; ***: significativo a 0,1% de probabilidade; **: significativo a 1% de probabilidade; *: significativo a 5% de probabilidade.

Para cada área e modelo foram plotados os gráficos de distribuição dos resíduos (Apêndice A, C e E) e de similaridade entre a proporção da doença real e a estimada (Apêndice B, D e F).

Para a variável incidência, o modelo de Gompertz foi o mais adequado para representar o progresso temporal da doença nas três áreas em estudo. A taxa de progresso da incidência foi de 0,0064, 0,0045 e 0,0035, e coeficiente de determinação superior a 92%, 94% e 80%, respectivamente para EA1, EA2 e EA3.

Para as variáveis severidade EDCF e severidade EDDC, o modelo de Gompertz foi o mais adequado para representar o progresso da epidemia da doença ocorrida no EA1 (fevereiro a maio de 2018), enquanto a EA2 (epidemia de março a julho de 2018) e EA3 (epidemia de fevereiro a junho de 2018) o melhor ajuste foi representado pelo modelo Monomolecular. A taxa de infecção para as variáveis foi, respectivamente, 0,0042 e 0,0026 (EA1), 0,0004 e 0,00003 (EA2) e 0,00006 e 0,00004 (EA3).

6.2 CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

Foram observadas diferenças nos índices de temperatura, umidade relativa e acumulado de precipitação entre as áreas em estudo. De maneira geral, quanto mais alto

o estrato de altitude analisado, menor os índices médios de temperatura máxima, média e mínima registrados (Figuras 5, 6 e 7).

No EA1 (<100m), a temperatura média durante o período de avaliação dos dados meteorológicos (setembro de 2017 a novembro de 2018) foi de 24,52°C, variando de 27,75°C em janeiro de 2018 a 21,50°C em julho de 2018. Os extremos de temperatura foram registrados nos mesmos meses, com máxima de 40,17°C e mínima de 11,50°C, respectivamente (Figura 5).

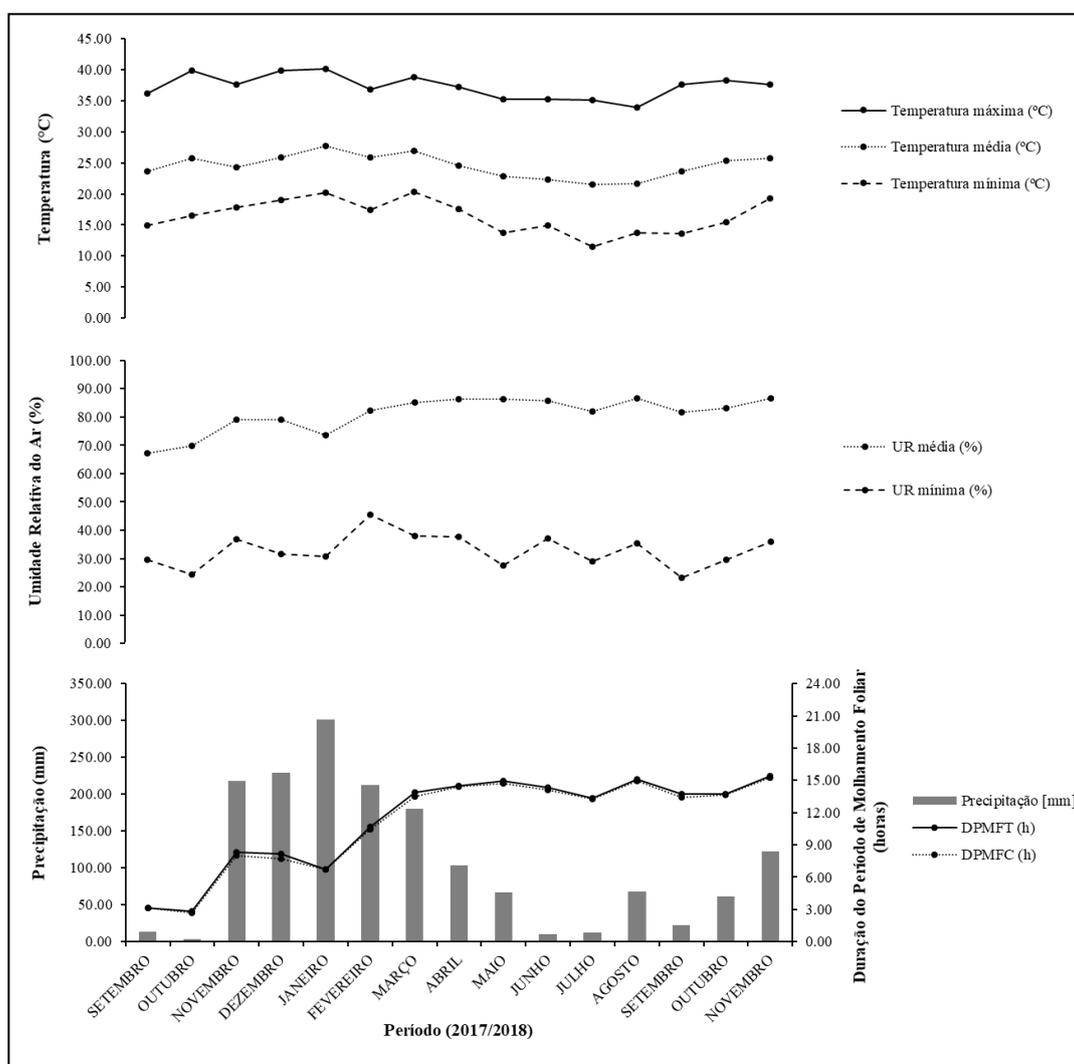


Figura 5 – Temperatura máxima, média, mínima, umidade relativa do ar média (UR média), mínima (UR mínima), precipitação, duração do período de molhamento foliar total (DPMFT) e contínuo (DPMFC). EA1 (<100m), setembro de 2017 a novembro de 2018.

As médias mensais da umidade relativa do ar tenderam a um crescimento durante o período de avaliação, com mínima de 67,30% em setembro de 2017 e máxima de 86,57% em novembro de 2018. Os índices de umidade relativa estão diretamente relacionados ao período de duração do molhamento foliar total e contínuo, pois os influencia.

O acumulado de precipitação foi de 1624,13 mm, com maior intensidade (301,00 mm) em janeiro de 2018 e menor (3,80 mm) em outubro de 2017. Durante o período de quantificação da doença e durante o período de ocorrência da epidemia no campo, o acumulado de precipitação foi de 1607,13 mm e 562,83 mm, respectivamente.

A temperatura média durante o período de registro dos dados meteorológicos em EA2 (>100m e <500m) foi de 23,87°C, variando de 25,76°C em março de 2018 a 20,97°C em maio do mesmo ano. A máxima temperatura registrada foi de 40,70°C e mínima de 7,30°C nos meses de julho e agosto de 2018, respectivamente (Figura 6).

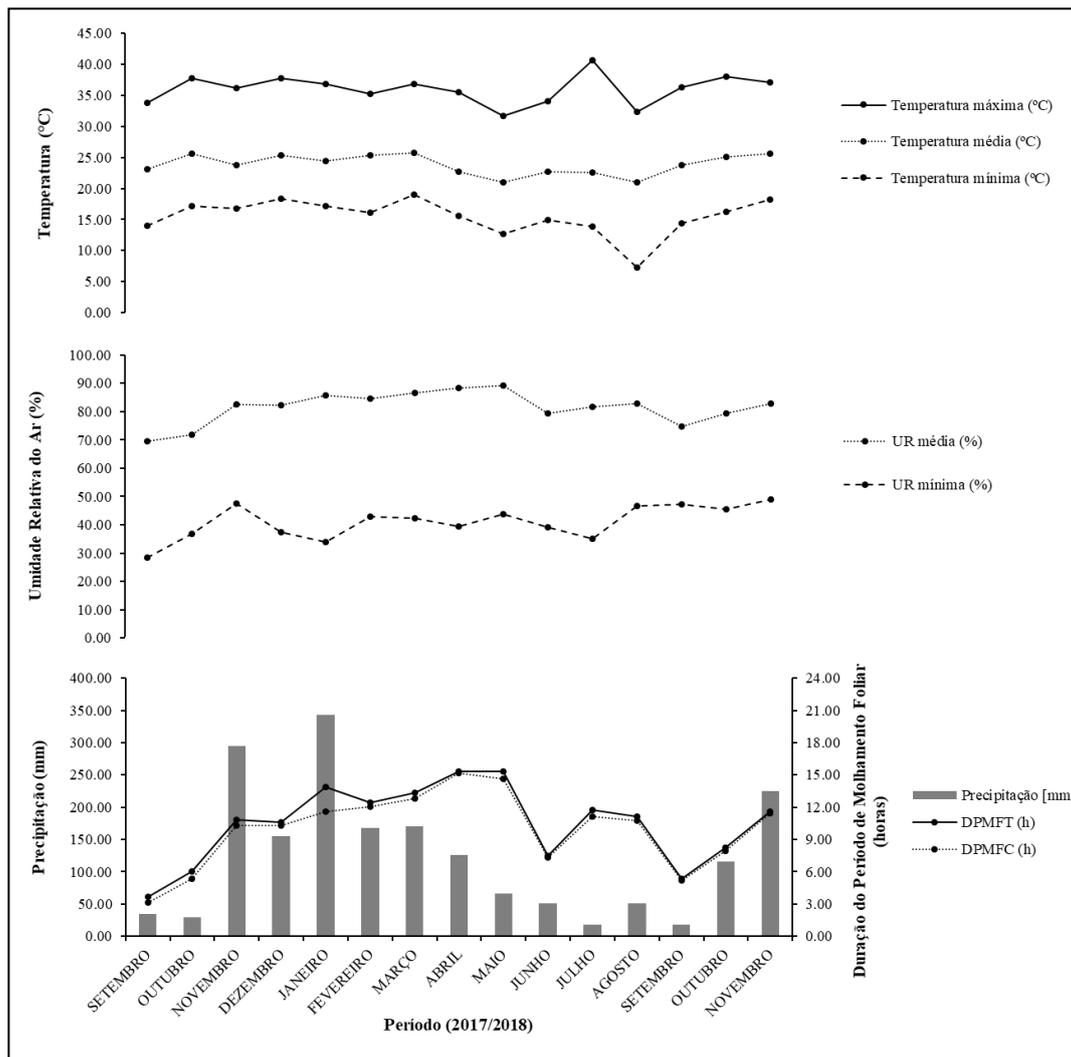


Figura 6 – Temperatura máxima, média, mínima, umidade relativa do ar média (UR média), mínima (UR mínima), precipitação, duração do período de molhamento foliar total (DPMFT) e contínuo (DPMFC). EA2 (>100m e <500m), setembro de 2017 a novembro de 2018.

De forma similar ao EA1, as médias mensais de umidade relativa do ar tenderam ao crescimento anual durante o período de avaliação, com mínima de 69,64% em setembro de 2017 e máxima de 82,96% em novembro de 2018, influenciando diretamente no comportamento no PDMFT e PDMFC.

O acumulado de precipitação foi de 1864,60 mm, com maior intensidade (343,09 mm) em janeiro de 2018 e menor (17,63 mm) em julho do mesmo ano. Durante o período de quantificação da doença e durante o período de ocorrência da epidemia no campo, o acumulado de precipitação foi de 1800,35 mm e 429,51 mm, respectivamente.

No EA3 (>500m), a temperatura média durante o período experimental foi de 21,94°C, variando de 25,12°C em janeiro de 2018, similar a EA1, a 19,38°C em maio de 2018, similar a EA2. Os extremos de temperatura foram registrados nos meses de janeiro de 2018 e setembro de 2017, com máxima de 37,21°C e mínima de 11,50°C, respectivamente (Figura 7).

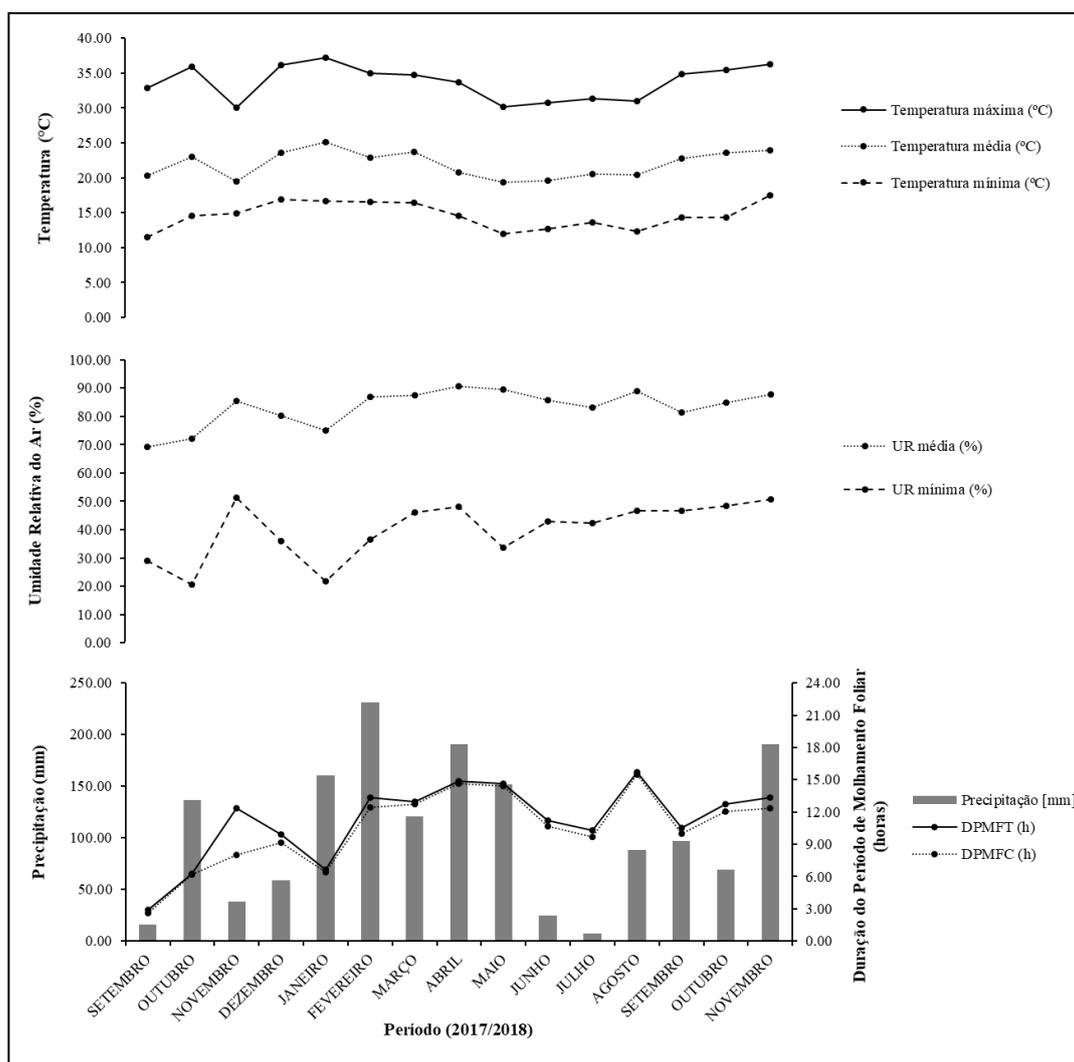


Figura 7 – Temperatura máxima, média, mínima, umidade relativa do ar média (UR média), mínima (UR mínima), precipitação, duração do período de molhamento foliar total (DPMFT) e contínuo (DPMFC). EA3 (>500m), setembro de 2017 a novembro de 2018.

As médias mensais de umidade relativa do ar assemelham-se ao padrão observado nas demais áreas, com mínima de 69,17% em setembro de 2017 e máxima de 87,77% em novembro de 2018, influenciando diretamente no comportamento do PDMFT e PDMFC.

O acumulado de precipitação foi de 1581,18 mm, com maior intensidade (230,00 mm) em fevereiro de 2018 e menor (7,32 mm) em julho de 2018. Durante o período de quantificação da doença e durante o período de ocorrência da epidemia no campo, o acumulado de precipitação foi de 1428,48 mm e 718,06 mm, respectivamente.

A caracterização das variáveis meteorológicas noturnas utilizadas para correlação entre ambiente e doença também foi realizada (Figura 8).

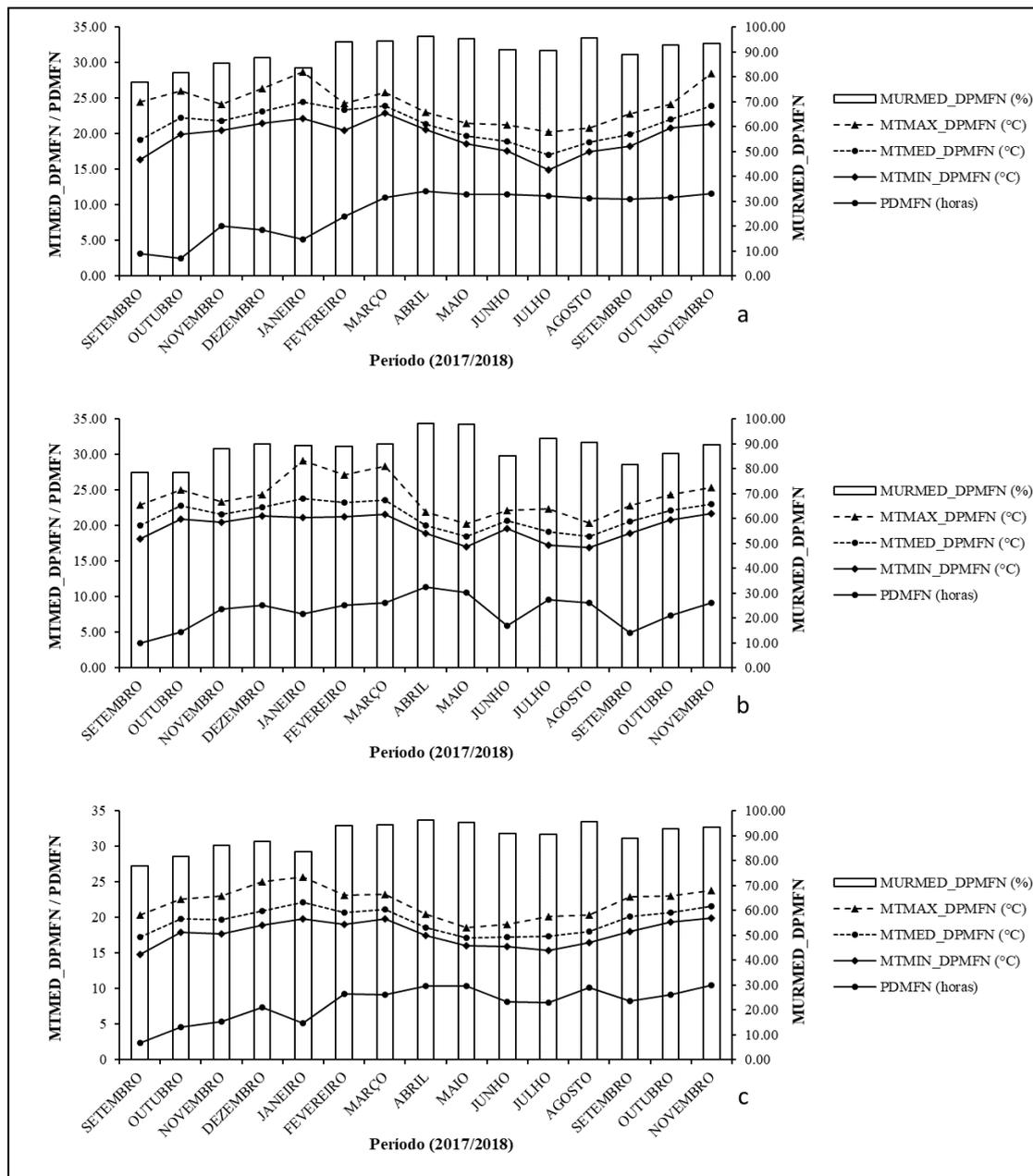


Figura 8 – Média da umidade relativa média durante o período de molhamento foliar noturno (MURMED_DPMFN), média da temperatura média durante o período de molhamento foliar noturno (MTMED_DPMFN) e período de duração do molhamento foliar noturno (PDMFN). EA1: <100m (a), EA2: >100m e <500m (b) e EA3: >500m (c). Setembro de 2017 a novembro de 2018.

A MTMED_DPMFN durante o período de avaliação dos dados meteorológicos foi de 21,30°C no EA1(<100m), variando de 17,00°C em julho de 2018 a 24,44°C em janeiro de 2018; de 21,34°C no EA2 (>100m e <500m), variando de 18,44°C em julho de

2018 a 23,83°C em janeiro de 2018; e de 19,47°C no EA3 (>500m), variando de 17,10°C em julho de 2018 a 22,12°C em janeiro de 2018.

A MURMED_DPMFN foi de 89,91%, 88,29% e 89,94%, respectivamente para EA1, EA2 e EA3, com variação de 77,78% em setembro de 2017 a 96,16% em abril de 2018 (EA1), de 78,34% em setembro de 2017 a 98,14% em abril de 2018 (EA2) e de 77,78% em setembro de 2017 a 96,22% em abril de 2018 (EA3).

O PDMFN variou de 2,45 horas em outubro de 2017 a 11,87 horas em abril de 2018, com média de 8,93 horas (EA1), de 3,50 horas em setembro de 2017 a 11,37 horas em abril de 2018, com média de 7,93 horas (EA2) e de 2,30 horas em setembro de 2017 a 10,46 horas em novembro de 2018, com média de 7,85 horas (EA3).

6.3 CORRELAÇÃO ENTRE INTENSIDADE DA FERRUGEM DO CAFEIRO E VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

Houve correlação ($p < 0,05$) das variáveis epidemiológicas (incidência, severidade EDCF e severidade EDDC) com ao menos uma das variáveis meteorológicas em estudo em todas as áreas (Tabela 5, 6 e 7).

Tabela 5 – Coeficiente de correlação de Pearson ($p < 0,05$) entre as variáveis epidemiológicas da ferrugem do cafeeiro conilon (*H. vastatrix*) e as variáveis meteorológicas para a área de Cachoeiro de Itapemirim/Pacotuba (estrato de altitude <100m – EA1).

| EA1 (<100M) – CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM/PACOTUBA | | | | | | | | |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Período de dias avaliados antes da quantificação da doença à campo | | | | | | | | |
| | 0–10d | 0–20d | 0–30d | 0–40d | 0–50d | 0–60d | 15–45d | 30–60d |
| PREC | | | | | | | | |
| Incidência | -0.591* | -0.524 ^{ns} | -0.486 ^{ns} | -0.512 ^{ns} | -0.583* | -0.586* | -0.492 ^{ns} | -0.461 ^{ns} |
| Severidade EDCF | -0.081 ^{ns} | -0.491 ^{ns} | -0.602* | -0.557* | -0.538 ^{ns} | -0.554* | -0.648* | -0.305 ^{ns} |
| Severidade EDDC | 0.258 ^{ns} | -0.354 ^{ns} | -0.438 ^{ns} | -0.408 ^{ns} | -0.435 ^{ns} | -0.475 ^{ns} | -0.549 ^{ns} | -0.338 ^{ns} |
| MTMAX | | | | | | | | |
| Incidência | -0.411 ^{ns} | -0.611* | -0.684* | -0.727* | -0.791* | -0.789* | -0.750* | -0.551 ^{ns} |
| Severidade EDCF | -0.608* | -0.615* | -0.597* | -0.655* | -0.655* | -0.597* | -0.632* | -0.369 ^{ns} |
| Severidade EDDC | -0.729* | -0.496 ^{ns} | -0.430 ^{ns} | -0.401 ^{ns} | -0.401 ^{ns} | -0.252 ^{ns} | -0.219 ^{ns} | -0.021 ^{ns} |
| MTMED | | | | | | | | |
| Incidência | -0.717* | -0.850* | -0.875* | -0.890* | -0.913* | -0.889* | -0.896* | -0.784* |
| Severidade EDCF | -0.746* | -0.749* | -0.709* | -0.701* | -0.666* | -0.613* | -0.653* | -0.468 ^{ns} |
| Severidade EDDC | -0.634* | -0.441 ^{ns} | -0.395 ^{ns} | -0.361 ^{ns} | -0.326 ^{ns} | -0.304 ^{ns} | -0.268 ^{ns} | -0.194 ^{ns} |
| MTMIN | | | | | | | | |
| Incidência | -0.885* | -0.894* | -0.907* | -0.924* | -0.905* | -0.858* | -0.909* | -0.800* |
| Severidade EDCF | -0.700* | -0.704* | -0.692* | -0.639* | -0.579* | -0.520 ^{ns} | -0.608* | -0.385 ^{ns} |
| Severidade EDDC | -0.412 ^{ns} | -0.347 ^{ns} | -0.361 ^{ns} | -0.320 ^{ns} | -0.307 ^{ns} | -0.309 ^{ns} | -0.312 ^{ns} | -0.235 ^{ns} |
| MURMAX | | | | | | | | |
| Incidência | 0.393 ^{ns} | 0.375 ^{ns} | 0.411 ^{ns} | 0.437 ^{ns} | 0.434 ^{ns} | 0.454 ^{ns} | 0.447 ^{ns} | 0.477 ^{ns} |
| Severidade EDCF | 0.253 ^{ns} | 0.214 ^{ns} | 0.258 ^{ns} | 0.306 ^{ns} | 0.296 ^{ns} | 0.319 ^{ns} | 0.317 ^{ns} | 0.362 ^{ns} |
| Severidade EDDC | -0.252 ^{ns} | -0.308 ^{ns} | -0.242 ^{ns} | -0.175 ^{ns} | -0.193 ^{ns} | -0.155 ^{ns} | -0.155 ^{ns} | -0.072 ^{ns} |

| | | (...continuação) | | | | | | | |
|------------------------|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | 0-10d | 0-20d | 0-30d | 0-40d | 0-50d | 0-60d | 15-45d | 30-60d |
| | | MURMED | | | | | | | |
| Incidência | | 0.160 ^{ns} | 0.203 ^{ns} | 0.239 ^{ns} | 0.305 ^{ns} | 0.330 ^{ns} | 0.386 ^{ns} | 0.397 ^{ns} | 0.329 ^{ns} |
| Severidade EDCF | | 0.321 ^{ns} | 0.115 ^{ns} | 0.112 ^{ns} | 0.267 ^{ns} | 0.294 ^{ns} | 0.337 ^{ns} | 0.335 ^{ns} | 0.395 ^{ns} |
| Severidade EDDC | | 0.088 ^{ns} | -0.280 ^{ns} | -0.267 ^{ns} | -0.174 ^{ns} | -0.214 ^{ns} | -0.201 ^{ns} | -0.182 ^{ns} | -0.122 ^{ns} |
| | | MURMIN | | | | | | | |
| Incidência | | -0.490 ^{ns} | -0.379 ^{ns} | -0.382 ^{ns} | -0.442 ^{ns} | -0.414 ^{ns} | -0.338 ^{ns} | -0.232 ^{ns} | -0.337 ^{ns} |
| Severidade EDCF | | -0.193 ^{ns} | -0.369 ^{ns} | -0.398 ^{ns} | -0.274 ^{ns} | -0.223 ^{ns} | -0.154 ^{ns} | -0.074 ^{ns} | -0.003 ^{ns} |
| Severidade EDDC | | 0.161 ^{ns} | -0.228 ^{ns} | -0.265 ^{ns} | -0.231 ^{ns} | -0.313 ^{ns} | -0.347 ^{ns} | -0.287 ^{ns} | -0.221 ^{ns} |
| | | PDMFT | | | | | | | |
| Incidência | | 0.405 ^{ns} | 0.344 ^{ns} | 0.374 ^{ns} | 0.421 ^{ns} | 0.414 ^{ns} | 0.436 ^{ns} | 0.445 ^{ns} | 0.440 ^{ns} |
| Severidade EDCF | | 0.372 ^{ns} | 0.182 ^{ns} | 0.206 ^{ns} | 0.295 ^{ns} | 0.287 ^{ns} | 0.303 ^{ns} | 0.310 ^{ns} | 0.354 ^{ns} |
| Severidade EDDC | | -0.071 ^{ns} | -0.316 ^{ns} | -0.266 ^{ns} | -0.188 ^{ns} | -0.223 ^{ns} | -0.207 ^{ns} | -0.190 ^{ns} | -0.142 ^{ns} |
| | | PDMFC | | | | | | | |
| Incidência | | 0.423 ^{ns} | 0.351 ^{ns} | 0.369 ^{ns} | 0.418 ^{ns} | 0.413 ^{ns} | 0.431 ^{ns} | 0.437 ^{ns} | 0.439 ^{ns} |
| Severidade EDCF | | 0.340 ^{ns} | 0.169 ^{ns} | 0.187 ^{ns} | 0.280 ^{ns} | 0.282 ^{ns} | 0.295 ^{ns} | 0.299 ^{ns} | 0.354 ^{ns} |
| Severidade EDDC | | -0.116 ^{ns} | -0.336 ^{ns} | -0.287 ^{ns} | -0.203 ^{ns} | -0.226 ^{ns} | -0.214 ^{ns} | -0.197 ^{ns} | -0.146 ^{ns} |
| | | PDMFD | | | | | | | |
| Incidência | | 0.244 ^{ns} | 0.273 ^{ns} | 0.308 ^{ns} | 0.358 ^{ns} | 0.343 ^{ns} | 0.359 ^{ns} | 0.449 ^{ns} | 0.215 ^{ns} |
| Severidade EDCF | | 0.342 ^{ns} | 0.052 ^{ns} | 0.001 ^{ns} | 0.138 ^{ns} | 0.141 ^{ns} | 0.159 ^{ns} | 0.211 ^{ns} | 0.222 ^{ns} |
| Severidade EDDC | | 0.053 ^{ns} | -0.304 ^{ns} | -0.334 ^{ns} | -0.283 ^{ns} | -0.341 ^{ns} | -0.343 ^{ns} | -0.253 ^{ns} | -0.221 ^{ns} |
| | | PDMFN | | | | | | | |
| Incidência | | 0.430 ^{ns} | 0.347 ^{ns} | 0.376 ^{ns} | 0.429 ^{ns} | 0.432 ^{ns} | 0.450 ^{ns} | 0.436 ^{ns} | 0.488 ^{ns} |
| Severidade EDCF | | 0.352 ^{ns} | 0.217 ^{ns} | 0.260 ^{ns} | 0.332 ^{ns} | 0.323 ^{ns} | 0.337 ^{ns} | 0.332 ^{ns} | 0.378 ^{ns} |
| Severidade EDDC | | -0.110 ^{ns} | -0.298 ^{ns} | -0.231 ^{ns} | -0.158 ^{ns} | -0.189 ^{ns} | -0.167 ^{ns} | -0.169 ^{ns} | -0.110 ^{ns} |
| | | MTMED_DPMFN | | | | | | | |
| Incidência | | -0.819 [*] | -0.868 [*] | -0.891 [*] | -0.912 [*] | -0.910 [*] | -0.882 [*] | -0.909 [*] | -0.824 [*] |
| Severidade EDCF | | -0.772 [*] | -0.774 [*] | -0.747 [*] | -0.712 [*] | -0.665 [*] | -0.611 [*] | -0.663 [*] | -0.462 ^{ns} |
| Severidade EDDC | | -0.532 ^{ns} | -0.407 ^{ns} | -0.392 ^{ns} | -0.357 ^{ns} | -0.342 ^{ns} | -0.336 ^{ns} | -0.307 ^{ns} | -0.247 ^{ns} |
| | | MURMED_DPMFN | | | | | | | |
| Incidência | | 0.477 ^{ns} | 0.403 ^{ns} | 0.126 ^{ns} | 0.482 ^{ns} | 0.479 ^{ns} | 0.502 ^{ns} | 0.251 ^{ns} | 0.321 ^{ns} |
| Severidade EDCF | | 0.398 ^{ns} | 0.269 ^{ns} | 0.037 ^{ns} | 0.366 ^{ns} | 0.366 ^{ns} | 0.385 ^{ns} | 0.293 ^{ns} | 0.436 ^{ns} |
| Severidade EDDC | | -0.085 ^{ns} | -0.266 ^{ns} | -0.298 ^{ns} | -0.137 ^{ns} | -0.137 ^{ns} | -0.137 ^{ns} | -0.158 ^{ns} | -0.055 ^{ns} |

EDCF: escala diagramática construída com fotografia em cores; EDDC: escala diagramática de duas cores; PREC: precipitação pluviométrica acumulada (mm); MTMAX: média das temperaturas máximas (°C); MTMED: média das temperaturas médias (°C); MTMIN: média das temperaturas mínimas (°C); MURMAX: média dos valores máximos de umidade relativa do ar (%); MURMED: média dos valores médios de umidade relativa do ar (%); MURMIN: média dos valores mínimos de umidade relativa do ar (%); PDMFT: período de duração do molhamento foliar total (horas); PDMFC: período de duração do molhamento foliar contínuo (horas); PDMFD:

período de duração do molhamento foliar diurno (horas); PDMFN: período de duração do molhamento foliar noturno (horas); MTMED_DPMFN: média das temperaturas médias durante o período de molhamento foliar noturno (°C); MURMED_DPMFN: média das médias dos registros de umidade relativa do ar durante o período de molhamento foliar noturno (%).

No EA1 (<100m), não houve correlação significativa entre as variáveis epidemiológicas e as variáveis ambientais MURMAX, MURMED, MURMIN, PDMFT, PDMFC, PDMFD, PDMFN e MURDPMFN (Tabela 5).

Para a variável incidência, as variáveis meteorológicas de MTMED, MTMIN e MTDPMFN tiveram correlação significativa para todos os períodos avaliados. Entretanto, os maiores valores de correlações ocorreram de 0-50d (MTMED; $r = -0.913$) e de 0-40d para MTMIN ($r = -0.924$) e para MTDPMFN ($r = -0.912$). Correlações significativas também ocorreram para PREC e MTMAX, principalmente para o período de 0-50d ($r = -0.583$ e $r = -0.586$) e 0-60d ($r = -0.586$ e $r = -0.789$, respectivamente).

Um maior número de correlações entre as variáveis epidemiológicas e as meteorológicas foi estabelecido com o uso da escala de quantificação de severidade EDCF. Para esta variável, as principais correlações significativas ocorreram para PREC ($r = -0.649$; 15-45d), MTMAX ($r = -0.729$; 0-10d), MTMED ($r = -0.749$; 0-20d), MTMIN ($r = -0.704$; 0-20d) e MTDPMFN ($r = -0.774$; 0-20d), com destaque para as condições MTMAX, MTMED, MTMIN e MTDPMFN, as quais ocorreram para quase todos os períodos de dias avaliados.

O menor número de correlações significativas entre as variáveis epidemiológicas e as condições do ambiente ocorreu para a severidade EDDC. MTMAX e MTMED foram significativos para o período de avaliação 0-10d, com correlação negativa de -0.729 e -0.634 , respectivamente.

No EA2 (>100m e <500), não houve correlação significativa entre as variáveis epidemiológicas e as variáveis meteorológicas PDMFN e MURDPMFN (Tabela 6).

Tabela 6 – Coeficiente de correlação de Pearson ($p < 0,05$) entre as variáveis epidemiológicas da ferrugem do cafeeiro conilon e as variáveis meteorológicas para a área de Jerônimo Monteiro/Santa Maria (estrato de altitude $>100\text{m}$ e $<500\text{m}$ – EA2).

| EA2 ($>100\text{m}$ e $<500\text{m}$) – JERÔNIMO MONTEIRO/SANTA MARIA | | | | | | | | |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Período de dias avaliados antes da quantificação da doença a campo | | | | | | | | |
| | 0–10d | 0–20d | 0–30d | 0–40d | 0–50d | 0–60d | 15–45d | 30–60d |
| PREC | | | | | | | | |
| Incidência | -0.420 ^{ns} | -0.574* | -0.639* | -0.637* | -0.810* | -0.839* | -0.617* | -0.734* |
| Severidade EDCF | -0.340 ^{ns} | -0.511 ^{ns} | -0.560* | -0.512 ^{ns} | -0.702* | -0.837* | -0.549 ^{ns} | -0.795* |
| Severidade EDDC | 0.351 ^{ns} | 0.305 ^{ns} | 0.207 ^{ns} | 0.163 ^{ns} | 0.165 ^{ns} | 0.065 ^{ns} | -0.035 ^{ns} | -0.018 ^{ns} |
| MTMAX | | | | | | | | |
| Incidência | 0.058 ^{ns} | -0.197 ^{ns} | -0.274 ^{ns} | -0.325 ^{ns} | -0.443 ^{ns} | -0.580* | -0.464 ^{ns} | -0.681* |
| Severidade EDCF | -0.535 ^{ns} | -0.536 ^{ns} | -0.530 ^{ns} | -0.546 ^{ns} | -0.535 ^{ns} | -0.584* | -0.491 ^{ns} | -0.481 ^{ns} |
| Severidade EDDC | -0.234 ^{ns} | -0.023 ^{ns} | 0.096 ^{ns} | 0.024 ^{ns} | 0.055 ^{ns} | 0.031 ^{ns} | 0.142 ^{ns} | -0.036 ^{ns} |
| MTMED | | | | | | | | |
| Incidência | -0.030 ^{ns} | -0.262 ^{ns} | -0.346 ^{ns} | -0.408 ^{ns} | -0.529 ^{ns} | -0.654* | -0.596* | -0.67* |
| Severidade EDCF | -0.490 ^{ns} | -0.527 ^{ns} | -0.517 ^{ns} | -0.595* | -0.607* | -0.642* | -0.592* | -0.520 ^{ns} |
| Severidade EDDC | -0.080 ^{ns} | 0.078 ^{ns} | 0.216 ^{ns} | 0.162 ^{ns} | 0.164 ^{ns} | 0.153 ^{ns} | 0.226 ^{ns} | 0.0006 ^{ns} |
| MTMIN | | | | | | | | |
| Incidência | -0.313 ^{ns} | -0.469 ^{ns} | -0.528 ^{ns} | -0.595* | -0.690* | -0.769* | -0.761* | -0.819* |
| Severidade EDCF | -0.629* | -0.646* | -0.629* | -0.652* | -0.652* | -0.652* | -0.638* | -0.608* |
| Severidade EDDC | 0.073 ^{ns} | 0.164 ^{ns} | 0.250 ^{ns} | 0.240 ^{ns} | 0.211 ^{ns} | 0.206 ^{ns} | 0.236 ^{ns} | 0.104 ^{ns} |
| MURMAX | | | | | | | | |
| Incidência | -0.707* | -0.678* | -0.721* | -0.659* | -0.687* | -0.579* | -0.604* | -0.382 ^{ns} |
| Severidade EDCF | -0.309 ^{ns} | -0.655* | -0.650* | -0.633* | -0.671* | -0.637* | -0.741* | -0.524 ^{ns} |
| Severidade EDDC | -0.018 ^{ns} | -0.232 ^{ns} | -0.302 ^{ns} | -0.401 ^{ns} | -0.386 ^{ns} | -0.446 ^{ns} | -0.359 ^{ns} | -0.478 ^{ns} |
| MURMED | | | | | | | | |
| Incidência | -0.763* | -0.657* | -0.581* | -0.565* | -0.567* | -0.447 ^{ns} | -0.429 ^{ns} | -0.207 ^{ns} |
| Severidade EDCF | -0.175 ^{ns} | -0.353 ^{ns} | -0.352 ^{ns} | -0.292 ^{ns} | -0.402 ^{ns} | -0.392 ^{ns} | -0.354 ^{ns} | -0.276 ^{ns} |
| Severidade EDDC | 0.228 ^{ns} | -0.105 ^{ns} | -0.352 ^{ns} | -0.308 ^{ns} | -0.381 ^{ns} | -0.456 ^{ns} | -0.462 ^{ns} | -0.449 ^{ns} |
| MURMIN | | | | | | | | |
| Incidência | -0.657* | -0.619* | -0.631* | -0.689* | -0.799* | -0.610* | -0.599* | -0.405 ^{ns} |
| Severidade EDCF | -0.259 ^{ns} | -0.407 ^{ns} | -0.514 ^{ns} | -0.450 ^{ns} | -0.629* | -0.591* | -0.481 ^{ns} | -0.498 ^{ns} |
| Severidade EDDC | 0.477 ^{ns} | 0.171 ^{ns} | 0.023 ^{ns} | 0.127 ^{ns} | 0.026 ^{ns} | -0.098 ^{ns} | -0.161 ^{ns} | -0.077 ^{ns} |

| | (continuação) | | | | | | | |
|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | 0-10d | 0-20d | 0-30d | 0-40d | 0-50d | 0-60d | 15-45d | 30-60d |
| PDMFT | | | | | | | | |
| Incidência | -0.649* | -0.630* | -0.579* | -0.547 ^{ns} | -0.548 ^{ns} | -0.483 ^{ns} | -0.413 ^{ns} | -0.192 ^{ns} |
| Severidade EDCF | -0.096 ^{ns} | -0.266 ^{ns} | -0.236 ^{ns} | -0.185 ^{ns} | -0.322 ^{ns} | -0.354 ^{ns} | -0.259 ^{ns} | -0.209 ^{ns} |
| Severidade EDDC | 0.152 ^{ns} | -0.090 ^{ns} | -0.294 ^{ns} | -0.259 ^{ns} | -0.345 ^{ns} | -0.400 ^{ns} | -0.374 ^{ns} | -0.439 ^{ns} |
| PDFMC | | | | | | | | |
| Incidência | -0.578* | -0.586* | -0.537 ^{ns} | -0.500 ^{ns} | -0.502 ^{ns} | -0.430 ^{ns} | -0.378 ^{ns} | -0.139 ^{ns} |
| Severidade EDCF | -0.013 ^{ns} | -0.224 ^{ns} | -0.211 ^{ns} | -0.157 ^{ns} | -0.288 ^{ns} | -0.309 ^{ns} | -0.243 ^{ns} | -0.178 ^{ns} |
| Severidade EDDC | 0.096 ^{ns} | -0.155 ^{ns} | -0.341 ^{ns} | -0.304 ^{ns} | -0.380 ^{ns} | -0.435 ^{ns} | -0.411 ^{ns} | -0.453 ^{ns} |
| PDMFD | | | | | | | | |
| Incidência | -0.724* | -0.714* | -0.803* | -0.751* | -0.699* | -0.642* | -0.538 ^{ns} | -0.443 ^{ns} |
| Severidade EDCF | -0.413 ^{ns} | -0.495 ^{ns} | -0.620* | -0.430 ^{ns} | -0.477 ^{ns} | -0.483 ^{ns} | -0.325 ^{ns} | -0.338 ^{ns} |
| Severidade EDDC | 0.137 ^{ns} | -0.009 ^{ns} | -0.149 ^{ns} | -0.142 ^{ns} | -0.239 ^{ns} | -0.297 ^{ns} | -0.325 ^{ns} | -0.371 ^{ns} |
| PDMFN | | | | | | | | |
| Incidência | -0.275 ^{ns} | -0.384 ^{ns} | -0.350 ^{ns} | -0.321 ^{ns} | -0.350 ^{ns} | -0.296 ^{ns} | -0.253 ^{ns} | -0.040 ^{ns} |
| Severidade EDCF | 0.254 ^{ns} | 0.012 ^{ns} | -0.010 ^{ns} | 0.016 ^{ns} | -0.151 ^{ns} | -0.206 ^{ns} | -0.168 ^{ns} | -0.066 ^{ns} |
| Severidade EDDC | 0.096 ^{ns} | -0.140 ^{ns} | -0.338 ^{ns} | -0.302 ^{ns} | -0.385 ^{ns} | -0.434 ^{ns} | -0.352 ^{ns} | -0.401 ^{ns} |
| MTMED_DPMFN | | | | | | | | |
| Incidência | -0.342 ^{ns} | -0.493 ^{ns} | -0.567* | -0.589* | -0.687* | -0.757* | -0.751* | -0.786* |
| Severidade EDCF | -0.676* | -0.703* | -0.673* | -0.717* | -0.717* | -0.717* | -0.701* | -0.622* |
| Severidade EDDC | 0.056 ^{ns} | 0.171 ^{ns} | 0.242 ^{ns} | 0.191 ^{ns} | 0.157 ^{ns} | 0.139 ^{ns} | 0.168 ^{ns} | -0.017 ^{ns} |
| MURMED_DPMFN | | | | | | | | |
| Incidência | -0.247 ^{ns} | -0.286 ^{ns} | -0.297 ^{ns} | -0.285 ^{ns} | -0.254 ^{ns} | -0.213 ^{ns} | -0.218 ^{ns} | 0.055 ^{ns} |
| Severidade EDCF | 0.330 ^{ns} | 0.114 ^{ns} | -0.042 ^{ns} | 0.076 ^{ns} | -0.057 ^{ns} | -0.104 ^{ns} | -0.096 ^{ns} | -0.023 ^{ns} |
| Severidade EDDC | 0.088 ^{ns} | -0.170 ^{ns} | -0.309 ^{ns} | -0.396 ^{ns} | -0.330 ^{ns} | -0.460 ^{ns} | -0.425 ^{ns} | -0.455 ^{ns} |

EDCF: escala diagramática construída com fotografia em cores; EDDC: escala diagramática de duas cores; PREC: precipitação pluviométrica acumulada (mm); MTMAX: média das temperaturas máximas (°C); MTMED: média das temperaturas médias (°C); MTMIN: média das temperaturas mínimas (°C); MURMAX: média dos valores máximos de umidade relativa do ar (%); MURMED: média dos valores médios de umidade relativa do ar (%); MURMIN: média dos valores mínimos de umidade relativa do ar (%); PDMFT: período de duração do molhamento foliar total (horas); PDMFC: período de duração do molhamento foliar contínuo (horas); PDMFD: período de duração do molhamento foliar diurno (horas); PDMFN: período de duração do molhamento foliar noturno (horas); MTMED_DPMFN: média das temperaturas médias durante o período de molhamento foliar noturno (°C); MURMED_DPMFN: média das médias dos registros de umidade relativa do ar durante o período de molhamento foliar noturno (%).

Um maior número de correlações foi estabelecido entre a variável incidência e as variáveis meteorológicas, com destaque para PREC, URMAX e URMED, as quais ocorreram para quase todos os períodos de dias avaliados.

Para a variável severidade EDCF, destacam-se as correlações MTMIN (correlação mínima superior a 60%) e MTDPMFN (correlação mínima superior a 62%), as quais foram significativas independente do período de dias avaliados. Com exceção do período 30-60d, a variável MURMAX foi significativa para todos os demais períodos, com correlação mínima superior a 60%.

Não houve correlação da variável severidade EDDC com nenhuma das condições meteorológicas analisadas, independente do período de dias avaliados antes da quantificação da doença no campo.

Para EA3 (>500m), não houve correlação significativa entre as variáveis epidemiológicas e as variáveis meteorológicas PREC, MURMED, MURMIN, PDMFT, PDMFC e PDMFD (Tabela 7).

Tabela 7 – Coeficiente de correlação de Pearson ($p < 0,05$) entre as variáveis epidemiológicas da ferrugem do cafeeiro conilon e as variáveis meteorológicas para a área de Cachoeiro de Itapemirim/Boa Vista (estrato de altitude >500m).

| EA3 (>500m) – CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM/BOA VISTA | | | | | | | | |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Período de dias avaliados antes da quantificação da doença a campo | | | | | | | | |
| | 0–10d | 0–20d | 0–30d | 0–40d | 0–50d | 0–60d | 15–45d | 30–60d |
| PREC | | | | | | | | |
| Incidência | -0.173 ^{ns} | -0.025 ^{ns} | -0.070 ^{ns} | -0.070 ^{ns} | -0.193 ^{ns} | -0.174 ^{ns} | -0.039 ^{ns} | -0.207 ^{ns} |
| Severidade EDCF | -0.224 ^{ns} | -0.186 ^{ns} | -0.263 ^{ns} | -0.225 ^{ns} | -0.203 ^{ns} | -0.128 ^{ns} | -0.179 ^{ns} | -0.138 ^{ns} |
| Severidade EDDC | 0.418 ^{ns} | 0.005 ^{ns} | 0.090 ^{ns} | 0.065 ^{ns} | 0.025 ^{ns} | 0.001 ^{ns} | -0.053 ^{ns} | -0.136 ^{ns} |
| MTMAX | | | | | | | | |
| Incidência | -0.440 ^{ns} | -0.492 ^{ns} | -0.451 ^{ns} | -0.465 ^{ns} | -0.570* | -0.651* | -0.477 ^{ns} | -0.597* |
| Severidade EDCF | -0.385 ^{ns} | -0.573* | -0.551 ^{ns} | -0.575* | -0.616* | -0.576* | -0.633* | -0.419 ^{ns} |
| Severidade EDDC | -0.467 ^{ns} | -0.230 ^{ns} | -0.124 ^{ns} | -0.108 ^{ns} | -0.124 ^{ns} | -0.147 ^{ns} | -0.033 ^{ns} | -0.162 ^{ns} |
| MTMED | | | | | | | | |
| Incidência | -0.430 ^{ns} | -0.542 ^{ns} | -0.535 ^{ns} | -0.579* | -0.667* | -0.715* | -0.644* | -0.643* |
| Severidade EDCF | -0.359 ^{ns} | -0.532 ^{ns} | -0.527 ^{ns} | -0.596* | -0.596* | -0.549 ^{ns} | -0.653* | -0.475 ^{ns} |
| Severidade EDDC | -0.399 ^{ns} | -0.233 ^{ns} | -0.166 ^{ns} | -0.193 ^{ns} | -0.217 ^{ns} | -0.239 ^{ns} | -0.145 ^{ns} | -0.332 ^{ns} |

| | (continuação) | | | | | | | |
|------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | 0-10d | 0-20d | 0-30d | 0-40d | 0-50d | 0-60d | 15-45d | 30-60d |
| MTMIN | | | | | | | | |
| Incidência | -0.603* | -0.708* | -0.712* | -0.731* | -0.758* | -0.720* | -0.746* | -0.650* |
| Severidade EDCF | -0.332 ^{ns} | -0.462 ^{ns} | -0.479 ^{ns} | -0.485 ^{ns} | -0.413 ^{ns} | -0.348 ^{ns} | -0.551 ^{ns} | -0.262 ^{ns} |
| Severidade EDDC | -0.299 ^{ns} | -0.1560 ^{ns} | -0.160 ^{ns} | -0.186 ^{ns} | -0.195 ^{ns} | -0.244 ^{ns} | -0.209 ^{ns} | -0.331 ^{ns} |
| MURMAX | | | | | | | | |
| Incidência | -0.049 ^{ns} | -0.119 ^{ns} | 0.028 ^{ns} | 0.059 ^{ns} | 0.089 ^{ns} | 0.146 ^{ns} | 0.032 ^{ns} | 0.167 ^{ns} |
| Severidade EDCF | -0.202 ^{ns} | -0.192 ^{ns} | -0.051 ^{ns} | 0.063 ^{ns} | 0.034 ^{ns} | 0.013 ^{ns} | 0.043 ^{ns} | 0.016 ^{ns} |
| Severidade EDDC | -0.278 ^{ns} | -0.689* | -0.738* | -0.660* | -0.673* | -0.708* | -0.696* | -0.640* |
| MURMED | | | | | | | | |
| Incidência | 0.033 ^{ns} | 0.057 ^{ns} | 0.039 ^{ns} | 0.126 ^{ns} | 0.212 ^{ns} | 0.334 ^{ns} | 0.206 ^{ns} | 0.337 ^{ns} |
| Severidade EDCF | 0.020 ^{ns} | 0.088 ^{ns} | 0.108 ^{ns} | 0.277 ^{ns} | 0.293 ^{ns} | 0.302 ^{ns} | 0.267 ^{ns} | 0.304 ^{ns} |
| Severidade EDDC | -0.048 ^{ns} | -0.393 ^{ns} | -0.435 ^{ns} | -0.407 ^{ns} | -0.437 ^{ns} | -0.467 ^{ns} | -0.517 ^{ns} | -0.376 ^{ns} |
| MURMIN | | | | | | | | |
| Incidência | 0.050 ^{ns} | -0.090 ^{ns} | -0.172 ^{ns} | -0.061 ^{ns} | 0.064 ^{ns} | 0.212 ^{ns} | 0.050 ^{ns} | 0.138 ^{ns} |
| Severidade EDCF | 0.194 ^{ns} | 0.227 ^{ns} | 0.194 ^{ns} | 0.405 ^{ns} | 0.448 ^{ns} | 0.473 ^{ns} | 0.447 ^{ns} | 0.391 ^{ns} |
| Severidade EDDC | 0.315 ^{ns} | -0.147 ^{ns} | -0.265 ^{ns} | -0.234 ^{ns} | -0.270 ^{ns} | -0.303 ^{ns} | -0.343 ^{ns} | -0.216 ^{ns} |
| PDMFT | | | | | | | | |
| Incidência | 0.091 ^{ns} | 0.216 ^{ns} | 0.225 ^{ns} | 0.295 ^{ns} | 0.329 ^{ns} | 0.416 ^{ns} | 0.323 ^{ns} | 0.453 ^{ns} |
| Severidade EDCF | 0.070 ^{ns} | -0.050 ^{ns} | -0.163 ^{ns} | -0.047 ^{ns} | 0.011 ^{ns} | 0.096 ^{ns} | -0.202 ^{ns} | 0.207 ^{ns} |
| Severidade EDDC | -0.169 ^{ns} | -0.465 ^{ns} | -0.461 ^{ns} | -0.452 ^{ns} | -0.465 ^{ns} | -0.500 ^{ns} | -0.533 ^{ns} | -0.455 ^{ns} |
| PDMFC | | | | | | | | |
| Incidência | 0.120 ^{ns} | 0.220 ^{ns} | 0.223 ^{ns} | 0.287 ^{ns} | 0.335 ^{ns} | 0.414 ^{ns} | 0.321 ^{ns} | 0.469 ^{ns} |
| Severidade EDCF | 0.063 ^{ns} | -0.054 ^{ns} | -0.152 ^{ns} | -0.051 ^{ns} | 0.008 ^{ns} | 0.090 ^{ns} | -0.211 ^{ns} | 0.262 ^{ns} |
| Severidade EDDC | -0.357 ^{ns} | -0.494 ^{ns} | -0.471 ^{ns} | -0.445 ^{ns} | -0.446 ^{ns} | -0.479 ^{ns} | -0.489 ^{ns} | -0.422 ^{ns} |
| PDMFD | | | | | | | | |
| Incidência | -0.057 ^{ns} | 0.036 ^{ns} | 0.05 ^{ns} | 0.136 ^{ns} | 0.261 ^{ns} | 0.400 ^{ns} | 0.275 ^{ns} | 0.285 ^{ns} |
| Severidade EDCF | 0.222 ^{ns} | 0.093 ^{ns} | -0.1372 ^{ns} | 0.117 ^{ns} | 0.255 ^{ns} | 0.346 ^{ns} | -0.078 ^{ns} | 0.460 ^{ns} |
| Severidade EDDC | 0.510 ^{ns} | 0.089 ^{ns} | -0.098 ^{ns} | -0.118 ^{ns} | -0.183 ^{ns} | -0.251 ^{ns} | -0.531 ^{ns} | -0.278 ^{ns} |
| PDMFN | | | | | | | | |
| Incidência | 0.161 ^{ns} | 0.268 ^{ns} | 0.278 ^{ns} | 0.329 ^{ns} | 0.334 ^{ns} | 0.403 ^{ns} | 0.322 ^{ns} | 0.504 ^{ns} |
| Severidade EDCF | -0.066 ^{ns} | -0.113 ^{ns} | -0.157 ^{ns} | -0.105 ^{ns} | -0.081 ^{ns} | -0.009 ^{ns} | -0.238 ^{ns} | 0.144 ^{ns} |
| Severidade EDDC | -0.591* | -0.660* | -0.579* | -0.539 ^{ns} | -0.543 ^{ns} | -0.577* | -0.500 ^{ns} | -0.511 ^{ns} |
| MTMED_DPMFN | | | | | | | | |
| Incidência | -0.539 ^{ns} | -0.684* | -0.706* | -0.746* | -0.803* | -0.804* | -0.825 | -0.762 |
| Severidade EDCF | -0.342 ^{ns} | -0.459 ^{ns} | -0.430 ^{ns} | -0.466 ^{ns} | -0.394 ^{ns} | -0.376 ^{ns} | -0.500 ^{ns} | -0.344 ^{ns} |
| Severidade EDDC | -0.174 ^{ns} | -0.071 ^{ns} | -0.067 ^{ns} | -0.110 ^{ns} | -0.116 ^{ns} | -0.142 ^{ns} | -0.159 ^{ns} | -0.282 ^{ns} |

| | (continuação) | | | | | | | |
|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| | 0-10d | 0-20d | 0-30d | 0-40d | 0-50d | 0-60d | 15-45d | 30-60d |
| | MURMED_DPMFN | | | | | | | |
| Incidência | 0.175 ^{ns} | 0.223 ^{ns} | 0.186 ^{ns} | 0.186 ^{ns} | 0.256 ^{ns} | 0.286 ^{ns} | 0.264 ^{ns} | 0.438 ^{ns} |
| Severidade EDCF | -0.199 ^{ns} | -0.133 ^{ns} | -0.050 ^{ns} | -0.050 ^{ns} | 0.053 ^{ns} | 0.065 ^{ns} | 0.011 ^{ns} | 0.183 ^{ns} |
| Severidade EDDC | -0.405 ^{ns} | -0.611* | -0.611* | -0.611* | -0.556* | -0.554* | -0.603* | -0.476 ^{ns} |

EDCF: escala diagramática construída com fotografia em cores; EDDC: escala diagramática de duas cores; PREC: precipitação pluviométrica acumulada (mm); MTMAX: média das temperaturas máximas (°C); MTMED: média das temperaturas médias (°C); MTMIN: média das temperaturas mínimas (°C); MURMAX: média dos valores máximos de umidade relativa do ar (%); MURMED: média dos valores médios de umidade relativa do ar (%); MURMIN: média dos valores mínimos de umidade relativa do ar (%); PDMFT: período de duração do molhamento foliar total (horas); PDMFC: período de duração do molhamento foliar contínuo (horas); PDMFD: período de duração do molhamento foliar diurno (horas); PDMFN: período de duração do molhamento foliar noturno (horas); MTMED_DPMFN: média das temperaturas médias durante o período de molhamento foliar noturno (°C); MURMED_DPMFN: média das médias dos registros de umidade relativa do ar durante o período de molhamento foliar noturno (%).

Com similaridade ao EA2 (>100m e <500m), um maior número de correlações foi estabelecido entre a variável epidemiológica incidência e as condições do ambiente no EA3 (>500m). A variável MTMIN destaca-se por sua correlação significativa mínima superior a 60%, independente do período de dias avaliados após a quantificação da doença a campo, assim como TMDPMFN, que com exceção do período 0-10d, teve correlação significativa mínima superior a 68%. Outras condições do ambiente, como MTMAX, MTMED e PDMFN também tiveram correlações significativas, mas com período de dias variáveis.

Para a variável severidade EDCF, correlações significativas ocorreram apenas para as condições MTMAX (correlação máxima de -0.616 no período de 0-50d) e MTMED (correlação máxima de -0.653 aos 15-45d). Já para a variável severidade EDDC, correlações significativas ocorreram para as condições de MTMAX, PDMFD e MURDPMFN, com correlação mínima superior a 55% em diferentes períodos de dias avaliados.

6.4 FAVORABILIDADE DIÁRIA PARA A INFECÇÃO POR *Hemileia vastatrix*

De maneira geral, a partir das condições de ambiente propostas por Girolamo Neto et al. (2014), as quais estão relacionadas à temperatura, ao molhamento foliar total e ao molhamento foliar noturno, para as áreas avaliadas neste estudo, quanto maior o estrato de altitude, menor o percentual de dias favoráveis para a infecção por *Hemileia vastatrix* (Figura 9).

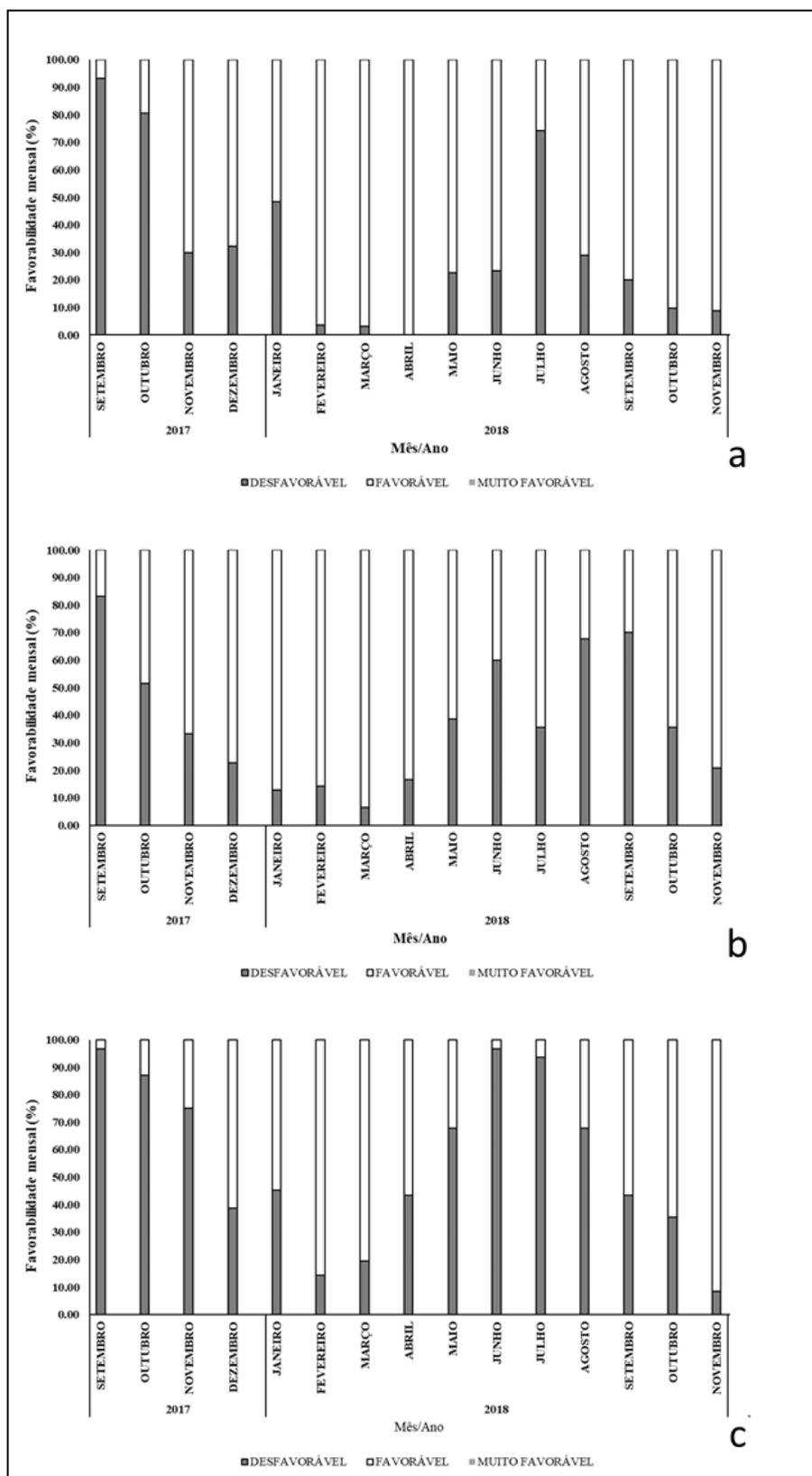


Figura 9 – Favorabilidade diária para infecção por *Hemileia vastatrix* a partir da metodologia adaptada de Girolamo Neto et al. (2014). EA1: <100m (a), EA2: >100m e <500m (b) e EA3: >500m (c).

Para o EA1, 67,48% dos dias foram classificados como favoráveis ao desenvolvimento da doença, seguido do EA2 (61,78%) e EA3 (44,63%) (Figura 9).

No menor estrato de altitude (EA1: <100m), os meses de novembro e dezembro de 2017, fevereiro a junho e agosto a novembro de 2018 receberam classificação de favorabilidade superior a 50% dos dias, com máxima em abril de 2018 (100,00%) e mínima em setembro de 2017 (6,67%).

Para o EA2 (>100m e <500m), os meses de novembro de 2017 a maio de 2018, julho, outubro e novembro de 2018 permaneceram com um mínimo de 50% dos dias favoráveis ao desenvolvimento do patógeno, com máxima em março de 2018 (93,55%) e mínima em setembro de 2017 (16,67%).

O EA3, de maior estrato de altitude (>500m), teve máxima favorabilidade para o desenvolvimento da doença em novembro de 2018 (91,67%) e mínima em setembro e junho de 2018 (3,33%). Considerando que a máxima favorabilidade observada irá refletir na intensidade da doença em um período posterior ao quantificado neste trabalho, destaca-se o mês de fevereiro de 2018, com 85,71% dos dias favoráveis ao desenvolvimento do patógeno.

6.5 ANÁLISE DO PROGRESSO ESPACIAL DA DOENÇA

Com base nos critérios de determinação dos modelos, não houve dependência espacial para a distribuição das variáveis incidência, severidade EDCF e severidade EDDC da ferrugem do cafeeiro conilon, em nenhuma das diferentes áreas avaliadas (Tabela 8).

Tabela 8 – Modelos e parâmetros dos semivariogramas médios escalonados ajustados aos dados de incidência e severidade da ferrugem do cafeeiro conilon (*Hemileia vastatrix*) em três estratos de altitude (EA1: <100m; EA2: >100m e <500m; e EA3: >500m).

| | Modelo | C ₀ | Patamar (C ₀ +C) | a | IDE | R ² | R ² (vc) | Var |
|------------------------|-------------|----------------|--------------------------------|--------|-------|----------------|---------------------|--------|
| EA1 (<100m) | | | | | | | | |
| INCIDÊNCIA | | | | | | | | |
| Novembro 2017 | Linear | 0.00 | 0.00 | 71.15 | 0.00 | 0.65 | 0.00 | 16.56 |
| Dezembro 2017 | Exponencial | 0.01 | 0.10 | 107.40 | 92.10 | 0.73 | 0.00 | 12.26 |
| Janeiro 2018 | Gaussiano | 0.01 | 0.26 | 12.30 | 97.30 | 0.36 | 0.00 | 3.08 |
| Fevereiro 2018 | Linear | 0.56 | 0.56 | 71.15 | 0.00 | 0.24 | 0.02 | 1.70 |
| Março 2018 | Gaussiano | 0.03 | 0.71 | 15.59 | 95.40 | 0.50 | 0.00 | 1.15 |
| Abril 2018 | Exponencial | 0.00 | 0.04 | 42.00 | 96.20 | 0.42 | 0.00 | 21.78 |
| Mai 2018 | Linear | 0.02 | 0.03 | 72.31 | 49.80 | 0.48 | 0.13 | 31.28 |
| Junho 2018 | Linear | 0.00 | 0.00 | 71.15 | 41.00 | 0.63 | 0.02 | 361.86 |
| Julho 2018 | Esférico | 0.00 | 0.00 | 102.00 | 68.20 | 0.82 | 0.18 | 557.17 |
| Agosto 2018 | Gaussiano | 0.00 | 0.00 | 9.01 | 98.00 | 0.69 | 0.02 | 453.45 |
| Setembro 2018 | Linear | 0.01 | 0.01 | 71.15 | 0.00 | 0.22 | 0.00 | 153.07 |
| Outubro 2018 | Gaussiano | 0.10 | 0.21 | 56.98 | 52.70 | 0.62 | 0.02 | 7.16 |
| Novembro 2018 | Gaussiano | 0.03 | 0.30 | 11.09 | 91.60 | 0.69 | 0.01 | 3.79 |
| SEVERIDADE EDCF | | | | | | | | |
| Novembro 2017 | Linear | 0.98 | 0.98 | 71.15 | 0.00 | 0.56 | 0.00 | 0.25 |
| Dezembro 2017 | Gaussiano | 0.06 | 1.16 | 9.53 | 95.00 | 0.42 | 0.03 | 0.45 |
| Janeiro 2018 | Gaussiano | 0.06 | 0.83 | 11.09 | 92.30 | 0.38 | 0.01 | 0.08 |
| Fevereiro 2018 | Gaussiano | 0.44 | 1.70 | 52.83 | 73.90 | 0.59 | 0.02 | 0.02 |
| Março 2018 | Gaussiano | 0.04 | 0.74 | 13.16 | 94.30 | 0.24 | 0.00 | 0.03 |
| Abril 2018 | Gaussiano | 0.09 | 0.98 | 16.63 | 90.90 | 0.66 | 0.01 | 0.06 |
| Mai 2018 | Gaussiano | 0.04 | 0.92 | 5.89 | 95.40 | 0.09 | 0.08 | 0.61 |
| Junho 2018 | Linear | 0.58 | 1.19 | 71.15 | 51.40 | 0.83 | 0.01 | 0.52 |
| Julho 2018 | Gaussiano | 0.02 | 1.01 | 8.83 | 97.90 | 0.64 | 0.05 | 0.57 |
| Agosto 2018 | Gaussiano | 0.04 | 1.08 | 11.60 | 96.20 | 0.85 | 0.06 | 0.43 |
| Setembro 2018 | Esférico | 0.16 | 1.10 | 4.2 | 85.10 | 0.00 | 0.00 | 0.42 |
| Outubro 2018 | Linear | 1.56 | 1.56 | 71.15 | 0.00 | 0.19 | 0.03 | 0.06 |
| Novembro 2018 | Gaussiano | 0.07 | 1.07 | 9.87 | 93.70 | 0.23 | 0.00 | 0.03 |
| SEVERIDADE EDDC | | | | | | | | |
| Novembro 2017 | Linear | 1.01 | 1.01 | 69.48 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 2.11 |
| Dezembro 2017 | Gaussiano | 0.05 | 1.02 | 10.05 | 94.70 | 0.58 | 0.02 | 0.81 |
| Janeiro 2018 | Gaussiano | 0.10 | 0.92 | 11.95 | 89.70 | 0.58 | 0.00 | 0.17 |
| Fevereiro 2018 | Exponencial | 10.17 | 1.20 | 62.40 | 50.20 | 0.25 | 0.06 | 0.21 |
| Março 2018 | Gaussiano | 0.19 | 0.93 | 17.32 | 79.70 | 0.48 | 0.00 | 0.08 |
| Abril 2018 | Gaussiano | 0.35 | 1.14 | 41.57 | 69.20 | 0.73 | 0.14 | 0.36 |
| Mai 2018 | Gaussiano | 0.04 | 1.09 | 21.48 | 96.50 | 0.53 | 0.00 | 3.67 |
| Junho 2018 | Linear | 0.39 | 1.20 | 65.72 | 0.67 | 0.89 | 0.00 | 1.89 |
| Julho 2018 | Gaussiano | 0.17 | 1.05 | 8.49 | 83.50 | 0.49 | 0.07 | 0.75 |
| Agosto 2018 | Gaussiano | 0.12 | 1.03 | 10.74 | 87.80 | 0.79 | 0.01 | 1.17 |
| Setembro 2018 | Gaussiano | 0.23 | 1.09 | 1.04 | 79.10 | 0.00 | 0.00 | 0.93 |
| Outubro 2018 | Esférico | 0.25 | 1.19 | 4.20 | 78.60 | 0.00 | 0.00 | 0.33 |
| Novembro 2018 | Gaussiano | 0.10 | 1.18 | 13.86 | 91.90 | 0.74 | 0.00 | 0.11 |

| (...continuação) | | | | | | | | |
|----------------------------------|-------------|----------------|--------------------------------|-------|-------|----------------|---------------------|--------|
| | Modelo | C ₀ | Patamar (C ₀ +C) | a | IDE | R ² | R ² (vc) | Var |
| EA2 (>100m e <500m) | | | | | | | | |
| INCIDÊNCIA | | | | | | | | |
| Novembro 2017 | Gaussiano | 0.00 | 0.00 | 7.79 | 94.60 | 0.21 | 85.16 | 0.00 |
| Dezembro 2017 | Exponencial | 0.02 | 0.21 | 25.80 | 89.70 | 0.63 | 0.01 | 4.72 |
| Janeiro 2018 | Exponencial | 0.01 | 0.27 | 7.80 | 97.20 | 0.07 | 0.01 | 3.35 |
| Fevereiro 2018 | Gaussiano | 0.02 | 0.33 | 9.87 | 93.90 | 0.35 | 0.01 | 3.05 |
| Março 2018 | Gaussiano | 0.05 | 0.40 | 1.04 | 86.40 | 0.00 | 0.00 | 2.37 |
| Abril 2018 | Gaussiano | 0.00 | 0.03 | 10.57 | 95.40 | 0.52 | 0.00 | 26.67 |
| Mai 2018 | Linear | 0.02 | 0.02 | 71.15 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 42.08 |
| Junho 2018 | Gaussiano | 0.00 | 0.01 | 9.35 | 97.80 | 0.48 | 0.14 | 77.36 |
| Julho 2018 | Gaussiano | 0.00 | 0.00 | 9.70 | 97.80 | 0.52 | 0.04 | 214.29 |
| Agosto 2018 | Linear | 0.00 | 0.00 | 71.15 | 0.00 | 0.35 | 0.00 | 188.41 |
| Setembro 2018 | Linear | 0.00 | 0.00 | 71.15 | 0.00 | 0.22 | 0.01 | 265.35 |
| Outubro 2018 | Exponencial | 0.00 | 0.01 | 4.80 | 83.00 | 0.05 | 0.00 | 90.92 |
| Novembro 2018 | Linear | 0.02 | 0.02 | 71.15 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 55.00 |
| SEVERIDADE EDCF | | | | | | | | |
| Novembro 2017 | Gaussiano | 0.19 | 1.06 | 5.20 | 82.20 | 0.05 | 0.03 | 0.25 |
| Dezembro 2017 | Gaussiano | 0.26 | 1.18 | 16.80 | 78.20 | 0.33 | 0.00 | 0.23 |
| Janeiro 2018 | Linear | 1.22 | 1.22 | 70.71 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 |
| Fevereiro 2018 | Gaussiano | 0.29 | 1.50 | 31.52 | 80.60 | 0.63 | 0.00 | 0.20 |
| Março 2018 | Gaussiano | 0.05 | 0.85 | 7.45 | 94.40 | 0.18 | 0.00 | 0.08 |
| Abril 2018 | Gaussiano | 0.09 | 0.93 | 8.66 | 90.80 | 0.23 | 0.00 | 0.69 |
| Mai 2018 | Gaussiano | 0.13 | 0.96 | 7.79 | 86.50 | 0.46 | 0.01 | 0.24 |
| Junho 2018 | Gaussiano | 0.20 | 0.94 | 13.34 | 79.00 | 0.73 | 0.02 | 0.30 |
| Julho 2018 | Gaussiano | 0.04 | 0.88 | 8.14 | 95.60 | 0.16 | 0.02 | 0.62 |
| Agosto 2018 | Gaussiano | 0.08 | 0.91 | 7.97 | 91.40 | 0.38 | 0.05 | 0.28 |
| Setembro 2018 | Gaussiano | 0.16 | 1.02 | 6.41 | 84.70 | 0.25 | 0.00 | 0.28 |
| Outubro 2018 | Linear | 0.99 | 0.99 | 71.15 | 0.00 | 0.58 | 0.00 | 0.38 |
| Novembro 2018 | Linear | 1.07 | 1.07 | 71.15 | 0.00 | 0.31 | 0.02 | 0.24 |
| SEVERIDADE EDDC | | | | | | | | |
| Novembro 2017 | Esférico | 0.02 | 0.96 | 8.20 | 97.80 | 0.24 | 0.08 | 2.20 |
| Dezembro 2017 | Esférico | 0.29 | 1.31 | 41.70 | 78.10 | 0.63 | 0.02 | 2.09 |
| Janeiro 2018 | Gaussiano | 0.32 | 1.03 | 33.95 | 69.30 | 0.46 | 0.01 | 3.31 |
| Fevereiro 2018 | Gaussiano | 0.05 | 1.20 | 14.38 | 95.70 | 0.65 | 0.00 | 0.57 |
| Março 2018 | Gaussiano | 0.09 | 0.93 | 5.54 | 90.30 | 0.12 | 0.00 | 0.40 |
| Abril 2018 | Gaussiano | 0.05 | 0.95 | 8.49 | 94.80 | 0.31 | 0.00 | 1.44 |
| Mai 2018 | Gaussiano | 0.12 | 0.96 | 5.89 | 87.00 | 0.21 | 0.00 | 0.70 |
| Junho 2018 | Esférico | 0.40 | 0.94 | 25.10 | 57.20 | 0.62 | 0.02 | 0.92 |
| Julho 2018 | Gaussiano | 0.09 | 0.92 | 10.91 | 90.10 | 0.37 | 0.00 | 1.00 |
| Agosto 2018 | Gaussiano | 0.04 | 0.96 | 9.18 | 95.80 | 0.67 | 0.00 | 0.77 |
| Setembro 2018 | Gaussiano | 0.17 | 1.01 | 1.04 | 83.00 | 0.00 | 0.00 | 0.64 |
| Outubro 2018 | Gaussiano | 0.16 | 1.03 | 5.54 | 84.00 | 0.05 | 0.07 | 0.91 |
| Novembro 2018 | Gaussiano | 0.14 | 1.00 | 1.21 | 85.80 | 0.00 | 0.00 | 0.74 |

| (...continuação) | | | | | | | | |
|------------------------|-----------|----------------|--------------------------------|-------|-------|----------------|---------------------|--------|
| | Modelo | C ₀ | Patamar (C ₀ +C) | a | IDE | R ² | R ² (vc) | Var |
| EA3 (>500m) | | | | | | | | |
| INCIDÊNCIA | | | | | | | | |
| Novembro 2017 | Gaussiano | 0.0005 | 0.0104 | 7.79 | 95.60 | 0.21 | 0.00 | 85.16 |
| Dezembro 2017 | Gaussiano | 0.0003 | 0.1628 | 12.99 | 99.80 | 0.67 | 0.01 | 5.73 |
| Janeiro 2018 | Esférico | 0.0029 | 0.0395 | 8.00 | 92.70 | 0.17 | 0.00 | 23.00 |
| Fevereiro 2018 | Gaussiano | 0.0011 | 0.0480 | 8.66 | 97.80 | 0.54 | 0.01 | 19.62 |
| Março 2018 | Gaussiano | 0.0000 | 0.0194 | 11.43 | 99.80 | 0.58 | 0.01 | 48.14 |
| Abril 2018 | Gaussiano | 0.0006 | 0.0254 | 13.51 | 97.70 | 0.65 | 0.00 | 39.54 |
| Mai 2018 | Gaussiano | 0.0007 | 0.0107 | 15.59 | 93.40 | 0.70 | 0.01 | 93.10 |
| Junho 2018 | Gaussiano | 0.0001 | 0.0025 | 9.70 | 96.00 | 0.69 | 0.01 | 410.65 |
| Julho 2018 | Gaussiano | 0.0001 | 0.0028 | 10.74 | 97.80 | 0.72 | 0.01 | 342.84 |
| Agosto 2018 | Linear | 0.0085 | 0.0085 | 71.15 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 110.13 |
| Setembro 2018 | Gaussiano | 0.0002 | 0.0041 | 9.53 | 95.40 | 0.65 | 0.10 | 224.34 |
| Outubro 2018 | Linear | 0.0581 | 0.0581 | 71.15 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 18.74 |
| Novembro 2018 | Gaussiano | 0.0106 | 0.0544 | 7.10 | 80.50 | 0.31 | 0.00 | 18.88 |
| SEVERIDADE EDCF | | | | | | | | |
| Novembro 2017 | Esférico | 0.07 | 1.06 | 6.10 | 93.60 | 0.05 | 0.03 | 0.25 |
| Dezembro 2017 | Gaussiano | 0.03 | 0.87 | 9.53 | 97.00 | 0.47 | 0.01 | 0.60 |
| Janeiro 2018 | Esférico | 0.05 | 1.04 | 28.43 | 94.80 | 0.73 | 0.01 | 2.67 |
| Fevereiro 2018 | Esférico | 0.15 | 1.02 | 8.90 | 85.70 | 0.30 | 0.01 | 0.24 |
| Março 2018 | Esférico | 0.06 | 0.93 | 5.50 | 93.90 | 0.02 | 0.06 | 0.39 |
| Abril 2018 | Esférico | 0.44 | 1.47 | 59.10 | 70.30 | 0.54 | 0.01 | 0.47 |
| Mai 2018 | Gaussiano | 0.06 | 0.97 | 12.99 | 93.50 | 0.83 | 0.04 | 0.44 |
| Junho 2018 | Gaussiano | 0.07 | 1.05 | 11.26 | 93.00 | 0.57 | 0.00 | 1.01 |
| Julho 2018 | Gaussiano | 0.04 | 0.93 | 9.18 | 95.60 | 0.53 | 0.00 | 0.87 |
| Agosto 2018 | Gaussiano | 0.16 | 0.98 | 8.31 | 83.80 | 0.51 | 0.00 | 0.21 |
| Setembro 2018 | Linear | 1.00 | 1.00 | 71.15 | 0.00 | 0.48 | 0.02 | 0.65 |
| Outubro 2018 | Linear | 1.13 | 1.13 | 71.15 | 0.00 | 0.23 | 0.01 | 0.18 |
| Novembro 2018 | Linear | 1.06 | 1.06 | 71.15 | 0.00 | 0.40 | 0.00 | 0.17 |
| SEVERIDADE EDDC | | | | | | | | |
| Novembro 2017 | Esférico | 0.00 | 0.96 | 8.20 | 97.80 | 0.24 | 0.08 | 2.20 |
| Dezembro 2017 | Gaussiano | 0.04 | 0.90 | 9.87 | 95.50 | 0.52 | 0.01 | 1.12 |
| Janeiro 2018 | Linear | 0.85 | 0.85 | 71.15 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 4.52 |
| Fevereiro 2018 | Esférico | 0.02 | 0.97 | 7.60 | 98.20 | 0.27 | 0.01 | 1.08 |
| Março 2018 | Linear | 1.01 | 1.01 | 71.15 | 0.00 | 0.28 | 0.00 | 1.03 |
| Abril 2018 | Gaussiano | 0.68 | 1.39 | 52.31 | 51.40 | 0.48 | 0.01 | 1.43 |
| Mai 2018 | Gaussiano | 0.12 | 1.01 | 12.12 | 88.00 | 0.90 | 0.04 | 1.15 |
| Junho 2018 | Gaussiano | 0.18 | 1.06 | 11.95 | 82.60 | 0.68 | 0.00 | 1.62 |
| Julho 2018 | Gaussiano | 0.02 | 0.96 | 9.87 | 97.80 | 0.58 | 0.01 | 0.82 |
| Agosto 2018 | Gaussiano | 0.19 | 0.99 | 8.49 | 80.40 | 0.62 | 0.01 | 0.92 |
| Setembro 2018 | Gaussiano | 0.06 | 1.01 | 8.49 | 94.00 | 0.68 | 0.02 | 1.18 |
| Outubro 2018 | Linear | 1.04 | 1.04 | 71.15 | 0.00 | 0.10 | 0.00 | 0.76 |
| Novembro 2018 | Linear | 1.23 | 1.23 | 71.15 | 0.00 | 0.23 | 0.00 | 0.95 |

C₀ – efeito pepita; C₀+C – patamar; a – alcance; IDE – índice de dependência espacial; R² – coeficiente de determinação; R² (VC) – coeficiente de determinação da validação cruzada; VAR – variância; EDCF: escala diagramática construída com fotografia em cores; EDDC: escala diagramática de duas cores.

7 DISCUSSÃO

A caracterização das condições meteorológicas é de grande importância para o entendimento dos processos relacionados ao desenvolvimento de doenças de plantas. Patógeno, hospedeiro e ambiente exercem papel fundamental no desenvolvimento de epidemias, devendo ser estudados individualmente. Segundo Vale et al. (2004), o ambiente exerce papel preponderante sobre os demais, visto que também os influencia.

Considerando que o conhecimento direto da interação entre ambiente e patógeno é de grande importância para o estabelecimento de epidemias a campo e que a partir do conhecimento de quais variáveis meteorológicas exercem influência sobre a doença, principalmente quando relacionada à disseminação e infecção, novas alternativas de manejo poderão ser consideradas em programas fitossanitários para o patossistema *Coffea canephora* x *Hemileia vastatrix*. Porém, o conhecimento das relações meteorológicas sobre o progresso da epidemia de doenças do cafeeiro é escasso (MOTISI, RIBEYRE e POGGI, 2019).

Neste estudo, a escolha por áreas de produção comercial de cafeeiro conilon propagado por sementes teve como objetivo reduzir a influência direta do hospedeiro sobre o patógeno, nos aspectos relacionados a maior ou menor resistência destes a ferrugem do cafeeiro. Sabe-se que a propagação seminal de materiais vegetativos possui grande diversidade genética, levando a formação de lavouras heterogêneas, com plantas expressando desuniformidade em diversos aspectos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos.

Ademais, as diferentes condições meteorológicas as quais as plantas estiveram condicionadas tiveram fundamentação direta com a relação existente entre altitude e temperatura, variáveis essas de especial importância para as regiões tropicais e

subtropicais, visto que, conforme Fritzsos, Wrege e Mantovani (2015), locais de diferentes altitudes, com variação de algumas centenas de metros, podem ocasionar consideráveis mudanças no ambiente, na adaptação da biota e no sucesso de cultivos agrícolas.

A relação direta existente entre altitude e temperatura, conhecida como gradiente térmico vertical, prediz em razão adiabática seca e úmida que há, em média, um acréscimo vertical aproximado de $0,98^{\circ}\text{C}$ e $0,65^{\circ}\text{C}$, respectivamente, a cada 100 metros de elevação, sendo que esta relação, por ser considerada uma média, é passível de variação quando em ambientes relativamente diversos, conforme demonstrado por Fritzsos, Wrege e Mantovani (2016) em estudos relacionados ao gradiente térmico do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

Neste trabalho foram observadas diferenças médias de temperatura para as diferentes áreas, relacionadas diretamente aos diferentes estratos de altitude aos quais estavam localizadas. De maneira geral, quanto maior o estrato de altitude, menor a temperatura registrada. A diferença média de temperatura existente entre o EA1 (<100m) e o EA2 (>100m e <500m) foi de $0,65^{\circ}\text{C}$, entre o EA2 e o EA3 (>500m) de $1,93^{\circ}\text{C}$ e entre o EA1 e o EA3 de $2,58^{\circ}\text{C}$. Entretanto, apesar das diferenças de altitude e temperaturas médias observadas, a variação dos registros médios de umidade relativa do ar foi pequena, inferior a 2,2% entre as áreas 1 (AE1) e 3 (EA3).

A temperatura, que também influencia na umidade local, radiação, amplitude térmica e ocorrência de ventos fortes, sofre alterações quando modificados os estratos de altitude, latitude e longitude, em geral nesta ordem de importância. Dentre outros fatores, as condições locais de relevo e posicionamento geográfico fazem com que cada local possua um gradiente térmico vertical médio específico (CARGNELUTTI FILHO et al.,

2006), o que justifica as diferenças de gradiente encontradas entre as áreas de cultivo de cafeeiro conilon avaliadas neste trabalho.

A partir da análise da favorabilidade diária para a infecção por *H. vastatrix* em *C. canephora*, quanto maior o estrato de altitude avaliado, menor o quantitativo de dias considerados como favoráveis para a infecção. Ressalta-se que para esta análise são consideradas as variáveis meteorológicas temperatura, molhamento foliar total e molhamento foliar noturno, dentro das faixas de temperatura e molhamento foliar considerados como ideais para o progresso da doença.

Em estudos realizados com cafeeiro conilon cultivar ‘Vitória – INCAPER 8142’ submetido a diferentes sistemas de produção (integrada e convencional) e em dois diferentes estratos de altitude (65 metros e 140 metros), também foi verificada a relação existente entre altitude e intensidade da doença (BELAN et al., 2015). Reduções graduais na intensidade da doença com o aumento gradual do estrato de altitude avaliado também foram observadas nas Américas (Avelino et al., 2015) e na Etiópia (DABA et al., 2019).

Todavia, na análise da curva de progresso da intensidade da doença, observa-se que não há uma relação positiva entre os valores médios de incidência, severidade EDCF e severidade EDDC quantificados durante o período de avaliação e a elevação do estrato de altitude. Neste estudo, a área que obteve o menor número de dias classificados como favoráveis ou muito favoráveis para ocorrência da infecção e desenvolvimento do patógeno obteve maiores valores de incidência e de severidade. Vale ressaltar que apesar da menor favorabilidade do EA3 (>500m), 44,63% dos dias foram considerados viáveis ao desenvolvimento da doença.

O mesmo foi verificado por Hinnah et al. (2018), em estudos com café arábica. Apesar das considerações de Bock (1982) e Kushalappa (1989) de que maiores

intensidades de ferrugem do cafeeiro ocorrem em baixas altitudes, os menores valores de incidência foram quantificados em áreas de menor altitude, independente da carga de produção.

Especificamente para as condições de realização deste estudo, deve-se levar em consideração a interferência de fatores externos sobre a epidemia da doença, os quais não são considerados pelo modelo de favorabilidade diária, tais como inóculo residual, enfolhamento, reentrada de inóculo na área, topografia local, extremos de temperatura, carga pendente e precipitação.

Ao analisar as curvas de progresso da severidade da doença para os três diferentes estratos de altitude estudados e independente do método de quantificação, pode-se observar que na primeira avaliação *in situ*, realizada em novembro de 2017, a área 3, de maior estrato de altitude (EA3: >500m), obteve maiores percentuais de severidade da doença, o que pode acarretar na presença de uma maior carga de inóculo residual na área. Uma maior inclinação da reta referente à epidemia inicial nesta área, evidenciada na figura 4, remete a uma maior intensidade da doença no ano anterior ao início da quantificação proposta neste estudo, quando comparada às demais áreas.

A arquitetura da planta, com relação ao enfolhamento, também é um fator importante a ser considerado na análise da epidemia da ferrugem do cafeeiro conilon. Os cafeeiros cultivados nas três áreas avaliadas foram quantificados com uma média muito similar de folhas ao longo do ano (45 folhas), presentes em quatro ramos do terço superior da planta, assim como durante o período da epidemia (54 folhas). Contudo, a área 3 (EA3) possuía folhas consideravelmente mais largas que as demais áreas, fato este que remete a uma maior superfície de contato entre patógeno e planta e, também, ao maior sombreamento interno da planta, que acarreta, conseqüentemente, na maior duração do

período de molhamento foliar total e contínuo, podendo influenciar diretamente no progresso da doença. A relação entre maior superfície de área foliar disponível e o aumento da infecção por *H. vastatrix* também foi relatada por Ribeyre e Avelino (2012) e por Toniutti et al. (2017).

A possível reentrada de inóculo na área também deverá ser considerada na interpretação do progresso da doença nas áreas em estudo. Nos quatro pontos cardeais ao redor da lavoura em estudo no maior estrato de altitude (EA3), há produção comercial de café, o que remete a uma maior probabilidade de reentrada de inóculo na área, independente da direção do vento. Nas áreas 1 (EA1) e 2 (EA2) este processo é menor, visto que em apenas um ponto cardinal ao redor da área há o cultivo de *Coffea* sp.

A topografia local da área 3 (EA3) também possui particularidades a serem consideradas. Sua localização em área montanhosa, envolta por uma grande rocha em formato de ferradura e com sua face de exposição ao sol voltada ao Oeste, propicia a área um menor período de duração da incidência direta de radiação quando comparada às áreas 1 (EA1) e 2 (EA2). A redução do número de horas de incidência solar favorece o ciclo de vida de *H. vastatrix* (CUSTÓDIO et al., 2011; AVELINO et al., 2015). Somado a este, três reservatórios hídricos, alocados em três dos quatro pontos cardeais da área podem exercer influência sobre o desenvolvimento da doença, visto que as plantas ao redor podem estar condicionadas a uma maior umidade relativa do ar quando comparada aos registros desta variável pela estação meteorológica.

Dentre as variáveis ambientais que condicionam a incidência e a severidade da ferrugem do cafeeiro, a temperatura destaca-se como variável meteorológica/climática de maior influência sobre a relação patógeno-hospedeiro (ANGELOTTI, GHINI e

BETTIOL, 2017). Esta variável deverá ser considerada na avaliação da epidemia descrita neste estudo.

Independente do estrato de altitude avaliado, todas as áreas tiveram registros de temperatura média durante o período de avaliação entre 21°C a 24°C, faixa esta considerada ótima para o desenvolvimento do patógeno (ZAMBOLIM, 2015). Entretanto, nas áreas 1 e 2 foram registrados extremos de temperatura máxima superiores a 40°C e mínimas inferiores a 11°C. Sob essas condições de temperatura, os processos de germinação, infecção e crescimento das lesões são interrompidos, interferindo na velocidade de expansão da doença, podendo inviabilizar o processo de germinação (KUSHALAPPA e CHAVES, 1980; KUSHALAPPA e ESKES, 1989).

A precipitação é outra variável a ser considerada. No mês que antecede o período de ocorrência da epidemia nas áreas avaliadas, a área 3, onde foi registrada a maior epidemia, teve menores volumes de precipitação quando comparada às demais áreas, sendo 23,5% menor que na área 1 e 32,0% menor que na área 2. Maiores volumes de precipitação acarretam em uma maior remoção de esporos fúngicos das folhas, interferindo na velocidade de desenvolvimento da doença.

Uma análise mais criteriosa das variáveis que podem influenciar na epidemia de doenças do cafeeiro necessita de avaliações adicionais e combinadas para o adequado estabelecimento de estratégias de manejo, as quais sejam ambientalmente sustentáveis e passíveis de execução pelo produtor rural (MOTISI, RIBEYRE e POGGI, 2019).

As correlações existentes entre as variáveis epidemiológicas e meteorológicas foram, para este estudo, negativas. Porém, as médias de todas as variáveis meteorológicas, independente da área, permaneceram dentro da faixa considerada como adequada ao

desenvolvimento do patógeno tanto no seu limite inferior quanto superior (Apêndice G, H e I).

Em estudos relacionados ao estabelecimento de modelos de predição para a ferrugem do cafeeiro, Girolamo Neto et al. (2014) demonstraram que a relação entre temperatura e molhamento foliar representa a condição ótima para o desenvolvimento do fungo (temperatura entre 22 a 24°C e 8 horas de molhamento foliar).

Neste, as variáveis anteriormente citadas associadas à alta carga pendente auxiliaram no desenvolvimento de um modelo de predição mais adequado, com bom desempenho de taxa de acerto (85,3%), sensibilidade (85,4%) e especificidade (85,2%), a partir da técnica de modelagem SVM (Máquinas de vetores suporte, do inglês *Support Vector Machines*). Este trabalho corrobora, na prática, o modelo de predição proposto pelos autores e os propostos em árvore de decisão por Meira, Rodrigues e Moraes (2008; 2009) e Cintra et al. (2011), os quais também enfatizaram as relações existentes entre as variáveis temperatura e molhamento foliar no progresso da ferrugem do cafeeiro.

Com relação à análise temporal da doença, as diferentes taxas de progresso (r) da incidência, ajustadas para o mesmo modelo (Gompertz), representam a velocidade de expansão da doença no campo. Maiores taxas de progresso correspondem a uma maior velocidade de expansão da doença. Desta forma, a partir dos dados descritos na tabela 4, pode-se concluir que quanto maior o estrato de altitude, menor a velocidade de expansão da doença no campo. Essa informação torna-se importante quando considera que uma menor velocidade de expansão da doença na área pode proporcionar um maior período de tempo referente à tomada de decisão pelo produtor, permitindo, ainda, o uso de métodos alternativos de controle no intuito de evitar que a incidência ultrapasse o nível de controle aceitável.

Na análise espacial da distribuição da intensidade da ferrugem nas lavouras em estudo, para todas as variáveis os valores do efeito pepita (C_0) estão próximos de zero. Uma vez que o C_0 é o valor da semivariância para a distância zero (VIEIRA, 2000) e representa o componente da variabilidade espacial que não pode ser relacionado com uma causa específica (variabilidade ao acaso), quanto menor seu valor, ou seja, quanto menor a variação ao acaso mais precisa é a estimativa, por meio de krigagem, de valores em locais não medidos.

Contudo, os valores de efeito pepita similares aos valores do patamar, o que caracteriza o efeito pepita puro, somado aos valores de coeficiente de determinação muito baixos, independente dos valores dos índices de dependência espacial altos, não caracterizam a continuidade espacial, ou seja, não há dependência espacial para as variáveis epidemiológicas avaliadas neste trabalho.

Este fato é decorrente da baixa intensidade da ferrugem do cafeeiro nas lavouras avaliadas, com valores de intensidade da doença muito baixos ou nulos e muito próximos entre um ponto e outro. O mesmo foi verificado por Lima (2009), em estudos epidemiológicos para a mancha de phoma do cafeeiro, em diferentes sistemas de cultivo.

8 CONCLUSÕES

As variáveis meteorológicas temperatura, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica, avaliadas em diferentes estratos de altitude, modulam diferencialmente as epidemias da ferrugem do cafeeiro conilon.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIOS, G. N. Plant pathology. e.5, Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2005. 922p.

ALMEIDA, A. P. F.; RIBEIRO, L. F. C.; SOUZA, E. P. Estudo da dinâmica espaço-temporal da doença associada à morte súbita das pastagens. **Nativa**, v.1, 2016.

ANGELOTTI, F.; GHINI, R.; BETTIOL, W. Como o aumento da temperatura interfere nas doenças de plantas?. In: BETTIOL, W.; HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; AUAD, A. M.; GHINI, R. (Org.). Aquecimento global e problemas fitossanitários, e.1, v.1, p.116-143, 2017.

ANGELOTTI, F.; SCAPIN, C. R.; TESSMANN, D. J.; VIDA, J. B.; CANTERI, M. G. The effect of temperature, leaf werness and light on development of grapevine rust. **Australasian Plant Pathology**, v.43, n.1, p.9-13, 2014.

AVELINO, J.; CRISTANCHO, M.; GEORGIU, S.; IMBACH, P.; AGUILAR, L.; BORNEMANN, G.; LADERACH, P.; ANZUETO, F.; HRUSKA, A. J.; MORALES, C. The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. **Food Security**, v.7, p.303-321, 2015. DOI: 10.1007/s12571-015-0446-9.

BAESSO, M. M.; TEIXEIRA, M. M.; RUAS, R. A. A., BAESSO, R. C. E. Tecnologias de aplicação de agrotóxicos. **Revista Ceres**, v.61, p.780-785, 2014.

BELAN, L. L. Ferrugem do cafeeiro conilon: fatores nutricionais relacionados à favorabilidade da intensidade da doença e desenvolvimento de uma nova escala diagramática. 2018. 96f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2018.

BELAN, L. L. Manejo da ferrugem em clones de café conilon em sistema de produção integrada. 2012. 83f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2012.

BELAN, L. L.; JESUS JUNIOR, W. C.; BELAN, L. L.; SATIRO, L. S.; GOMES, M. P. F.; OLIVEIRA, A. O.; LIMA, A. F.; ALVES, F. R. Metodologia de amostragem de folhas

para quantificação da incidência da ferrugem em cafeeiro conilon. Anais... VIII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2013, Salvador - BA. EMBRAPA CAFÉ. p. 1-5.

BELAN, L. L.; JESUS JUNIOR, W. C.; SOUZA, A. F.; ZAMBOLIM, L.; TOMAZ, M. A.; ALVES, F. R.; FERRÃO, M. A. G.; AMARAL, J. F. T. Monitoring of leaf rust in conilon coffee clones to improve fungicide use. **Australasian Plant Pathology**, v.44, p.5-12, 2015. <http://doi.org/10.1007/s13313-014-0310-y>

BENHAMOU, N.; BRODEUR, J. Evidence for antibiosis and induced host defense reactions in the interaction between *Verticillium lecanii* and *Penicillium digitatum*, the causal agent of green mold. **Phytopathology**, v.90, n.9, p.932-943, 2000.

BERGAMIN FILHO, A.; HAU, B.; AMORIM, L.; JESUS JUNIOR, W. C. Análise espacial de epidemias. In: VALE, F. X. R.; JESUS JUNIOR, W. C. J.; ZAMBOLIM, L. Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas. Belo Horizonte: Editora Perffil, p. 195-240, 2004.

BETTIOL, W.; VARZEA, V. M. P. Controle biológico da ferrugem (*Hemileia vastatrix*) do cafeeiro com *Bacillus subtilis* em condições controladas. **Fitopatologia Brasileira**, v.17, n.1, p.91-95, 1992.

BIGIRIMANA, J.; NJOROGE, K.; GAHAKWA, D.; PHIRI, N. A. Incidence and severity of coffee leaf rust and other coffee pests and diseases in Rwanda. **African Journal of Agricultural Research**, v.7, p.3847–3852, 2012.

BOCK, K. R. Seasonal periodicity of coffee leaf rust and factors affecting the severity of outbreaks in Kenya Colony. **Transactions of the British Mycological Society**, v.45, p.289–300, 1962. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(62\)80068-0](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(62)80068-0)

BOUDROT, A.; PICO, J.; MERLE, I.; GRANADOS, E.; VÍLCHEZ, S.; TIXIER, P.; ALLINNE, C. Shade effects on the dispersal of airborne *Hemileia vastatrix* uredospores. **Phytopathology**, v.106, n.1, p.572-580, 2016.

CACEFO, V.; ARAÚJO, F. F. *Bacillus subtilis* no controle biológico da ferrugem e do bicho mineiro no cafeeiro. **Colloquium Agrariae**, v.11, p.14-22, 2015.

CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: J. Wiley & Sons, 532p., 1990.

CAPUCHO, A. S. Epidemiologia e resistência do cafeeiro conilon à ferrugem. 2011. 97f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

CAPUCHO, A. S.; ZAMBOLIM, L.; CABRAL, P. G. C.; MACIEL-ZAMBOLIM, E.; CAIXETA, E. T. Climate favourability to leaf rust in Conilon coffee. **Australasian Plant Pathology**, v.42, n.5, p.511-514, 2013.

CAPUCHO, A. S.; ZAMBOLIM, L.; DUARTE, H. S. S.; VAZ, G. R. O. Development and validation of a standard area diagram set to estimate severity of leaf rust in *Coffea arabica* and *C. canephora*. **Plant Pathology**. v.60, p.1144–1150, 2011.

CARGNELUTTI FILHO, A.; MALUF, J. R. T.; MATZENAUER, R.; STOLZ, A. P. Altitude e coordenadas geográficas na estimativa de temperatura mínima média decendial do ar no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, n.6, p.893-901, 2006.

CARRION, G.; RICO-GRAY, V. Mycoparasites on the coffee rust in Mexico. **Fungal Diversity**, v.11, p.49-60, 2002.

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

CARVALHO, E. Melhoramento genético do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) visando resistência durável à ferrugem e estabilidade fenotípica por meio de seleção recorrente. 2011. 45f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de lavras, Lavras, 2011.

CINTRA, M. E. et al. The use of fuzzy decision trees for coffee rust warning in Brazilian crops. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT SYSTEMS DESIGN AND APPLICATIONS, 11., 2011, Córdoba. **Proceedings...** Córdoba: IEEE, 2011. p.1347-1352.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira:** café – primeiro levantamento safra 2019. Brasília: CONAB, 2019. v.5, n.1, 62p. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe/boletim-da-safra-de-cafe>>. Acesso em 27 jan 2019.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira:** café – primeiro levantamento safra 2018. Brasília: CONAB, 2018. 73p. Disponível em: <http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/levantamento/conab_safra2018_n1.pdf>. Acesso em 20 maio 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira:** café – quarto levantamento safra 2016. Brasília: CONAB, 2016. 77 p. Disponível em: <http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/levantamento/Boletim_cafe_dezembro_2016.pdf>. Acesso em 14 maio 2017.

CONSELHO DOS EXPORTADORES DE CAFÉ DO BRASIL. Relatório mensal: fevereiro 2017. São Paulo: CECAFE, 2017. 16p. Disponível em: <http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/informe_estatistico/CECAFE_Relatorio_Mensal_FEVEREIRO_2017.pdf>. Acesso em 25 maio 2017.

COSTA, M. J. N.; ZAMBOLIM, L.; RODRIGUES, F. A. Avaliação de produtos alternativos no controle da ferrugem do cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v.32, n.1, p.150-155, 2007.

CRUZ, T. P. Atividade de novas moléculas de triazóis sobre *Hemileia vastatrix*. 2017. 84f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2017.

CUSTÓDIO, A. A. P.; POZZA, E. A.; CUSTÓDIO, A. A. P.; SOUZA, P. E.; LIMA, L. A.; LIMA, L. M. Intensidade da Ferrugem e da Cercosporiose em cafeeiro quanto à face de exposição das plantas. **Coffee Science**, v.5, p.214-228, 2011.

DABA, G.; HELSEN, K.; BERECHA, G.; LIEVENS, B.; DEBELA, A.; HONNAY, O. Seasonal and altitudinal differences in coffee leaf rust epidemics on coffee berry disease-resistant varieties in Southwest Ethiopia. **Tropical Plant Pathology**, p.1-7, 2019. <https://doi.org/10.1007/s40858-018-0271-8>

DAMASCENO, L. A.; SOUZA, C. K.; ARAÚJO JUNIOR, C. F.; LACERDA, T. M.; CARMO, D. L. Variabilidade especial da ferrugem (*Hemileia vastatrix*) do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). Congresso brasileiro de pesquisas cafeeiras, 34, p.1-3, 2008.

DEL PONTE, E. M.; PETHYBRIDGE, S. J.; BOCK, C. H.; 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.

DORNELAS, G. A.; POZZA, E. A.; SOUZA, P. E.; COSTA, R. V.; POZZA, A. A. A.; SANTOS, L. A. Nitrogen and potassium fertilization on the yield and intensity of the maize white spot. **Revista Ceres**, v.62, n.4, p.351-359, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Evolução da cafeicultura brasileira nas últimas décadas. Brasília: EMBRAPA CAFÉ, 3p. 2017. Disponível em: <http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/Consorcio-Embrapa-Cafe-Evolucao-24-1-2017.pdf>. Acesso em 20 maio 2018.

FEDERAÇÃO DOS CAFEICULTORES DO CERRADO – FECACE. Plano de desenvolvimento, sustentabilidade e promoção do Cerrado Mineiro 2015/2020. 2015. Disponível em: <http://www.cafedocerrado.org/include/_Plano_RCM_2015_2020.pdf>. Acesso em 27 ago. 2018.

FERNANDES, C. F.; VIEIRA JUNIOR, J. R. Doenças do cafeeiro. In: MARCOLAN, A. L.; ESPINDULA, M. C. (Ed.). Café na Amazônia. Brasília, DF: Embrapa, p.279-307, 2015.

FERRÃO, R. G. A cafeicultura no estado do Espírito Santo. In: TOMAZ, M. A. (Org.). Tecnologias para a sustentabilidade da cafeicultura. Alegre: UFES, 2011. p.19-50.

FREITAS, A. S.; POZZA, E. A.; ALVES, M. C.; COELHO, G.; ROCHA, H. S.; POZZA, A. A. A. Spatial distribution of Yellow Sigatoka Leaf Spot correlated with soil fertility and plant nutrition. **Precision agriculture**, v.17, n.1, p. 93-107, 2016.

FRITZSONS, E.; MONTOVANI, L. E.; WREGE, M. S. Relação entre altitude e temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático no estado de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.18, n.1, p.80-92, 2016. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v18i0.39471>

FRITZSONS, E.; WREGE, M. S.; MONTOVANI, L. E. Altitude e temperatura: estudo do gradiente térmico no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.16, n.1, p.108-119, 2015. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v16i0.39665>

GARCIA JÚNIOR, D.; POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; SOUZA, P. E.; CARVALHO, J. G.; BALIEIRO, A. C. Incidência e severidade da cercosporiose do cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. **Fitopatologia Brasileira**, v.28, n.3, p.286-291, 2003.

GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre as doenças de plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v.16, p.1-37. 2008.

GHINI, R.; HAMADA, E.; PEDRO JUNIOR, M. J.; GONÇALVES, R. R. V. Simulação dos efeitos das mudanças climáticas sobre o período de incubação de *Hemileia vastatrix* em cafeeiro no Brasil. **Summa phytopathologica**, v.37, n.2, p.85-93, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-54052011000200001>.

GIROLAMO NETO, C.; RODRIGUES, L. H. A.; MEIRA, C. A. A. Modelos de predição da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome) por técnicas de mineração de dados. **Coffee Science**, Lavras, v.9, n.3, p.408-418, 2014.

GONÇALVES, A. O.; MORAES, W. B. Influência da arborização no progresso da ferrugem do cafeeiro conilon. Relatório final de pesquisa. Programa institucional de iniciação científica. Universidade Federal do Espírito Santo, 7p., 2016. Disponível em: http://portais4.ufes.br/posgrad/piic/rel_final_9496_Relatorio_final_Influ%EAncia_da_

arboriza%E7%E3o_no_progresso_da_ferrugem_em_cafeeiro_conilon.pdf>. Acesso em: 30 maio 2018.

GONÇALVES, D. R. C. Avaliação do efeito da face de exposição solar sobre o crescimento de plantios comerciais de *Eucalyptus* sp. na região sudoeste do estado de São Paulo. 2015. 91f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2015.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. Projeto estadual fortalece a cafeicultura fluminense. 2017. Disponível em <<http://www.rj.gov.br/web/imprensa/exibeconteudo?article-id=4386165>> Acesso em 27 ago. 2018.

HAMADA, E.; VOLPATO, M. M. L.; FERREIRA, G. L. F.; ALVES, H. R.; SOUZA, V. C. O.; VIEIRA, T. G. C. Simulação dos efeitos das mudanças climáticas sobre a ferrugem do café na região Sudeste do Brasil. **Anais...** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, João Pessoa – PB, Brasil, p.2629-2636, 2015.

HINNAH, F. D.; SENTELHAS, P. C.; MEIRA, C. A. A.; PAIVA, R. N. Weather-based coffee leaf rust apparent infection rate modeling. **International Journal of Biometeorology**, p.1-14, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1587-2>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil – dezembro 2017. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo/2017/lspa_201712.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/2017/lspa_201712.pdf)>. Acesso em 27 ago. 2018.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – INCAPER. Cafeicultura. Espírito Santo: INCAPER, 2016. Disponível em: <<https://incaper.es.gov.br/cafeicultura>>. Acesso em 09 ago. 2017.

JACKSON, D.; SKILLMAN, J.; VANDERMEER, J. Indirect biological control of the coffee leaf rust, *Hemileia vastatrix*, by the entomogenous fungus *Lecanicillium lecanii* in a complex coffee agroecosystem. **Biological Control**, v.61, p.89-97, 2012.

JESUS JUNIOR, W. C.; BASSANEZI, R. B. Análise da dinâmica e estrutura de focos da morte súbita dos citros. **Fitopatologia Brasileira**, v.29, n.4, p.399-405, 2004.

JESUS JUNIOR, W.C.; POZZA, E. A.; VALE, F. X. R.; MORA-AGUILERA, G. Análise temporal de epidemias. In: VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W.C.; ZAMBOLIM, L. (Ed.). Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas. Belo Horizonte: Editora Perffil, p.127-191, 2004.

KUSHALAPPA, A. C. Rust management: an epidemiological approach and chemical control. In: KUSHALAPPA, A. C.; ESKES, A. B. (ed.). Coffee rust: epidemiology, resistance, and management, first. CRC Press, Boca Raton, Florida, p.81–140, 1989.

KUSHALAPPA, A. C.; AKUTSU, M.; LUDWIG, A. Application of survival ratio monocyclic processo of *Hemileia vastatrix* in predicting coffee rust infection rates. **Phytopathology**, v.73, p.96-103, 1983.

KUSHALAPPA, A. C.; CHAVES, G. M. An analysis of the development of coffee rust in the field. **Fitopatologia Brasileira**, v.5, p.95-183, 1980.

KUSHALAPPA, A. C.; ESKES, A. B. Advances in coffee rust research. **Annual Review of Phytopathology**, v.27, p.503-531, 1989.

KUSHALAPPA, A. C.; ESKES, A. B. Coffe rust: epidemiology, resistance and management. Boca Raton FL. CRC Press, 1989.

KY, C. L.; LOUARN, J.; DUSSERT, S.; GUYOT, B.; HAMON, S.; NOIROT, M. Caffeine, trigonelline, chlorogenic acids and sucrose diversity in wild *Coffea arabica* L. and *C. canephora* P. accessions. **Food Chemistry**, v.75, p.223-230, 2001.

LIMA, A. F.; CRUZ, T. P.; FERREIRA, M. M.; FONSECA, M. D. S.; SCHWAN, V. V.; COSTA, A. V.; QUEIROZ, V. T.; MORAES, W. B. Eficiência de dois novos triazois associados á adjuvante no controle da ferrugem do cafeeiro. **Revista Univap**, v.22, n.40, 2016.

LIMA, L. M. D.; POZZA, E. A.; TORRES, H. N.; POZZA, A. A. A.; SALGADO, M.; PFENNING, L. H. Relação nitrogênio/potássio com mancha de Phoma e nutrição de

mudas de cafeeiro em solução nutritiva. **Tropical Plant Pathology**, v.35, n.1, p.223–228, 2010.

LIMA, L. M. Variabilidade espacial da mancha de phoma relacionada a nutrição do cafeeiro e incidência da cercosporiose na qualidade do café. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, 102p., 2009.

MADEIRA, A. C.; KIM, K. S.; TAYLOR, S. E.; GLEASON, M. L. A simple cloud-based energy balance model to estimate dew. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.111, p.55-63, 2002.

MADEIRA, J. A. P. Reação de genótipos de cafeeiro à *Hemileia vastatrix* e à *Cercospora coffeicola*. 2016. 51f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

MAFFIA, L. A.; HADDAD, F.; MIZUBUTI, E. S. G. Controle biológico da ferrugem do cafeeiro. In: BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. (Ed.). Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, p.267-275, 2009.

MAGAREY, R. D.; ISARD, S. A. A troubleshooting guide for mechanistic plant pest forecast models. **Journal of Integrated Pest Management**, v.8, p.1-7, 2017.

MAIA, F. G. M.; ARMESTO, C.; ZANCAN, W. L. A.; MAIA, J. B.; ABREU, M. S. Efeito da temperatura no crescimento micelial, produção e germinação de conídios de *Colletotrichum* spp. isolados de mangueira com sintomas de antracnose. **Bioscience Journal**, v.27, n.2, p.205-210, 2011.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, v.58, p.1246-66, 1963.

MAY-DE-MIO, L. L.; AMORIN, L. Influência da temperatura e da duração do molhamento foliar nos componentes monocíclicos da ferrugem do álamo. **Summa Phytopathologica**, v.28, n.1, p.33-39, 2002.

MCCAIN, J. W.; HENNEN, F. Development of uredinial thallus and sorus in the orange coffee rust fungus *Hemileia vastatrix*. **Phytopathology**, v.74, p.714–721, 1984.

MCCOOK, S.; VANDERMEER, J. The Big Rust and the Red Queen: Long-Term Perspectives on Coffee Rust Research. **Phytopathology**, v.105, p.1164-1173, 2015. DOI: 10.1094/PHYTO-04-15-0085-RVW.

MEIRA, C. A. A.; RODRIGUES, L. H. A.; MORAES, S. A. Análise da epidemia da ferrugem do cafeeiro com árvore de decisão. **Tropical Plant Pathology**, v.33, n.2, p.114-124, 2008.

MEIRA, C. A. A.; RODRIGUES, L. H. A.; MORAES, S. A. Modelos de alerta para o controle da ferrugem do cafeeiro em lavouras com alta carga pendente. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.3, p.233-242, 2009.

MENDONÇA, R. F. Reação de genótipos de *Coffea canephora* à *Hemileia vastatrix*. 2013. 48f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2013.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. Café no Brasil. 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira>>. Acesso em 27 ago. 2018.

MONTEIRO, J. E. B. A.; SENTELHAS, P. C.; CHIAVEGATO, E. J. Ambiente tem papel decisivo na ocorrência de doenças. **Visão Agrícola**, n.6, p.85-87, 2006.

MONTOYA, R. H.; CHAVES, G. M. Influência da temperatura e da luz na germinação, infectividade e período de geração de *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. **Exérientiae**, n.18, v.1, p.239-266, 1974.

MORAES, S. A.; SUGIMORI, M. H.; RIBEIRO, I. J. A.; ORTOLANI, A. A.; PEDRO JUNIOR, M. J. Período de incubação de *Hemileia vastatrix* Berk. Et Br. em três regiões do Estado de São Paulo. **Summa Phytopathologica** v.2, p.32-38, 1976.

MORAES, W. B.; CAMARA, G. R.; BELAN, L. L.; BELAN, L. L.; SILVA, S. A.; JESUS JUNIOR, W. C. Epidemiologia e manejo da ferrugem em cafeeiro Conilon. In: PARTELLI, F. L.; MORAES, W. B. (org.). **Café conilon: qualidade e sucessão familiar**. v.1, n.1, p.55-71, 2018.

MORALES, R. G. F.; SANTOS, I.; TOMAZELI, V. N. Influência da nutrição mineral foliar sobre doenças da parte aérea da cultura do trigo. **Revista Ceres**, v.59, n.1, p.71-76, 2012.

MOTISI, N.; RIBEYRE F.; POGGI, S. Coffee tree architecture and its interactions with microclimates drive the dynamics of coffee berry disease in coffee trees. **Nature - Scientific Reports**. v.9, n.2544, p.1-12, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38775-5>

MUSOLI, C. P.; PINARD, F.; CHARRIER, A.; KANGIRE, A.; HOOPEN, G. M.; KABOLE, C.; OGWANG, J.; BIEYSSE, D.; CILAS, C. Spatial and temporal analysis of coffee wilt disease caused by *Fusarium xylarioides* in *Coffea canephora*. **European Journal Pathology**, v.122, p.451-460, 2008. DOI: 10.1007/s10658-008-9310-5

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ - OIC. **Relatório sobre o mercado de café**: março 2018. São Paulo: OIC, 2018. 6p. Disponível em: <http://consorciopesquisacafe.com.br/arquivos/consorcio/publicacoes_tecnicas/relatorio_oic_marco_2018.pdf>. Acesso em 20 maio 2018.

PARTELLI, F. L. Base Scopus: *Coffea canephora* e *Coffea* sp. UFES, 4p., 2018. Disponível em: <<http://www.ufes.br/conteudo/ufes-e-instituicao-que-mais-publica-artigos-cientificos-sobre-cafe-conilon>>. Acesso em 13 mar. 2019.

PÉREZ, C. D. P.; POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; FREITAS, A. S.; SILVA, M. G. Nitrogênio e potássio na intensidade da mancha aureolada do cafeeiro em solução nutritiva. **Coffee Science**, v.12, n.1, p.60-68, 2017.

POLTRONIERI, T. P. S.; AZEVEDO, L. A. S.; SILVA, D. E. M. Efeito da temperatura no crescimento micelial, produção e germinação de conídios de *Colletotrichum gloeosporioides*, isolados de frutos de palmeira juçara (*Euterpe edulis* Mart). **Summa Phytopathologica**, v.39, n.4, p.281-285, 2013.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2018.

RIBEYRE, F.; AVELINO, J. Impact of field pests and diseases on coffee quality *Specialty Coffee: Managing Coffee*. **International Plant Nutrition Institute Penang**, Malaysia, p.151–176, 2012.

ROBERTSON, G. P. *GS+: geostatistics for the environmental sciences*. Plainwell: Gamma Design Software, 2008.

ROCHA, M. R.; BELAN, L. L.; BELAN, L. L.; RAFAEL, A. M.; MORAES, W. B. Correlação entre intensidade de ferrugem e produção de cafeeiros conilon. In: XXVIII semana acadêmica do curso de agronomia do CCAE/UFES. Alegre: CCAE, 2017.

ROSAS, J. T. F.; CAPELINI, V. A.; ALMEIDA, S. L. H.; OLIVEIRA, G. D.; MORAES, W. B.; LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A. Agricultura de precisão no estudo da ferrugem do cafeeiro conilon. In: Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e Pós-Graduação, 2016, São José dos Campos. Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e Pós-Graduação. São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, v.26. 4p., 2016.

ROWLANDSON, T.; GLEASON, M.; SENTELHAS, P. C.; et al. Reconsidering leaf wetness duration determination for plant disease management. **Plant Disease**, v.99, p.310–319, 2015. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-14-0529-FE>

RURAL CENTRO. SEAGRI intensifica investimentos para o café de Rondônia. 2010. Disponível em: < <http://www.ruralcentro.com.br/noticias/seagri-intensifica-investimentos-para-o-caffe-de-rondonia-26054>>. Acesso em 27 ago. 2018.

SALGADO, B. G.; MACEDO, R. L. G.; CARVALHO, V. L.; SALGADO, M.; VENTURIN, N. Progresso da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro consorciado com grevêlea, com ingazeiro e a pleno sol em Lavras, MG. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.31, n.3, p.1067-1074, 2007.

SENTELHAS, P. C.; DALLA MARTA, A.; ORLANDINI, S. et al. Suitability of relative humidity as an estimator of leaf wetness duration. *Agric For Meteorol*, v.148, p.392–400, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2007.09.011>

SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effects of nitrogen fertilization on the expression of slow- mildwing in knox wheat. **Phytopathology**, v.67, p.1051-1055, 1977.

SHAW, D. E. *Verticillium lecanii* a hyperparasite on the coffee rust pathogen in Papua New Guinea. **Australasian Plant Pathology**, v.17, n.1, 1988.

SOUZA NETO, P. N. Resistência de híbridos de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner às raças II e XXXIII de *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. 2011. 43f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

STATSOFT. Statistica (data analysis software system), version 10, 2011.

TONIUTTI, L.; BREITLER, J. C.; ETIENNE, H; CAMPA, C.; DOULBEAU, S.; URBAN, L.; BERTRAND, B. Influence of environmental conditions and genetic background of Arabica coffee (*C. arabica* L) on leaf rust (*Hemileia vastatrix*) pathogenesis. **Frontiers in Plant Science**, v.8, 2017. <http://doi.org/10.3389/fpls.2017.02025>

U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. Supply and Distribution Online. United States Department of Agriculture 2017. Disponível em: <<https://www.usda.gov/>>. Acesso em 27 ago. 2018.

VALE, F. X. R.; JESUS JUNIOR, W. C.; ZAMBOLIM, L. Natureza das epidemias. In: VALE, F. X. R.; JESUS JUNIOR, W. C.; ZAMBOLIM, L. (ed.). Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas. Belo Horizonte: Perffil, p.21-46, 2004.

VALE, F. X. R.; JESUS JUNIOR, W. V.; 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. (Ed.). Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas. Belo Horizonte: Editora Perffil, p.91-123, 2004a.

VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L.; COSTA, L. C.; LIBERATO, J. R.; DIAS, A. P. S. Influência do clima no desenvolvimento de doenças. In: VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W.C.J.; ZAMBOLIM, L. (Ed.). Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas. Belo Horizonte: Editora Perffil, p.49-87, 2004b.

VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L.; JESUS JUNIOR, W. C. Efeito de fatores climáticos na ocorrência e no desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1. 2000. Poços de Caldas. **Resumos expandidos...** Brasília, DF: Embrapa Café – Minasplan, 2000b.

VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L.; JESUS JUNIOR, W. V. Efeito da temperatura no período latente de *Hemileia vastatrix* BERK & BR., agente causal da ferrugem do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1. 2000. Poços de Caldas. **Resumos expandidos...** Brasília, DF: Embrapa Café – Minasplan, 2000.

VANDERMEER, J.; HAJAN-FOROODHANI, Z.; PERFECTO, I. The dynamics of the coffee rust disease: na epidemiological approach using network theory. **European Journal of Plant Pathology**, v.5, n.1, p.1-10, 2017.

VÁRZEA, V. M. P.; RODRIGUES JUNIOR., C. J.; SILVA, M. C. M. L.; GOUVEIA, M.; MARQUES, D. V.; GUIMARÃES, L. G.; RIBEIRO, A. Resistência do cafeeiro a *Hemileia vastatrix*. In: Zambolim. L. (Ed.). O Estado da Arte de Tecnologias de Produção de Café. Viçosa: Editora UFV, p.297-320, 2002.

VASCO, G. B. Análise espaço temporal da ferrugem do cafeeiro e sua relação com o clima e a nutrição mineral com K e B. 2016. 116f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

VENTURA, J. A.; COSTA, H.; LIMA, I. M. Manejo das doenças do cafeeiro conilon. In: FERRÃO, R. G.; FONECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; MUNER, L. H. (Ed.). Café conilon. Vitória: Incaper, p.435-479, 2017.

VERHAAR, M. A.; OSTERGAARD, K. K.; HIJWEGEN, T.; ZADOCS, J. C. Preventative and curative applications of *Verticillium lecanii* for biological control of cucumber powdery mildew. **Biocontrol Science and Technology**, v.7, n.4, p.543-552, 1997.

WARD, H. M. Research on the life history of *Hemileia vastatrix*, the fungus of the coffee leaf disease. **Journal of the Linnean Society - Botany**, London, v.12, p.299-335, 1882.

ZAMBOLIM, L. Current status and management of coffee leaf rust in Brazil. **Tropical Plant Pathology**, v.41, n.1, p.1-8, 2016. DOI: 10.1007/s40858-016-0065-9.

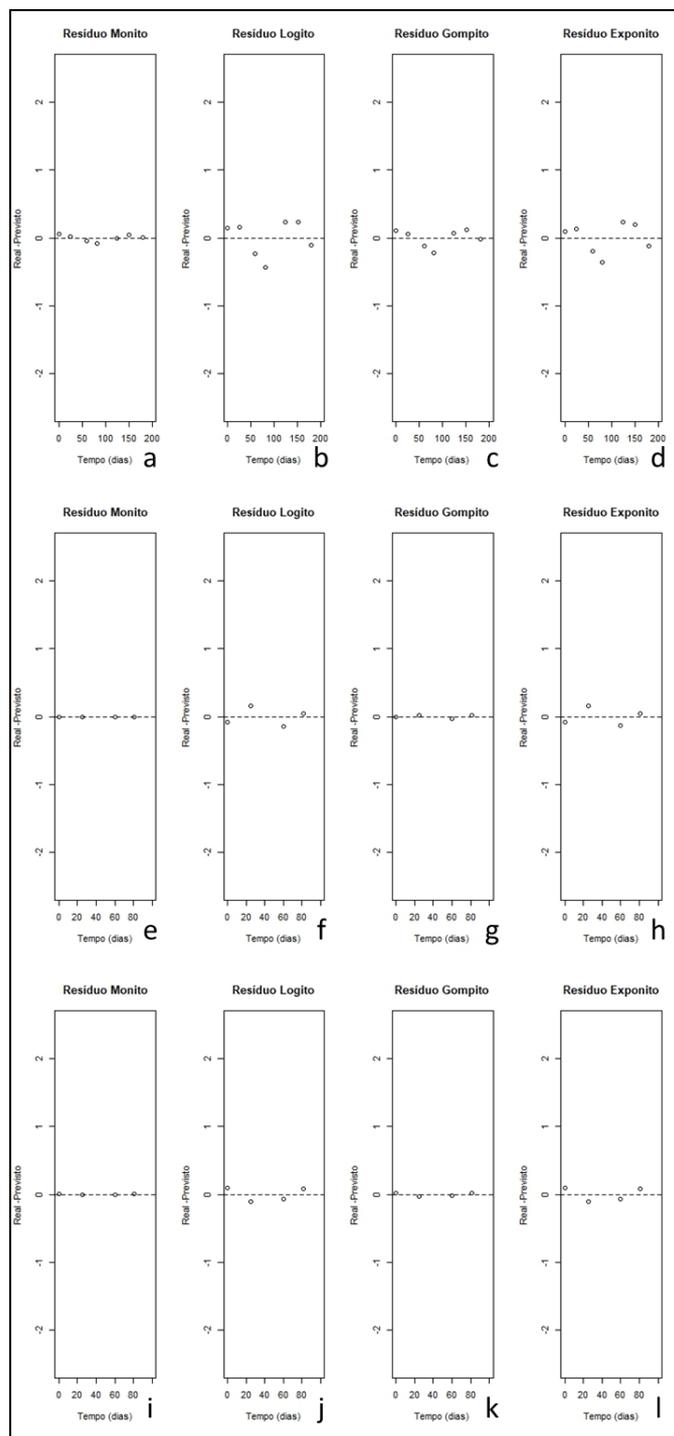
ZAMBOLIM, L. Manejo de doenças. In: FONSECA, A. F. A.; SAKIYMA, N. S.; BOREN, A. (ed.). *Café Conilon: do plantio à colheita*. Viçosa: Editora UFV. p.114-137, 2015.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R.; COSTA, H.; JULIATTI, F. C. **Manejo integrado: medidas de controle**. In: VALE, F. X. R.; JESUS JUNIOR, W. C.; ZAMBOLIM, L. *Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas*. Belo Horizonte: Editora Perffil, p.465-526, 2004.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, E. M. Doenças do cafeeiro. In: KIMATI, H.; AMORIN, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. (ed.). *Manual de fitopatologia*. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, n.1, e.4, v.2, p.163-180, 2005.

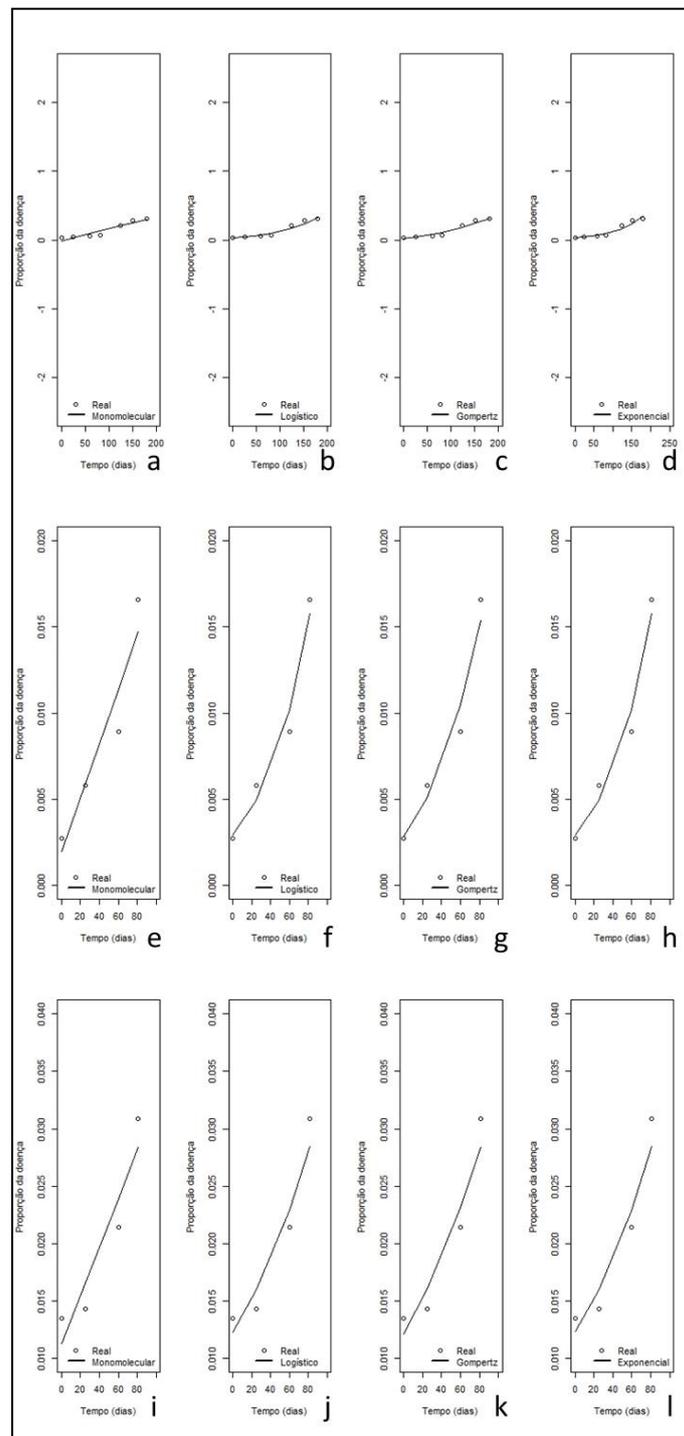
ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; JESUS JUNIOR, W. C. Manejo integrado das doenças do cafeeiro. In: TOMAZ, M. A.; AMARAL, J. F. T.; JESUS JUNIOR, W. C.; PEZZOPANE, J. R. M. (Ed.). *Seminário para a sustentabilidade da cafeicultura*. Alegre: UFES, p.169-190, 2008.

APÊNDICE A – GRÁFICOS DE DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS



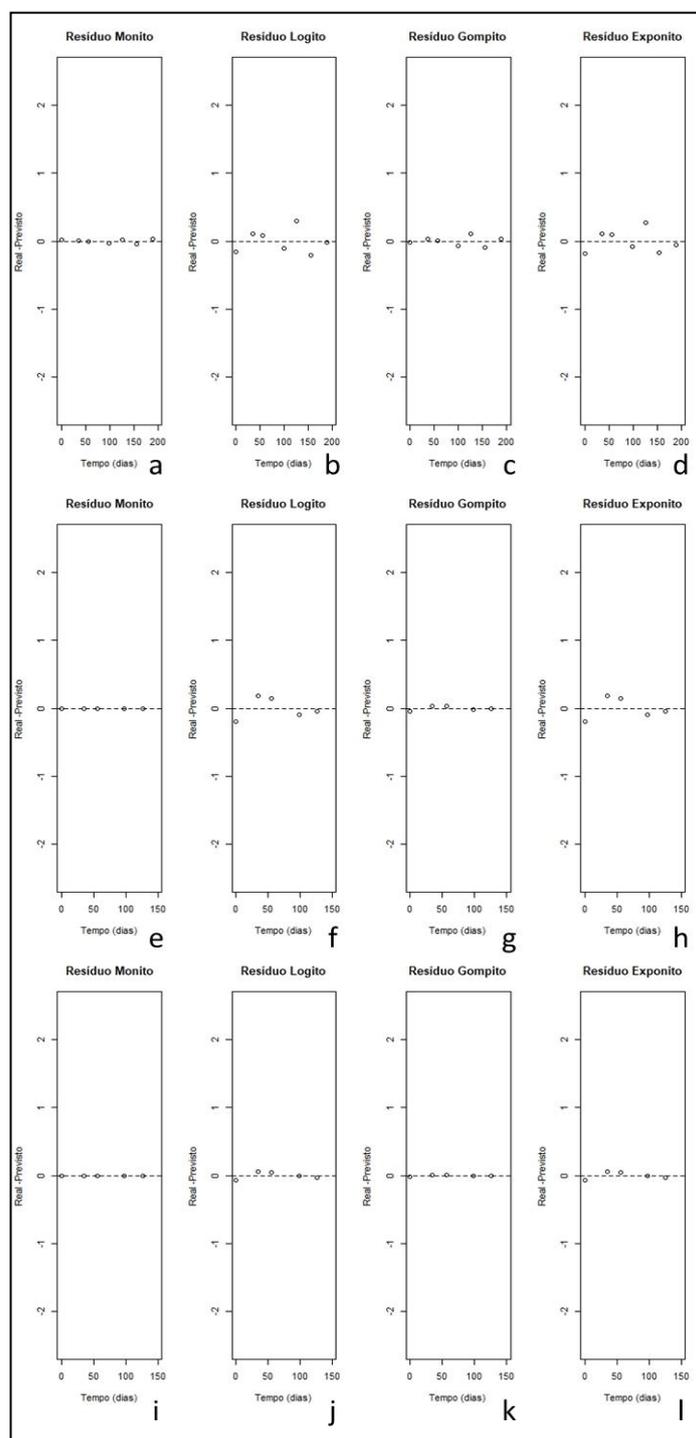
Gráficos de distribuição dos resíduos para as variáveis incidência (a – d), severidade EDCF (e – h) e severidade EDDC (i – l) quantificadas para a epidemia da doença. Cachoeiro de Itapemirim/Pacotuba, fevereiro a maio de 2018.

APÊNDICE B – GRÁFICOS DE SIMILARIDADE ENTRE A PROPORÇÃO DA DOENÇA REAL E A ESTIMADA



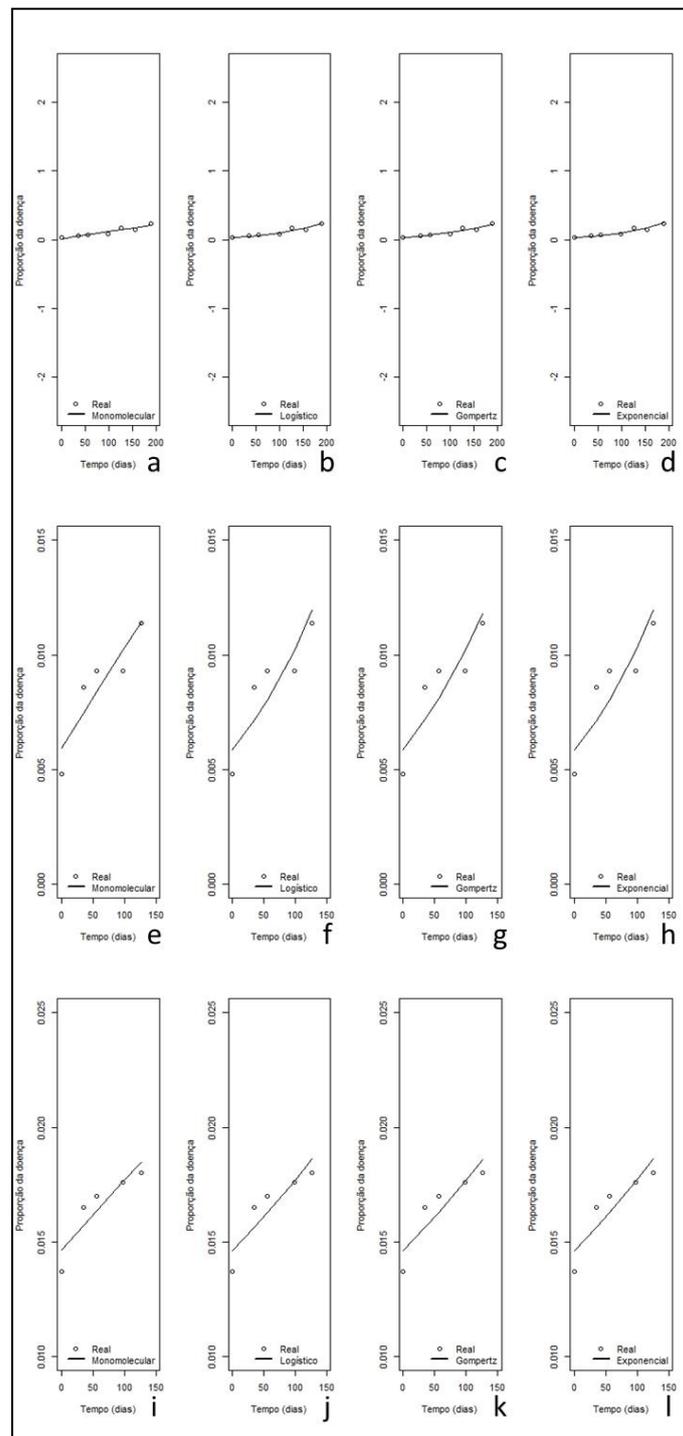
Gráficos de similaridade entre a proporção da doença real e a estimada para as variáveis incidência (a – d), severidade EDCF (e – h) e severidade EDDC (i – l) quantificadas para a epidemia da doença. Cachoeiro de Itapemirim/Pacotuba, fevereiro a maio de 2018.

APÊNDICE C – GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS



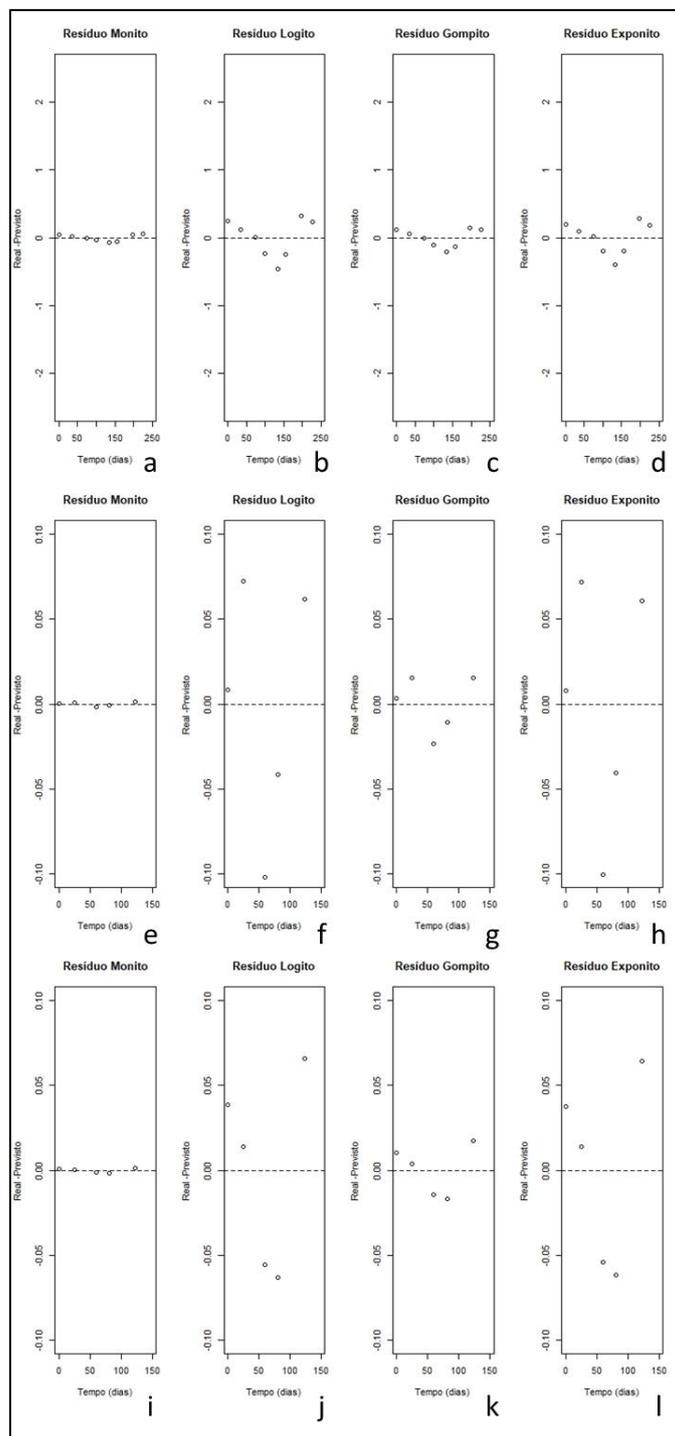
Gráficos de distribuição dos resíduos para as variáveis incidência (a – d), severidade EDCF (e – h) e severidade EDDC (i – l) quantificadas para a epidemia da doença. Jerônimo Monteiro/Santa Maria, março a julho de 2018.

APÊNDICE D – GRÁFICOS DE SIMILARIDADE ENTRE A PROPORÇÃO DA DOENÇA REAL E A ESTIMADA



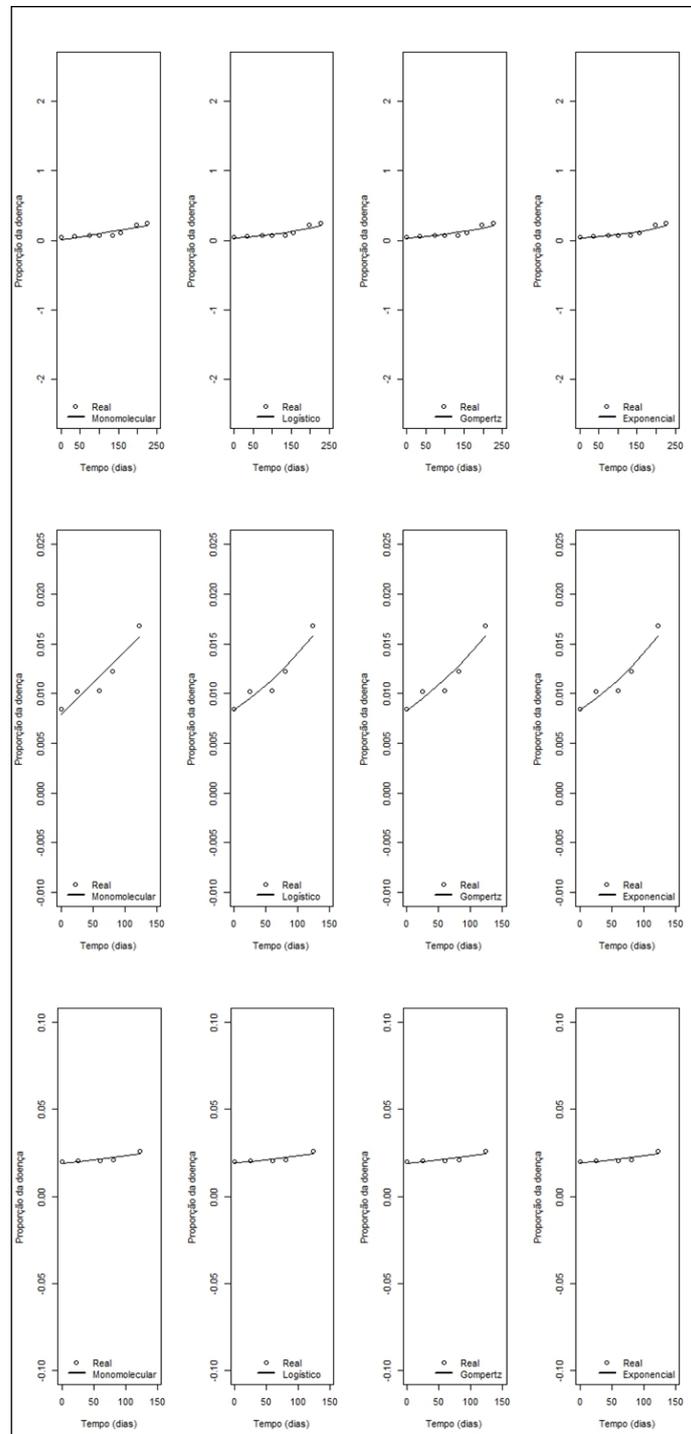
Gráficos de similaridade entre a proporção da doença real e a estimada para as variáveis incidência (a – d), severidade EDCF (e – h) e severidade EDDC (i – l) quantificadas para a epidemia da doença. Jerônimo Monteiro/Santa Maria, março a julho de 2018.

APÊNDICE E – GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS



Gráficos de distribuição dos resíduos para as variáveis incidência (a – d), severidade EDCF (e – h) e severidade EDDC (i – l) quantificadas para a epidemia da doença. Cachoeiro de Itapemirim/Boa Vista, fevereiro a junho de 2018.

APÊNDICE F – GRÁFICOS DE SIMILARIDADE ENTRE A PROPORÇÃO DA DOENÇA REAL E A ESTIMADA



Gráficos de similaridade entre a proporção da doença real e a estimada para as variáveis incidência (a – d), severidade EDCF (e – h) e severidade EDDC (i – l) quantificadas para a epidemia da doença. Cachoeiro de Itapemirim/Boa Vista, fevereiro a junho de 2018.

**APÊNDICE G – LIMITES DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS
CORRELACIONADAS COM AS VARIÁVEIS EPIDEMIOLÓGICAS: EA1**

| EA1 (<100m) – CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM/PACOTUBA | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| Período de dias avaliados antes da quantificação da doença a campo | | | | | | | | |
| | 0–10d | 0–20d | 0–30d | 0–40d | 0–50d | 0–60d | 15–45d | 30–60d |
| PREC | | | | | | | | |
| Inferior | 1.00 | 12.33 | 12.66 | 15.80 | 15.80 | 22.40 | 3.00 | 7.00 |
| Superior | 51.40 | 274.20 | 376.60 | 415.40 | 416.80 | 556.49 | 352.80 | 377.00 |
| MTMAX | | | | | | | | |
| Inferior | 28.72 | 29.10 | 29.35 | 29.44 | 29.81 | 30.04 | 29.68 | 28.64 |
| Superior | 36.26 | 35.15 | 35.46 | 34.53 | 33.91 | 34.01 | 34.14 | 35.87 |
| MTMED | | | | | | | | |
| Inferior | 21.28 | 21.24 | 21.57 | 21.62 | 21.50 | 21.66 | 21.42 | 21.57 |
| Superior | 27.68 | 27.38 | 27.68 | 27.14 | 26.78 | 26.82 | 26.88 | 27.80 |
| MTMIN | | | | | | | | |
| Inferior | 14.93 | 14.88 | 15.38 | 15.71 | 15.91 | 16.08 | 16.04 | 15.38 |
| Superior | 23.32 | 23.48 | 23.30 | 22.99 | 22.68 | 22.53 | 22.76 | 23.09 |
| MURMAX | | | | | | | | |
| Inferior | 90.83 | 89.98 | 90.51 | 90.65 | 90.15 | 90.67 | 90.01 | 90.89 |
| Superior | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| MURMED | | | | | | | | |
| Inferior | 74.52 | 73.12 | 72.55 | 71.97 | 70.76 | 70.27 | 69.50 | 68.26 |
| Superior | 88.07 | 88.00 | 87.67 | 86.57 | 86.43 | 86.28 | 86.49 | 86.16 |
| MURMIN | | | | | | | | |
| Inferior | 40.69 | 42.02 | 42.41 | 44.08 | 43.93 | 42.49 | 41.71 | 38.19 |
| Superior | 66.70 | 66.07 | 61.46 | 61.86 | 58.65 | 56.76 | 57.29 | 62.42 |
| PDMFT | | | | | | | | |
| Inferior | 64.00 | 81.00 | 127.00 | 158.00 | 172.00 | 213.00 | 92.00 | 86.00 |
| Superior | 156.00 | 323.00 | 461.00 | 595.00 | 738.00 | 873.00 | 434.00 | 446.00 |
| PDMFC | | | | | | | | |
| Inferior | 55.00 | 72.00 | 112.00 | 139.00 | 153.00 | 194.00 | 82.00 | 82.00 |
| Superior | 153.00 | 321.00 | 457.00 | 591.00 | 728.00 | 871.00 | 432.00 | 438.00 |
| PDMFD | | | | | | | | |
| Inferior | 13.00 | 18.00 | 28.00 | 31.00 | 31.00 | 31.00 | 18.00 | 3.00 |
| Superior | 39.00 | 88.00 | 118.00 | 140.00 | 166.00 | 201.00 | 93.00 | 112.00 |
| PDMFN | | | | | | | | |
| Inferior | 51.00 | 63.00 | 99.00 | 127.00 | 141.00 | 182.00 | 74.00 | 83.00 |
| Superior | 119.00 | 237.00 | 355.00 | 474.00 | 588.00 | 702.00 | 356.00 | 351.00 |
| MTMED_DPMFN | | | | | | | | |
| Inferior | 17.04 | 16.97 | 17.33 | 17.50 | 17.75 | 17.84 | 17.70 | 17.33 |
| Superior | 24.85 | 24.44 | 24.34 | 24.28 | 23.95 | 23.96 | 24.15 | 24.41 |
| MURMED_DPMFN | | | | | | | | |
| Inferior | 84.68 | 84.64 | 82.85 | 82.87 | 82.03 | 80.59 | 81.90 | 78.59 |
| Superior | 96.26 | 97.11 | 96.24 | 96.06 | 95.85 | 95.70 | 96.36 | 95.18 |

**APÊNDICE H – LIMITES DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS
CORRELACIONADAS COM AS VARIÁVEIS EPIDEMIOLÓGICAS: EA2**

| EA2 (>100m e <500m) – JERÔNIMO MONTEIRO/SANTA MARIA | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| Período de dias avaliados antes da quantificação da doença a campo | | | | | | | | |
| | 0–10d | 0–20d | 0–30d | 0–40d | 0–50d | 0–60d | 15–45d | 30–60d |
| PREC | | | | | | | | |
| Inferior | 0.00 | 9.66 | 10.99 | 16.64 | 18.97 | 64.90 | 7.65 | 12.66 |
| Superior | 83.64 | 242.62 | 342.91 | 416.74 | 485.39 | 552.41 | 420.40 | 344.91 |
| MTMAX | | | | | | | | |
| Inferior | 26.25 | 27.11 | 27.26 | 27.22 | 27.23 | 27.71 | 27.51 | 27.05 |
| Superior | 33.40 | 32.51 | 32.89 | 32.66 | 32.37 | 32.76 | 32.38 | 33.19 |
| MTMED | | | | | | | | |
| Inferior | 19.11 | 20.40 | 20.60 | 21.15 | 21.38 | 21.88 | 21.60 | 20.88 |
| Superior | 26.66 | 26.11 | 26.06 | 26.27 | 25.77 | 25.59 | 26.14 | 25.85 |
| MTMIN | | | | | | | | |
| Inferior | 15.38 | 16.76 | 16.22 | 16.55 | 16.68 | 17.00 | 16.74 | 16.52 |
| Superior | 22.86 | 22.36 | 22.20 | 22.07 | 21.76 | 21.47 | 21.86 | 21.88 |
| MURMAX | | | | | | | | |
| Inferior | 92.72 | 92.10 | 90.78 | 91.65 | 91.38 | 89.35 | 90.78 | 87.62 |
| Superior | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 99.99 | 99.75 | 100.00 | 99.99 |
| MURMED | | | | | | | | |
| Inferior | 72.93 | 75.94 | 74.38 | 74.47 | 73.71 | 71.64 | 72.40 | 68.97 |
| Superior | 89.85 | 89.50 | 89.01 | 88.84 | 89.03 | 88.56 | 89.08 | 89.01 |
| MURMIN | | | | | | | | |
| Inferior | 46.90 | 49.04 | 48.79 | 50.63 | 52.60 | 51.06 | 51.45 | 47.62 |
| Superior | 65.98 | 66.08 | 63.45 | 63.90 | 61.56 | 60.57 | 61.85 | 63.82 |
| PDMFT | | | | | | | | |
| Inferior | 43.00 | 120.00 | 159.00 | 241.00 | 309.00 | 320.00 | 185.00 | 103.00 |
| Superior | 163.00 | 316.00 | 456.00 | 607.00 | 769.00 | 912.00 | 471.00 | 456.00 |
| PDMFC | | | | | | | | |
| Inferior | 43.00 | 117.00 | 154.00 | 233.00 | 274.00 | 285.00 | 160.00 | 93.00 |
| Superior | 159.00 | 312.00 | 447.00 | 586.00 | 744.00 | 887.00 | 467.00 | 435.00 |
| PDMFD | | | | | | | | |
| Inferior | 0.00 | 11.00 | 12.00 | 22.00 | 32.00 | 42.00 | 16.00 | 10.00 |
| Superior | 74.00 | 119.00 | 139.00 | 175.00 | 249.00 | 294.00 | 170.00 | 183.00 |
| PDMFN | | | | | | | | |
| Inferior | 43.00 | 109.00 | 147.00 | 219.00 | 255.00 | 266.00 | 154.00 | 93.00 |
| Superior | 118.00 | 235.00 | 338.00 | 443.00 | 551.00 | 657.00 | 350.00 | 320.00 |
| MTMED_DPMFN | | | | | | | | |
| Inferior | 16.91 | 18.26 | 18.03 | 18.51 | 18.64 | 18.88 | 18.67 | 18.40 |
| Superior | 25.18 | 24.59 | 24.50 | 24.53 | 23.95 | 23.67 | 24.22 | 24.05 |
| MURMED_DPMFN | | | | | | | | |
| Inferior | 80.35 | 82.72 | 80.47 | 80.78 | 80.40 | 78.58 | 79.25 | 77.30 |
| Superior | 98.87 | 98.84 | 98.05 | 98.19 | 98.12 | 97.85 | 98.86 | 97.65 |

**APÊNDICE I – LIMITES DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS
CORRELACIONADAS COM AS VARIÁVEIS EPIDEMIOLÓGICAS: EA3**

| EA3 (>500m) – CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM/BOA VISTA | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| Período de dias avaliados antes da quantificação da doença a campo | | | | | | | | |
| | 0–10d | 0–20d | 0–30d | 0–40d | 0–50d | 0–60d | 15–45d | 30–60d |
| PREC | | | | | | | | |
| Inferior | 0.41 | 1.18 | 1.18 | 4.99 | 5.79 | 5.79 | 1.72 | 1.49 |
| Superior | 79.40 | 148.65 | 202.24 | 226.52 | 237.83 | 239.16 | 166.86 | 135.20 |
| MTMAX | | | | | | | | |
| Inferior | 23.41 | 24.73 | 25.50 | 24.88 | 25.59 | 25.72 | 23.31 | 25.50 |
| Superior | 31.92 | 32.04 | 32.37 | 31.50 | 30.66 | 30.83 | 31.40 | 32.79 |
| MTMED | | | | | | | | |
| Inferior | 17.93 | 18.94 | 19.53 | 19.64 | 19.73 | 19.92 | 19.34 | 19.53 |
| Superior | 24.84 | 24.91 | 25.10 | 24.45 | 23.88 | 24.08 | 24.32 | 25.29 |
| MTMIN | | | | | | | | |
| Inferior | 14.67 | 15.17 | 15.44 | 15.37 | 15.63 | 15.63 | 15.68 | 15.44 |
| Superior | 20.67 | 20.51 | 20.34 | 20.04 | 19.76 | 19.66 | 19.82 | 19.96 |
| MURMAX | | | | | | | | |
| Inferior | 95.08 | 94.26 | 93.06 | 93.00 | 92.12 | 91.17 | 91.90 | 89.47 |
| Superior | 100.00 | 99.78 | 99.33 | 99.34 | 99.37 | 99.20 | 99.77 | 99.59 |
| MURMED | | | | | | | | |
| Inferior | 76.70 | 78.85 | 76.99 | 75.86 | 74.69 | 72.93 | 72.81 | 69.19 |
| Superior | 91.22 | 92.05 | 90.60 | 90.37 | 90.17 | 89.95 | 90.81 | 89.17 |
| MURMIN | | | | | | | | |
| Inferior | 50.89 | 53.01 | 51.31 | 50.80 | 48.95 | 47.53 | 44.38 | 42.30 |
| Superior | 71.96 | 73.25 | 71.59 | 69.73 | 69.37 | 69.53 | 72.09 | 70.19 |
| PDMFT | | | | | | | | |
| Inferior | 64.00 | 160.00 | 173.00 | 243.00 | 297.00 | 339.00 | 99.00 | 98.00 |
| Superior | 163.00 | 319.00 | 445.00 | 613.00 | 762.00 | 897.00 | 467.00 | 444.00 |
| PDMFC | | | | | | | | |
| Inferior | 62.00 | 136.00 | 150.00 | 200.00 | 239.00 | 300.00 | 64.00 | 97.00 |
| Superior | 160.00 | 318.00 | 440.00 | 606.00 | 751.00 | 883.00 | 462.00 | 436.00 |
| PDMFD | | | | | | | | |
| Inferior | 14.00 | 38.00 | 48.00 | 83.00 | 120.00 | 120.00 | 54.00 | 14.00 |
| Superior | 59.00 | 101.00 | 150.00 | 191.00 | 236.00 | 281.00 | 149.00 | 155.00 |
| PDMFN | | | | | | | | |
| Inferior | 48.00 | 91.00 | 111.00 | 141.00 | 169.00 | 217.00 | 43.00 | 84.00 |
| Superior | 108.00 | 220.00 | 316.00 | 422.00 | 526.00 | 616.00 | 318.00 | 312.00 |
| MTMED_DPMFN | | | | | | | | |
| Inferior | 15.78 | 16.81 | 17.22 | 17.09 | 17.35 | 17.22 | 17.07 | 17.22 |
| Superior | 22.57 | 22.02 | 22.08 | 21.59 | 21.34 | 21.45 | 21.50 | 22.22 |
| MURMED_DPMFN | | | | | | | | |
| Inferior | 84.68 | 84.64 | 82.85 | 82.87 | 82.03 | 80.59 | 81.90 | 78.59 |
| Superior | 96.26 | 97.11 | 96.24 | 96.06 | 95.85 | 95.70 | 96.36 | 95.18 |

