

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 30/08/2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

CAMPUS DE JABOTICABAL

**MODELOS AGROMETEOROLÓGICOS PARA PREVISÃO DE
PRAGAS E DOENÇAS EM Coffea arabica L. EM MINAS
GERAIS**

Lucas Eduardo de Oliveira Aparecido

Engenheiro Agrônomo

2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

CAMPUS DE JABOTICABAL

**MODELOS AGROMETEOROLÓGICOS PARA PREVISÃO DE
PRAGAS E DOENÇAS EM Coffea arabica L. EM MINAS
GERAIS**

Lucas Eduardo de Oliveira Aparecido

Orientador: Prof. Dr. Glauco de Souza Rolim

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal)

2019

A639m Aparecido, Lucas Eduardo de Oliveira
Modelos agrometeorológicos para previsão de pragas e
doenças em Coffea arabica L. em Minas Gerais / Lucas
Eduardo de Oliveira Aparecido. -- Jaboticabal, 2019
157 p. : il., tabs., fotos, mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias,
Jaboticabal
Orientador: Glauco de Souza Rolim

1. Climatologia agrícola. 2. Big data. 3. Algoritmos. 4.
Cafeeiro. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos
pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

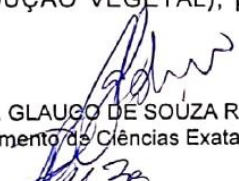
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO DA TESE: MODELOS AGROMETEOROLÓGICOS PARA PREVISÃO DE PRAGAS E DOENÇAS
EM *Coffea arabica* L. EM MINAS GERAIS**


AUTOR: LUCAS EDUARDO DE OLIVEIRA APARECIDO


ORIENTADOR: GLAUCO DE SOUZA ROLIM

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA
(PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. GLAUCO DE SOUZA ROLIM
Departamento de Ciências Exatas / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. PAULO SERGIO DE SOUZA
IFSuldeMinas / Muzambinho/MG


Prof. Dr. ALAN RODRIGO PANOSSO
Departamento de Ciências Exatas / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. CICERO TEIXEIRA SILVA COSTA
Laboratório de Irrigação-IFMS-Campus de Naviraí / Naviraí/MS


Prof. Dr. NEWTON LA SCALA JUNIOR
Departamento de Ciências Exatas / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 30 de agosto de 2019

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

LUCAS EDUARDO DE OLIVEIRA APARECIDO – Nascido em 08 de junho de 1992, no município de Nova Resende, Estado de Minas Gerais, Brasil. Ingressou no curso Técnico em Agropecuária no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sul de Minas – Campus Muzambinho, em fevereiro de 2007. No mesmo Campus, em fevereiro de 2010, ingressou no curso de Engenharia Agrônômica. Durante a graduação participou do Grupo de Pesquisa em Fruticultura, no período de 2010 a 2013. Foi bolsista da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), na modalidade de iniciação científica no período de 2011 a 2012. No ano de 2012, estagiou na Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) – Campo Experimental de Caldas e na Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, no Campus de Jaboticabal, no ano de 2013. Em fevereiro de 2014, obteve o título de Engenheiro Agrônomo. Iniciou o curso de pós-graduação *Stricto sensu* na modalidade Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal) em março de 2014, na Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, no Campus de Jaboticabal, no Departamento de Ciências Exatas sob a orientação do Prof. Dr. Glauco de Souza Rolim (*GROUP OF AGROMETEOROLOGICAL STUDIES “GAS”*), atuando em pesquisas na área de Agrometeorologia e Modelagem. Em fevereiro de 2016, obteve o título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal). Iniciou o curso de pós-graduação *Stricto sensu* na modalidade Doutorado em Agronomia (Produção Vegetal) em março de 2016 também sob a orientação do Prof. Dr. Rolim. Em junho de 2017, ingressou no serviço público federal no cargo de professor EBTT no Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (IFMS-CAMPUS NAVIRAI), na área de Engenharia Agrícola, onde leciona até o momento.

“O importante é não parar de questionar. A curiosidade tem a sua própria razão para existir.”

Einstein, Albert

DEDICO

A Deus, o grande doutor da vida.

A minha querida esposa, Adriana Ferreira de Moraes Oliveira, companheira para todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal, pela oportunidade concedida para a realização do Mestrado e Doutorado em Agronomia (Produção Vegetal).

Ao Programa de Agronomia (Produção Vegetal) e a todos os professores que, ao longo da minha formação, tive o privilégio de conviver e que foram decisivos para que eu chegasse até este momento.

Ao professor Dr. Glauco de Souza Rolim, pela orientação, confiança, incentivo e parceria ao longo dos anos de pós-graduação. Sua orientação durante esta caminhada e todas as demais, sem dúvida, foi determinante para minha formação.

Ao professor Dr. Paulo Sergio de Souza, pela orientação e parceria desde a época do curso Técnico em Agropecuária. Sua orientação inicial foi determinante para minha formação de hoje.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão de recurso financeiro e bolsa para a realização desta pesquisa, Processo nº 2015/17797-4.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul (IFMS), Campus de Naviraí, na qual iniciei e desempenho minhas atividades de docência.

A minha esposa Adriana Ferreira de Moraes Oliveira, acima de tudo uma grande companheira.

Aos grandes amigos, prof. Dr. Paulo Sergio de Souza e Gentil Luiz Miguel Filho, por todo apoio e ensinamento durante a realização do curso técnico em agropecuária, graduação e pós-graduação.

Aos meus pais, José Antônio Aparecido e Maria Regina de Oliveira Aparecido, e irmão, Renan Gabriel de Oliveira Aparecido pelo apoio, confiança investidos em minha formação.

Aos pais de minha esposa, Lourenço Afonso de Moraes e Tereza Galdina de Moraes, que sempre me ajudaram e apoiaram na minha formação pessoal e profissional.

Aos amigos de Naviraí-MS, José Reinaldo da Silva Cabral de Moraes, Guilherme Botega Torsoni, Cícero Teixeira Silva Costa, Alisson Gaspar Chiquitto, grandes amigos, que me apoiaram durante todos esses anos de docência.

Aos amigos de Jaboticabal-SP, Alexson Filgueiras Dutra, Victor Brunini Moreto, Kamila Cunha de Meneses, Taynara Valeriano, grandes amigos, que me apoiaram durante os anos de pós-graduação.

Ao Departamento de Ciências Exatas, principalmente a Zezé, Shirley e Adriana, aos professores e colegas que de alguma forma ajudaram a enxergar de forma diferente algum problema no decorrer do curso.

Aos meus queridos discentes, do curso Técnico em Agricultura e também da Engenharia Agrônômica do IFMS, que sempre dedico e busco melhorar a forma e a maneira de ensiná-los.

Enfim, agradeço a todos, professores, amigos e conhecidos que em algum momento da vida contribuí para minha formação, tanto no curso técnico, como na graduação e na elaboração deste trabalho.

Muito Obrigado!

SUMÁRIO

Resumo	ii
Abstract.....	iii
CAPÍTULO 1 - Considerações Gerais	
1 INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 2 – Models for simulating the frequency of pests and diseases of <i>Coffea arabica</i> L.	
Introduction.....	15
Material and Methods.....	17
Results and Discussion	24
Conclusion.....	50
CAPÍTULO 3 – Machine learning algorithms for forecasting the incidence of <i>Coffea arabica</i> pests and diseases	
Introduction	53
Material and Methods.....	57
Results and Discussion	64
Conclusion	93
CAPÍTULO 4 - Validation of ERA-Interim (ECMWF) surface climatic data and implications for modelling water balance	
Introduction.....	95
Material and Methods.....	97
Results and Discussion	102
Conclusion.....	128
CAPÍTULO 5 - Considerações Finais.....	130
References.....	131

MODELOS AGROMETEOROLÓGICOS PARA PREVISÃO DE PRAGAS E DOENÇAS EM *Coffea arabica* L. EM MINAS GERAIS

RESUMO: O café é a bebida mais consumida no mundo e uma das principais causas para a redução da produtividade e qualidade são os problemas fitossanitários. A estratégia mais comum de controle dessas doenças e pragas é a aplicação de fungicidas e inseticidas foliares, dependendo da intensidade dos mesmos na região. Esse método tradicional pode ser melhorado utilizando de sistemas de alertas por meio de modelos de estimativas dos índices de doenças e pragas. Este trabalho tem como OBJETIVOS: A) Calibrar as variáveis meteorológicas: temperatura do ar e precipitação pluviométrica do sistema ECMWF em relação aos dados de reais de superfície mensurados pelo sistema nacional de meteorologia (INMET) para o estado de Minas Gerais; B) Avaliar quais os elementos meteorológicos exercem maior influência nas principais pragas (broca e bicho-mineiro) e doenças (ferrugem e cercosporiose) do cafeeiro arábica nas principais localidades cafeeiras do Sul de Minas Gerais e do Cerrado Mineiro; c) Desenvolver modelos agrometeorológicos para previsão de pragas e doenças em função das variáveis meteorológicas usando algoritmos de machine learning e procurando uma antecipação temporal suficiente para tomada de decisões. MATERIAL E MÉTODOS: Para o objetivo “A” foram utilizados dados climáticos mensais de temperatura do ar (T , °C) e precipitação pluviométrica (P , mm) provenientes do ECMWF e do INMET no período de 1979 a 2017. A evapotranspiração potencial foi estimada por Thornthwaite (1948) e balanço hídrico por Thornthwaite e Mather (1955). As comparações entre o ECMWF e INMET foram realizadas pelos índices: acurácia (mean absolute percentage error, MAPE, e root mean squared error, RMSE) e precisão (coeficiente de determinação ajustado, R^2_{adj}). Para o objetivo “B” foram utilizados dados climáticos e fitossanitários de Boa Esperança, Carmo de Minas, Muzambinho e Varginha, situadas na região Sul de Minas (SO_{MG}) e as localidades de Araxá, Araguari e Patrocínio situadas na região do Cerrado Mineiro (CE_{MG}). Foram simulados a tendência de progresso das doenças e pragas ao longo de tempo usando modelos não lineares em função do índice térmico acumulado. Também foi estimada dos níveis de infestação de pragas e severidade de doenças usando regressão linear múltipla. A variável dependente foi os níveis de doenças e pragas e as variáveis independentes: graus dias (DD) acumulado, enfolhamento do café estimado por DD e número de nós estimado por DD. Para o objetivo “C” foram utilizados dados climáticos e fitossanitários da SO_{MG} e CE_{MG} . Os algoritmos calibrados e testados para a previsão das doenças e pragas do café foram 1) Regressão linear múltipla, 2) K-Neighbors, 3) Random Forest e 4) Redes Neurais. RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os maiores desvios entre P_{INMET} e P_{ECMWF} foram de 75 mm mo^{-1} e ocorreram no verão. O cafeeiro implantado no CE_{MG} tem maiores índices de doenças e pragas em relação ao café do SO_{MG} . O algoritmo random forest foi mais acurado na previsão da ferrugem, cercospora, bicho-mineiro e broca-do-cafeeiro em ambas as regiões. CONCLUSÃO: As variáveis climáticas oriundas do ECMWF são acuradas e podem modelar o balanço hídrico climatológico. É possível simular a tendência e ainda prever os índices de pragas e doenças do café usando como variáveis regressoras os dados climáticos e metodologia o *machine learning*.

PALAVRAS-CHAVE: fitopatologia, modelagem, aprendizado máquina, bigdata.

AGROMETEOROLOGICAL MODELS FOR FORECASTING PESTS AND DISEASES IN *Coffea arabica* L. IN THE STATE OF MINAS GERAIS

ABSTRACT: Coffee is the most consumed beverage in the world, but phytosanitary problems are amongst the main causes of reduced productivity and quality. The application of foliar fungicides and insecticides is the most common strategy for controlling these diseases and pests, depending on their intensity in a region. This traditional method can be improved by using alert systems with models of disease and pest indices. This work has as OBJECTIVES: A) To calibrate the meteorological variables: air temperature and rainfall of the European Center for Medium Range Weather Forecast (ECMWF) in relation to the real surface data measured by the national meteorological system (INMET) for the state of Minas Gerais; B) To evaluate which meteorological elements, and at what time, have a greater influence on the main pests (coffee borer and coffee miner) and diseases (coffee rust and cercosporiosis) of *Coffea arabica* in the main coffee regions of the South of Minas Gerais and Cerrado Mineiro; c) To develop agrometeorological models for pest and disease prediction in function of the meteorological variables of the South of Minas Gerais and Cerrado Mineiro using algorithms of machine learning with sufficient temporal anticipation for decision making. MATERIAL AND METHODS: To achieve goal "A" we used monthly climatic data (T, °C) and rainfall (P, mm) from the ECMWF and INMET from 1979 to 2015. Potential evapotranspiration was estimated by Thornthwaite (1948) and water balance by Thornthwaite and Mather (1955). The comparisons between the ECMWF and INMET were performed by the indexes: mean absolute percentage error (MAPE) and precision mean (R2adj). To achieve the goal "B" we use climatic and phytosanitary data of Boa esperança, Carmo de Minas, Muzambinho and Varginha, located in the South of Mines (SO_{MG}) and the Araxá, Araguari and Patrocínio located in the Cerrado Mineiro region (CE_{MG}). We simulate the trend of disease and pest progression over time using nonlinear models as a function of the accumulated thermal index. And we estimated levels of pest infestation and disease severity using multiple linear regression. The dependent variable was the levels of diseases and pests and the independent variables: cumulative days (DD), coffee leafage estimated by DD and number of nodes estimated by DD. To achieve the "c" objective we use the climatic and phytosanitary data of SO_{MG} and CE_{MG}. The algorithms calibrated and tested for the prediction of coffee pests and diseases were: 1) Multiple linear regression, 2) K-Neighbors Regressor, 3) Random Forest Regressor and 4) Artificial Neural Networks. The best models were selected using the MAPE, Willmott's 'd', RMSE and R² adj. RESULTS AND DISCUSSION: The largest deviations between P_{INMET} and P_{ECMWF} were 75 mm mo⁻¹ and occurred in the summer. The coffee plant implanted in CE_{MG} has higher rates of diseases and pests in relation to SO_{MG} coffee. The random forest algorithm was more accurate in the prediction of coffee rust, cercospora, coffee miner and coffee borer in both regions. CONCLUSION: The climatic variables from the ECMWF are accurate and can be used in modeling the climatological water balance. It is possible to simulate the trend and to predict coffee pests and diseases using as regressive variables the climatic data and machine learning methodology.

KEY- WORDS: plant pathology, modelling, machine learning, bigdata.

CAPÍTULO 1 - Considerações gerais

1 INTRODUÇÃO

1.1 O cultivo do Café no Brasil

O cafeeiro é uma planta perene, pertencente à família Rubiaceae (CUBRY et al., 2013). As duas espécies economicamente mais importantes do café são o *Coffea arabica* L. e *Coffea canefora* Pierre (BRAVO-MONROY et al., 2016), representando 74,92% e 25,08% da produção mundial, respectivamente (CONAB, 2019).

O café é a bebida mais consumida no mundo, apresentando várias propriedades funcionais, como por exemplo, a cafeína, aminoácidos, açúcares e compostos fenólicos (BUTT; SULTAN, 2011; KITZBERGER et al., 2013). Na atividade agrícola brasileira a cafeicultura tem grande importância (RESENDE et al., 2009; RODRIGUES et al., 2013). As áreas de produção brasileira do Café arábica se distribuem na região centro-sul (Figura 1), principalmente nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Espírito Santo (ANDRADE et al., 2012; CUBRY et al., 2013). Minas Gerais apresenta em torno de 6,9% da área total do Brasil e se destaca como maior produtor de café do país (BARBOSA et al., 2012; RONCHI et al., 2015).

CAPÍTULO 5. Considerações finais

1. Atualmente existe uma preocupação mundial a respeito dos resíduos de agroquímicos nos alimentos o que tem influenciado diretamente na comercialização mundial de determinados produtos agrícolas. Com o crescente aumento dos programas de certificação no cafeeiro a preocupação com o meio ambiente tem aumentado. Acredita-se que com a utilização dos sistemas de alertas fitossanitários haverá uma redução da aplicação de agroquímicos, como inseticidas, fungicidas, e mais empresas poderão ser certificadas.
2. As modelagens de doenças e pragas em função do clima obtidas neste trabalho (Capítulos 2 e 3) podem ser utilizadas para a elaboração de sistemas de alertas fitossanitários, buscando minimizar os impactos econômicos e ambientais causados pelas incidências dessas enfermidades no cafeeiro.
3. A falta de estações meteorológicas de superfície na área em campo para aferição dos dados climáticos, não impede de fazer as modelagens tratadas neste trabalho, como observado no capítulo 4, pode ser utilizado os dados do ERA-Interim do ECMWF, uma vez que são acurados e precisos.
4. Todas as análises desta Tese serão implementadas no futuro no sistema SISMET (<http://sismet.cooxupe.com.br:9000/>) da Cooxupé - Cooperativa Regional de Cafeicultores em Guaxupé. Assim, pelo SISMET todos os produtores da Cooxupé terão acesso às informações elaboradas neste trabalho.
5. Com os resultados alcançados neste trabalho poderá ser utilizado como base para novas pesquisas e ser trabalhado para prestação de serviços de alertas visando uma cafeicultura economicamente e ambientalmente mais sustentável.

References

- ABATZOGLOU, J. T.; DOBROWSKI, S. Z.; PARKS, S. A.; HEGEWISCH, K. C. TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015. *Scientific data*, 5, 2018. DOI: 10.1038/sdata.2017.191
- ABEDETA, C.; GETU, E.; SEYOUM, E.; HINDORF, H.; BERHANE, T. Coffee leaf damaging insects occurrence in the forest coffee ecosystem of southwestern Ethiopia. *African Journal of Plant Science*, 9(2), 75-81, 2015.
- ALBA-ALEJANDRE, I.; ALBA-TERCEDOR, J.; VEJA, F. E. 2018. Observing the devastating coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) inside the coffee berry using micro-computed tomography. *Sci. Rep.* 8(1): 1–9. doi: 10.1038/s41598-018-35324-4.
- ALLINNE, C.; SAVARY, S.; AVELINO, J. Delicate balance between pest and disease injuries, yield performance, and other ecosystem services in the complex coffee-based systems of Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 222, 1-12, 2016.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M. Modeling monthly mean air temperature for Brazil. *Theor Appl Climatol*, 113, 407-427. 2013.
- ANDRADE, F. T.; CASTRO JÚNIOR, L. G.; COSTA, C. H. G. Avaliação da cafeicultura pela abordagem do custeio variável em propriedades nas principais regiões produtoras do Brasil. *Organizações Rurais & Agroindustriais*, 14(3): 356-366, 2012.
- ANDROCIOLO, H. G.; HOSHINO, A. T.; MENEZES JÚNIOR, A.O.; MORAIS, H.; BIANCO, R. 2018. Coffee leaf miner incidence and its predation by a wasp in coffee intercropped with rubber trees. *Coffee Sci.* 13(3): 389–400.
- APARECIDO, L. E. O.; ROLIM, G. S.; RICHETTI, J.; SOUZA, P. S.; JOHANN, J. A. Köppen, Thornthwaite and Camargo climate classifications for climatic zoning in the State of Paraná, Brazil. *Ciência e Agrotecnologia* 40(4): 405-417. 2016. doi.org/10.1590/1413-70542016404003916.
- APARECIDO, L. E. O.; ROLIM, G. S. Forecasting annual yield of *Coffea arabica* L. using monthly water deficiency. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 53(12): 1299-1310 2018.
- APARECIDO, L. E. O.; ROLIM, G. S.; SOUZA, P. S. Sensitivity of newly transplanted coffee plants to climatic conditions at altitudes of Minas Gerais, Brazil. *Australian Journal of Crop Science, Queensland*, v.9, n.2, p.160 – 167, 2015.
- APARECIDO, L.E. O.; ROLIM, G. S.; MARTORANO, L.G.; MORAES, J.R. S.C.; MENESES, K.C. Neural networks in climate spatialization and their application in the agricultural zoning of climate risk for sunflower in different sowing dates. *Arch. Agron. Soil Sci.* 1–16, 2019. doi: 10.1080/03650340.2019.1566715.

APARECIDO, L.E. O.; ROLIM, G. S. Forecasting of the annual yield of Arabic coffee using water deficiency. *Pesq. agropec. bras.*, 53(12): 1299-1310, 2018.

AQUILA, V.; SWARTZ, W. H.; WAUGH, D. W.; COLARCO, P. R.; PAWSON, S.; POLVANI, L. M.; STOLARSKI, R. S. Isolating the roles of different forcing agents in global stratospheric temperature changes using model integrations with incrementally added single forcings, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, 8067–8082, 2016.

ASSIS, G. A.; GUIMARÃES, R.J.; SCALCO, M.S.; COLOMBO, A.; MORAIS, A.R.; CARVALHO, J.A.S. Correlation between coffee plant growth and yield as function of water supply regime and planting density. *Biosci. J.*, 30(3): 666-676, 2014.

AVELINO, J.; ALLINNE, C.; CERDA, R.; WILLOCQUET, L.; SAVARY, S. Multiple-Disease System in Coffee: From Crop Loss Assessment to Sustainable Management. *Annu. Rev. Phytopathol.* 56(1): 611–635, 2018.

AVELINO, J.; CRISTANCHO, M.; GEORGIU, S.; IMBACH, P.; AGUILAR, L. The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008-2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. 303–321, 2015.

AVELINO, J.; CRISTANCHO, M.; GEORGIU, S.; IMBACH, P.; AGUILAR, L.; BORNEMANN, G.; LÄDERACH, P. The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008–2013): impacts, plausible causes and proposed solutions., 7, 303–321, 2015.

BADNAKHE, M.R.; DURBHA, S.S.; JAGARLAPUDI, A.; GADE, R.M. Evaluation of Citrus Gummosis disease dynamics and predictions with weather and inversion based leaf optical model. *Comput. Electron. Agric.* 155, 130–141, 2018.

BAKER, K. M.; LAKE, T.; ROEHSNER, P.; SCHRANTZ, K. Forecasting Disease with 10-Year Optimized Models: Moving Toward New Digital Datasets. *Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics)*, 2012.

BALBINO, H. T.; FORTES, L. T. G.; PARENTE, E. G. P. Avaliação do uso do modelo climático global do Centro Europeu para antecipar a estimativa do risco associado a epidemias da ferrugem Asiática da soja. *Third international symposium of climatology.* 2009.

BARBOSA, D.H.S.G.; VIEIRA, H.D.; SOUZA, R.M.; DIAS, P.P.; VIANA, A.P. Desenvolvimento Vegetativo e Reação de Genótipos de Coffea spp . a uma População de Meloidogyne exigua Virulenta a Cultivares Resistentes. *Nematol. Bras.* 31(1): 1-9, 2007.

BARBOSA, J. N.; BOREM, F. M.; ALVES, H. M. R.; VOLPATO, M. M. L.; VIEIRA, T. G. C.; SOUZA, V. C. O. Spatial distribution of coffees from minas gerais state and their relation with quality. *Coffee Science*, 5(3): 237-250, 2010.

BARBOSA, J. N.; BORÉM, F. M.; CIRILLO, M. Â.; MALTA, M. R.; ALVARENGA, A. A.; ALVES, H. M. R. Coffee Quality and Its Interactions with Environmental Factors in Minas Gerais, Brazil. *Journal of Agricultural Science.*, 4(5), 2012.

BECHTOLD, P.; KOHLER, M.; JUNG, T.; DOBLAS-REYES, F.; RODWELL, M.J.; VIART, F.; BALSAMO, G. Advances in simulating atmospheric variability with the ECMWF model: From synoptic to decadal time-scales. *Q.J.R. Meteorol. Soc.* 134: 1337-1351, 2008.

BERGAMIN-FILHO, A.; AMORIM, L. *Doenças de plantas tropicais: epidemiologia e controle econômico*, 1st edn. Editora Agronômica Ceres, São Paulo. 1996.

BERUSKI, G. C.; PEREIRA, A. B.; JACCOUD-FILHO, D. S.; SARTORI, F. F.; SENTELHAS, P. C. Incidence and severity of white mold for soybean under different cultural practices and local meteorological conditions. *Biosci. J., Uberlândia*, v. 31, n. 4, p. 1004-1014, July/Aug. 2015.

BOTELHO, D.M. S.; RESENDE, M. L. V.; ANDRADE, V.T.; PEREIRA, A.A.; PATRICIO, F.R.A. Cercosporiosis resistance in coffee germplasm collection. *Euphytica*, 213(6), 2017. doi: 10.1007/s10681-017-1901-9.

BRAVO-MONROY, L.; POTTS, S.G.; TZANOPOULOS, J. Drivers influencing farmer decisions for adopting organic or conventional coffee management practices. *Food Policy*. 58:49-61, 2016.

BREIMAN, L. Random Forests. *Machine Learning*, 45, 5–32, 2001. doi: 10.1023/A:1010933404324.

BRUNEL-SALDIAS, N.; SEGUEL, O.; OVALLE, C.; ACEVEDO, E.; MARTÍNEZ, I. Tillage effects on the soil water balance and the use of water by oats and wheat in a Mediterranean climate. *Soil and Tillage Research*, 184, 68-77. 2018.

BUDYKO, M. I. *The heat balance of the Earth's surface*. US Department of commerce, Washington, D.C. 1958.

BUTT, M. S.; SULTAN, M. T. Coffee and its consumption: benefits and risks. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 51(3), 363–373, 2011.

CAI, J., XIAO, D.; LV, L.; YE, Y. An early warning model for vegetable pests based on multidimensional data. *Comput. Electron. Agric.* 156: 217–226, 2019.

CAIXETA, S. L.; MARTINEZ, H. E. P.; PICANÇO, M. C.; CECON, P. R.; ESPOTI, M. D. D.; AMARAL, J. F. T. Leaf-miner attack in relation to nutrition and vigor of coffee-tree seedlings. *Ciência Rural*, 34(5), 1429-1435, 2004.

CAMARGO, Â. P. DE; PEREIRA, A. R. *Agrometeorology of the coffee crop*. World Meteorological Organization, Geneva. 1994.

CAMARGO, M. B. P. de. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. *Bragantia*, 69, 239-247, 2010.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. *Bragantia*. 60,65-68, 2001.

CANTELAUBE, P.; TERRES, J.M. Seasonal weather forecasts for crop yield modelling in Europe. *Tellus*, 57, 476–487, 2005.

CANTOR, F.; BENASSI, V. L. R. M.; FANTON, C. J. Broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). In: VILELA, E. F.; ZUCCHI, R. A.; CANTOR, F. (Ed.). *Histórico e impacto das pragas introduzidas no Brasil*. Ribeirão Preto: Holos, 99-105. 2001.

CAO, F.; LIU, F.; GUO, H.; KONG, W. ZHANG, C. Fast detection of sclerotinia sclerotiorum on oilseed rape leaves using low-altitude remote sensing technology. *Sensors (Switzerland)* 18(12), 2018. doi: 10.3390/s18124464.

CARAMORI, P. H.; KATHOUNIAN, C. A.; MORAIS, H.; LEAL, A. C.; HUGO, R. G.; ANDROCIOLI, A. Arborização de cafezais e aspectos climatológicos. In: MATSUMOTO, S. N. (Ed.). *Arborização de cafezais no Brasil*. Vitória da Conquista: UESB Editions, 2004. Chapter 3, p. 19-42.

CARVALHO, A. M. D.; MENDES, A. N. G.; BOTELHO, C. E.; OLIVEIRA, A. C. B. D.; REZENDE, J. C. D.; REZENDE, R. M. Agronomic performance of coffee cultivars resistant to coffee rust in Minas Gerais State, Brazil. *Bragantia*, 71(4), 481-487, 2012.

CARVALHO, A. M.; CARDOSO, D. A.; CARVALHO, G. R.; CARVALHO, V. L. Comportamento de cultivares de cafeeiro sob a incidência das doenças da ferrugem e cercosporiose em dois ambientes de cultivo. *Coffee Science*, 12(1): 100-107, 2017.

CARVALHO, H. P.; DOURADO NETO, D.; TEODORO, R. E. F.; MELO, B. Climatological hydric balance, effective soil water storage and transpiration in coffee culture. *Biosc J.* 27(2), 221-229, 2011.

CARVALHO, L. G.; SEDIYAMA, G. C.; CECON, P. R.; ALVES, H. M. R. Modelo de regressão para a previsão de produtividade de cafeeiros no Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 8(2): 204-211, 2004.

CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M.; CASTRO, H. A.; CARVALHO, V. D. Influence of different yield levels on coffee rust evolution and on phenolic compounds on leaves. *Ciência e Agrotecnologia*, 25, 49-54, 2001.

CARVALHO, V. L.; CUNHA, R. L.; GUIMARAES, P. T. G.; CARVALHO, J. P. F. Influência do zinco na incidência de doenças do cafeeiro. *Ciênc. agrotec.* 32(3): 804-808, 2008.

CARVALHO-JUNIOR, W. C.; CALDERANO FILHO, B.; SILVA CHAGAS, C., BHERING, S. B.; PEREIRA, N. R.; PINHEIRO, H. S. K. Multiple linear regression and Random Forest model to estimate soil bulk density in mountainous regions. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51(9), 1428-1437, 2016.

CASTRO, W.; OBLITAS, J.; MAICELO, J.; AVILA-GEORGE, H. Evaluation of Expert Systems Techniques for Classifying Different Stages of Coffee Rust Infection in Hyperspectral Images. 2018.

CEGLAR, A.; TORETI, A.; LECERF, R.; VELDE, M. V. D.; DENTENER, F. Impact of meteorological drivers on regional inter-annual crop yield variability in France. *Agricultural and Forest Meteorology*, 216, 58–67, 2016.

CERDA, R.; AVELINO, J.; GARY, C.; TIXIER, P.; LECHEVALLIER, E. Primary and secondary yield losses caused by pests and diseases: Assessment and modeling in coffee. *PLoS One* 12(1): 1–17. 2017. doi: 10.1371/journal.pone.0169133.

CHALFOUN, S. M. Doenças do cafeeiro: importância, identificação e métodos de controle, First. FAEPE, Lavras. 1997.

CHAVES, E.; POZZA, E.A.; NETO, H.S.; VASCO, G.B.; DORNELAS, G.A. Temporal analysis of brown eye spot of coffee and its response to the interaction of irrigation with phosphorous levels. *J. Phytopathol.* 166(9): 613–622, 2018.

CONCEIÇÃO, C.H.C.; GUERREIRO-FILHO, O.; GONÇALVES, W. Fluctuation of leaf miner population in resistant arabica coffee cultivars to leaf rust. *Bragantia*, 64(4), 625-631, 2005.

CORNELL, J. A., BERGER, R. D. Factors that influence the coefficient of determination in single linear and nonlinear models. *Phytopathology*, 77, 63-70, 1987.

CORREIA, F. M.; MINGOTI, S. A.; D'ANGELO, J. V. H. Predição do número kappa de um digestor contínuo de celulose kraft usando análise de regressão múltipla. *Blucher Chemical Engineering Proceedings*, 1(2), 11845-11852, 2015.

COSTA, F. M. D.; ALVES, G. D. F.; SCALON, J. D.; ZACARIAS, M. S. Análise estatística das distribuições espaciais do bicho-mineiro do cafeeiro e das vespas predadoras. *Coffee Science*, 10(2), 149 - 157, 2015.

COUTO, F. T.; SALGADO, R.; COSTA, M. J.; PRIOR, V. Precipitation in the Madeira Island over a 10-year period and the meridional water vapour transport during the winter seasons. *Int. J. Climatol.* 35: 3748–3759, 2015.

CUBRY, P.; BELLIS, F.; POT, D.; MUSOLI, P.; LEROY, T. Global analysis of *Coffea canephora* Pierre ex Froehner from the Guineo-Congolese region reveals impacts from climatic refuges and migration effects. *Genet Resour Crop Evol.*, 60, 483–501, 2013.

CUSTÓDIO, A. A. P.; MORAES, J. C.; CUSTÓDIO, A. A. P.; LIMA, L. A.; FARIA, M. A. The Leaf-Miner (*Leucoptera Cof Eella*) Incidence In Coffee Culture (*Cof Ea Arabica*) Under Central Pivot Irrigation. *Coffee Science*, 4(1):16-26, 2009.

CUSTÓDIO, A. A. P.; POZZA, E. A. P.; 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*, 5(3): 214-228, 2010.

DAMATTA, F. M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Research*. 86, 99-114, 2004.

DAS, B.; NAIR, B.; REDDY, V. K.; VENKATESH. P. Evaluation of multiple linear, neural network and penalised regression models for prediction of rice yield based on weather parameters for west coast of India. *Int. J. Biometeorol.* 62(10): 1809–1822, 2018. doi: 10.1007/s00484-018-1583-6.

DEPPE, F.; MARTINI, L.; LONHMANN, M.; ADAMI, M. Validation studies of ECMWF precipitation data with observed SIMEPAR ground data. In: International workshop on crop monitoring and forecasting in south america, 2., Montevideo, 2006. Montevideo: South America Scientific Network on Crop Monitoring and Forecasting, 2006. p.83-92.

DONATELLI, M.; MAGAREY, R.D.; BREGAGLIO, S.; WILLOCQUET, L.; WHISH, J.P.M. Modelling the impacts of pests and diseases on agricultural systems. *Agric. Syst.* 155: 213–224, 2017. doi: 10.1016/j.agsy.2017.01.019.

DONG-SOON, K. I. M.; JOON-HO, L. E. E.; MYONG-SOON, Y. I. E. M. Temperature-Dependent Development of *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae) and Its Stage Emergence Models. *Environmental Entomology*, 30(2): 298-305, 2001.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. Guidelines for prediction crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper 24*, 2^o Ed, Roma 179 p., 1977.

DRIPPS, W.R.; The spatial and temporal variability of groundwater recharge within the Trout Lake basin of northern Wisconsin. PhD Thesis, University of Wisconsin, Madison, WI, USA. 2003.

ECHANDI, E. La chasparria de los cafetos causada por el hongo *Cercospora coffeicola* Berk & Cooke. *Turrialba*, 9(2), 54-67, 1959.

ECMWF. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, www.ecmwf.int. 2009.

ESQUIVEL, J. A.; PENA, F. S. Infection model for analyzing biological control of coffee rust using bacterial anti-fungal compounds. arXiv preprint arXiv:1712.08958, 2017.

FAO - Statistical Pocketbook: Coffee, Rome, 2015.

FAO, 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

FARIA, R.T.; BOWEN, W.T. Evaluation of DSSAT soil-water balance module under cropped and bare soil conditions. *Braz. arch. biol. technol.*, 46, 489-498, 2003.

FAZUOLI, L. C.; BRAGHINI, M. T.; SILVAROLLA, M. B.; GONÇALVES, W.; MISTRO, J. C.; GALLO, P. B.; GUERREIRO FILHO, O. IAC-Obatã4739 - Arabic coffee cultivar with yellow fruits and resistant to leaf rust. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 18(3), 330-333, 2018.

FERNANDES, F. L.; MANTOVANI, E. C.; BONFIM-NETO, H.; NUMES, V. V. Effects

of Irrigation, Environmental Variability and Predatory Wasp on *Leucoptera coffeella* (GuérinMénéville) (Lepidoptera: Lyonetiidae), in *Coffee Plants. Neotropical Entomology*, 38(3), 410-417, 2009.

FERNANDES, F. L.; PICANÇO, M. C.; SILVA, R. S.; SILVA, Í. W.; FERNANDES, M. E. Controle massal da broca-do-café com armadilhas de garrafa Pet vermelha em cafeeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49(8): 587-594, 2014.

FERNANDES, F. L.; PICANÇO, M. C.; SILVA, R. S.; SILVA, Í. W.; FERNANDES, M. E. Controle massal da broca-do-café com armadilhas de garrafa Pet vermelha em cafeeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.49, n.8, p.587-594. 2014.

GEERAERT, L.; BERECHA, G.; HONNAY, O.; AERTS, R. Organoleptic quality of Ethiopian Arabica coffee deteriorates with increasing intensity of coffee forest management. *J. Environ. Manage.* 231, 282–288, 2019.

GHINI, R.; TORRE-NETO, A.; DENTZIEN, A. F.; GUERREIRO-FILHO, O.; IOST, R.; PATRÍCIO, F. R.; DAMATTA, F. M. Coffee growth, pest and yield responses to free-air CO² enrichment. *Climatic Change*, 132(2), 307-320, 2015.

GHOSH, S.; BHATLA, R.; MALL, R. K.; SRIVASTAVA, P. K.; SAHAI, A. K. Aspect of ECMWF downscaled Regional Climate Modeling in simulating Indian summer monsoon rainfall and dependencies on lateral boundary conditions. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-23, 2018.

GICHIMU, B. M. Arabica coffee breeding: challenges posed by climate change. In: *Proc. 10th AFCA Conference, Kampala, Uganda*, 1-16, 2013.

GOURANGA, K.; ASHWANI, K. Forecasting rained rice yield with biomass of early phenophases, peak intercepted PAR and ground based remotely sensed vegetation indices. *Journal of Agrometeorology*. 16, 94-103, 2014.

GREE, G. Epidemiology of coffee leaf rust in the Eastern Highlands. *Newsletter - Coffee Research Institute*, 2, 16-20, 1993.

GUARNIERI, R.A.; PEREIRA, E.B.; MARTINS, F.R.; CHAN, C.S. Previsões de radiação solar utilizando modelo de mesoescala: Refinamento com redes neurais. 1º Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2007.

GUERREIRO-FILHO, O. Coffee leaf miner resistance. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 109-117, 2006.

GUJARATI, D.N., PORTER, D.C. *Basics Econometrics*. McGraw-Hill Education; 5 edition. 872p. 2011.

GÜMÜŞÇÜ, A.; TENEKECI, M. E.; BILGILI, A.V. Estimation of wheat planting date using machine learning algorithms based on available climate data. *Sustain. Comput. Informatics Syst.* 2019. doi: 10.1016/j.suscom.2019.01.010.

HADDAD, F.; MAFFIA, L. A.; MIZUBUTI, E. S. G.; TEIXEIRA, H. Biological control of

coffee rust by antagonistic bacteria under field conditions in Brazil. *Biol Control*, 49(2):114–119, 2009.

HARVEY, C.A.; SABORIO-RODRÍGUEZ, M.; MARTINEZ-RODRÍGUEZ, M.R.; VIGUERA, B.; CHAIN-GUADARRAMA, A. Climate change impacts and adaptation among smallholder farmers in Central America. *Agric. Food Secur.* 7(1): 1–20, 2018.

HINNAH, F.D.; SENTELHAS, P.C.; MEIRA, C.A.A.; PAIVA, R.N. Weather-based coffee leaf rust apparent infection rate modeling. *Int. J. Biometeorol.* 62(10): 1847–1860, 2018. doi: 10.1007/s00484-018-1587-2.

HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.103, n.1-2, p.137–157, 2000.

HUBER, L.; GILLESPIE, T.J. Modeling leaf wetness in relation to plant disease epidemiology. *Annual Review of Phytopathology*, 30, 553-577, 1992.

ICO, 2017a. International Coffee Organization (ICO) Total Production by All Exporting Countries, 31, 2017. http://www.ico.org/trade_statistics.asp?section=Statistics.

ICO, 2017b. International Coffee Organization (ICO) Country Data on the Global Coffee Trade, 2017. http://www.ico.org/profiles_e.asp.

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. *Biol Control*, 61(1):89–97, 2012.

JAME, Y. W.; CUTFORTH, W. Crop growth models for decision support systems. *Canadian Journal of Plant Science.*, 76, 9-19, 1996.

JI, W.; ADAMCHUK, V.I.; CHEN, S.; MAT-SU, A.S.; ISMAIL, A. Simultaneous measurement of multiple soil properties through proximal sensor data fusion: A case study. *Geoderma*, 341: 111–128, 2019. doi: 10.1016/j.geoderma.2019.01.006.

JONES, J. W.; BOOTE, K. J.; JAGTAP, S. S.; WILKERSON, G. G; HOOGENBOOM, G. MISHOE, J. W. SOYGRO v.5.4- Technical documentation. *Agric. Eng. Dep. Res. Rep.*, University of Florida, Gainesville, 1987.

JUNG, T.; MILLER, M.J.; PALMER, T.N.; TOWERS, P.; WEDI, N.; ACHUTHAVARIER, D.; ADAMS, J.M. High-resolution global climate simulations with the ECMWF model in Project Athena: Experimental design, model climate and seasonal forecast skill. *Journal of Climate*. 25: 3155-3172, 2012.

KIM, G.B.; JUNG, K.H.; LEE, Y.; KIM, H.J.; KIM, N. Comparison of Shallow and Deep Learning Methods on Classifying the Regional Pattern of Diffuse Lung Disease. *J. Digit. Imaging*, 31(4): 415–424, 2018. doi: 10.1007/s10278-017-0028-9.

KIM, K. S.; GLEASON, M. L.; AND TAYLOR, S. E. Forecasting site-specific leaf

wetness duration for input to disease-warning systems. *Plant Dis.* v.90, p.650-656. 2006.

KITZBERGER, C. S. G.; SCHOLZ, M. B. S.; PEREIRA, L. F. P.; VIEIRA, L. G. E.; SERA, T.; SILVA, J. B. G. D.; BENASSI, M. T. Diterpenes in green and roasted coffee of *Coffea arabica* cultivars growing in the same edapho-climatic conditions. *Journal of Food Composition and Analysis.*, 30, 52–57, 2013.

KOUADIO, L.; ADAMOWSKI, J. F.; PHUONG-NGUYEN, V.; DEO, R.C.; BYRAREDDY, V. Artificial intelligence approach for the prediction of Robusta coffee yield using soil fertility properties. *Comput. Electron. Agric.* 155, 324–338, 2018.

KRIGE, D. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. *Journal of Chemical, Metal and Mining Society of South Africa.* 52:119–139, 1951.

KRISHNA, G.; SAHOO, R.N.; SINGH, P.; BAJPAI, V.; PATRA, H. Comparison of various modelling approaches for water deficit stress monitoring in rice crop through hyperspectral remote sensing. *Agric. Water Manag.* 213, 231–244.

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

LANDIM, P. M. B. A. Statistical analysis of geological data. 2^a . ed. revisada e ampliada – São Paulo: Editora UNESP. 2003.

LASDON, L. S.; WAREN, A. D. GRG2 user's guide. Depto of general Business, Shchool of Business Administration, University of Texas, Austin, TX. 1982.

LAURENTINO, E.; COSTA, J. N. M. Descrição e caracterização biológica da broca-do-café (*Hypothenemus hampei*, Ferrari 1867) no Estado de Rondônia. 1. ed. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2004. 21 p. (Embrapa Rondônia. Documentos, 90).

LI, X.; CHEN, W.; CHENG, X.; WANG, L. A comparison of machine learning algorithms for mapping of complex surface-mined and agricultural landscapes using ZiYuan-3 stereo satellite imagery. *Remote sensing*, v. 8, n. 6, p. 514, 2016.

LÓPEZ-DUQUE, S.; FERNÁNDEZ-BORRERO, O. Epidemiologia de la mancha de hierro del cafeto (*Cercospora coffeicola* Berk. & Cook.). *Cenicafé*, 3-19, 1969.

LU, J.; EHSANI, R.; SHI, Y.; ABDULRIDHA, J.; CASTRO, A.I. Field detection of anthracnose crown rot in strawberry using spectroscopy technology. *Comput. Electron. Agric.* 135: 289–299, 2017. doi: 10.1016/j.compag.2017.01.017.

MA, S., PEI, Z.; HE, Y. Study on simulation of rice yield with WOFOST in Heilongjiang Province. *IFIP Adv. Inf. Commun. Technol.* 509: 40–51, 2019.

MACHADO, J. L.; SILVA, R. A.; SOUZA, J. C. ; FIGUEIREDO, U. J.; CARVALHO, T. A. F; MATOS, C. S. M. Pragas do cafeeiro: bioecologia e manejo integrado. Informe

Agropecuário, Belo Horizonte, 35(280), 7-13, 2014.

MADDEN, L.V.; ELLIS, M. A.; LALANCETTE, N.; HUGHES, G. Evaluation of a disease warning system for downy mildew of grapes. *Plant Disease*, St. Paul, v.84, p.549-554, 2000.

MALAU, S.; LUMBANRAJA, P.; PANDIANGAN, S.; TARIGAN, J.R.; TINDAON, F. Performance of *Coffea arabica* L. In *Changing Climate of North Sumatra of Indonesia*. *Sci. Agric. Bohem.* 49(4), 340–349, 2018. doi: 10.2478/sab-2018-0041.

MARCARI, M. A.; ROLIM, G. S.; APARECIDO, L. E. O. Agrometeorological models for forecasting yield and quality of sugarcane. *Australian Journal of Crop Science*. 9(11), 1049-1056, 2015.

MATIELLO, J.B., SANTINATO, R., GARCIA, A.W.R., ALMEIDA, S.R., FERNANDES, D.R. *Cultura de café no Brasil manual de recomendações*. Rio de Janeiro-RJ e Varginha-MG, 2010. p. 280-282.

MCDONNELL, J., LAMBKIN, K., FEALY, R., HENNESSY, D., SHALLOO, L., & BROPHY, C. Verification and bias correction of ECMWF forecasts for Irish weather stations to evaluate their potential usefulness in grass growth modelling. *Meteorological Applications*, 25(2): 292-301. 2018.

MEINHART, A. D.; DA SILVEIRA, T. F. F.; SILVA, R. A.; DAMIN, F. M.; BRUNS, R. E.; GODOY, H. T. Multivariate Optimization of Chlorogenic Acid Extraction From Brazilian Coffee. *Food Analytical Methods*, 10(9), 2943-2951, 2017.

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. *Pesq. Agropec. Bras.*, 44(3): 233-242, 2009.

MENDONÇA, J. M. A.; CARVALHO, G. A.; GUIMARÃES, R. J.; REIS, P. R.; ROCHA, L. C. D. Produtos naturais e sintéticos no controle de *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville & Perrottet, 1842) (Lepdoptera: Lyonetiidae) e seus efeitos sobre a predação por vespas. *Ciência e Agrotecnologia*, 30(5): 892-899, 2006.

MORAES, R. A.; ARRAES, C. L. Análise de Uma Metodologia Para Preenchimento de Valores Faltantes em Dados de Precipitação, Para o Estado do Paraná. *UNOPAR Cient. Exatas Tecnol.*, Londrina, v. 11, n. 1, p. 25-30, 2012.

MORAES, R. A.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Determination of total accumulated rainfall, global radiation, evapotranspiration and degree-days originated from the ECMWF model to sugar cane crop. *Eng. Agríc.*, 34(2): 322-331, 2014.

MORAES, R. A.; ROCHA, J. V.; ROLIM, G.; LAMPARELLI, R. A. C.; MARTINS, M. Evaluation of 10-day period precipitation, maximum and minimum air temperature data from the ECMWF model in Sao Paulo state. *Brazilian Journal of Irrigation and Drainage*, 3, 397-407, 2012.

MOREIRA, N. B.; LIBARDI, P. L.; SALVADOR, M. M. S.; SOUSA, H. H. F. Time-

space analysis of water balance components in an Oxisol. *Rev. Bras. Ciênc. Solo.*, 38(1): 60-72, 2014.

MORETO, V.B.; ROLIM, G. S. Estimation of annual yield and quality of 'Valencia orange' related to monthly water deficiencies. *African Journal of Agricultural Research*, 10, 543-553, 2015. DOI: 10.5897/AJAR2014.9090.

NEGM, A.; FALOCCHI, M.; BARONTINI, S.; BACCHI, B. RANZI, R. Assessment of the water balance in an Alpine climate: Setup of a micrometeorological station and preliminary results. *Procedia Environmental Sciences*, 19:275–284. 2013.

NEYMAN, J. Outline of a Theory of Statistical Estimation Based on the Classical Theory of Probability. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 236,333–380, 1937.

NUTTER, F. W. J. Quantifying the temporal dynamics of plant virus epidemics: a review. *Crop Prot* 16:603–618. 1997. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(97\)00055-0](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(97)00055-0).

OLIVEIRA, R. A.; SANTOS, R. S.; RIBEIRO, A.; ZOLNIER, S.; BARBOSA, M. H. P. Estimativa da produtividade da cana-de-açúcar para as principais regiões produtoras de Minas Gerais usando-se o método ZAEI. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, v.16, n.5, pp. 549- 557, 2012.

ORTH, R.; DUTRA, E.; TRIGO, I. F.; BALSAMO, G. Advancing land surface model development with satellite-based Earth observations. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 2016. doi:10.5194/hess-2016-628.

PEREIRA, A. R. Water balance of a podzolic soil grown with coffee trees. *Bragantia*, 45(2): 239-247, 1986.

PEREIRA, A. R.; CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. *Agrometeorologia de Cafezais no Brasil*. Campinas: Instituto Agrônômico. p.127, 2008.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. *Agrometeorology: fundamentals and practical applications*. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

PEREIRA, C. S. et al. Controle da cercosporiose e da ferrugem do cafeeiro com extrato etanólico de própolis. *Revista Ceres, Viçosa*, v. 55, n. 5, p. 369-376, set./out. 2008.

PEREIRA, C. S.; GUIMARÃES, R. J.; POZZA, E. A.; SILVA, A. A. Controle da cercosporiose e da ferrugem do cafeeiro com extrato etanólico de própolis. *Revista Ceres*, 55(5): 369-376, 2008.

PERSON, A.; GRAZZIANI, F. User guide to ECMWF forecast products. *Meteorological Bulletin M3.2*, version 4, March, 2007.

PICINI, A. G.; CAMARGO, M. B. P.; ORTOLANI, A. A.; FAZUOLI, L. C.; GALLO, P. B. Desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos para a estimativa de

produtividade do cafeeiro. *Bragantia*, Campinas, v.58, n.1, p.157-170, 1999.

PINTO, A.C.S.; POZZA, E.A.; SOUZA, P.E.; POZZA, A.A.A.; TALAMINI, V.; BOLDINI, J.M.; SANTOS, F.S. Descrição da epidemia da ferrugem do cafeeiro com redes neuronais. *Fitopatologia Brasileira*, 27, 517-524, 2002.

PLATA-RUEDA, A.; MARTÍNEZ, L. C.; COSTA, N.C.R.; ZANUNCIO, J.C.; SENA-FERNANDES, M.E. Chlorantraniliprole-mediated effects on survival, walking abilities, and respiration in the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 172: 53–58, 2019. doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.01.063.

POURMOHAMMADALI, B.; HOSSEINIFARD, S. J.; HASSAN SALEHI, M.; SHIRANI, H.; ESFANDIARPOUR-BOROJENI, I. Effects of soil properties, water quality and management practices on pistachio yield in Rafsanjan region, southeast of Iran. *Agric. Water Manag.* 213, 894–902, 2019. doi: 10.1016/j.agwat.2018.12.005.

POZZA, E. A.; CARVALHO, L. V.; CHALFOUN, S. M. Sintomas e injúrias causadas por doenças em cafeeiro. In: GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; BALIZA, D. P. (Ed.). *Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas*. Lavras: UFLA, 2010. p. 68-106.

RAVINDRANATH, A.; DEVINENI, N.; LALL, U.; LARRAURI, P.C. Season-ahead forecasting of water storage and irrigation requirements-an application to the southwest monsoon in India. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 22(10): 5125–5141, 2018.

REHMAN, T.U.; MAHMUD, M.S.; CHANG, Y.K.; JIN, J.; SHIN, J. Current and future applications of statistical machine learning algorithms for agricultural machine vision systems. *Comput. Electron. Agric.* 156, 585–605, 2019.

RESENDE, O.; ARCANJO, R. V.; SIQUEIRA, V. C.; RODRIGUES, S. Modelagem matemática para a secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiro de concreto. *Acta Scientiarum - Agronomy*, Maringá, v.1, n.2, p.189-196, 2009.

REYES, E.I.M.; FARIAS, E.S.; SILVA, E.M.P.; FILOMENO, C.A.; PLATA, M.A.B. Eucalyptus resinifera essential oils have fumigant and repellent action against *Hypothenemus hampei*. *Crop Prot.* 116: 49–55, 2019.

RITCHIE, J.T. Soil water balance and plant water stress. In: Tsuji, G.Y.; Hoogenboom, G. Thornton, P.K. (Eds.), *Understanding Options for Agricultural Production*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 41-55, 1998.

RODRIGUES, D.; CURE, J. R.; GUTIERREZ, A. P.; COTES, J. M.; CANTOR, F. A coffee agroecosystem model: II. Dynamics of coffee berry borer. *Ecological Modelling*, 248, 203–214, 2013.

RODRIGUES, R. L.; MORETTO, A. C.; GUILHOTO, J. J. M. Productive and industry structure food in paraná, from 1980 to 1995. *Revista de Economia e Agronegócio*, 4, 241-266, 2015.

ROLIM, G. S.; RIBEIRO, R. V.; AZEVEDO, F. A.; CAMARGO, M. B. P; MACHADO, E. Previsão do número de frutos a partir da quantidade de estruturas reprodutivas em laranjeiras. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30(1), 48-53, 2008.

RONCHI, C. P.; ARAÚJO, F. C.; ALMEIDA, W. L.; SILVA, M. A. A.; MAGALHÃES, C. E. O.; OLIVEIRA, L. B.; DRUMOND, L. C. D. Respostas ecofisiológicas de cafeeiros submetidos ao deficit hídrico para concentração da florada no Cerrado de Minas Gerais. *Pesq. agropec. Bras.*, 50(1): 24-32, 2015.

ROWLEY, C.; CHERRILL, A.; LEATHER, S. R.; POPE, T. W. Degree-day based phenological forecasting model of saddle gall midge (*Haplodiplosis marginata*) (Diptera: Cecidomyiidae) emergence. *Crop Protection*, 102, 154-160, 2017.

SÁ JUNIOR, A.; CARVALHO, L. G.; SILVA, F. F.; ALVES, M. C. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 108, 1-7, 2012.

SABINO, P.H.S.; REIS-JÚNIOR, F.A.; CARVALHO, G.A.; MANTOVANI, J.R. Nitrogen fertilizers and occurrence of *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville & Perrottet) in transplanted coffee seedlings. *Coffee Sci.* 13(3): 410–414, 2018.

SAHOO, S., RUSSO, T. A., ELLIOTT, J., & FOSTER, I. Machine learning algorithms for modeling groundwater level changes in agricultural regions of the US. *Water Resources Research*, v. 53, n. 5, p. 3878-3895, 2017.

SALGADO, B. G.; MACEDO, R. L. G.; CARVALHO, V. L.; SALGADO, M.; VENTURIN, N. Progresso da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro consorciado com grevilea, com ingazeiro e a pleno sol em Lavras - MG. *Ciênc. agrotec.*, 31(4), 1067-1074, 2007.

SANTANA, M. F.; ZAMBOLIM, E. M.; CAIXETA, E. T.; ZAMBOLIM, L. Population genetic structure of the coffee pathogen *Hemileia vastatrix* in Minas Gerais, Brazil. *43(5)*, 473–476, 2018.

SANTOS, L. A.; SOUZA, P. E.; POZZA, E. A.; CALDEIRA, D. M.; BOTELHO, D. M. S. Nova técnica para isolar *Cercospora coffeicola* Berkeley & Cooke, agente etiológico da cercosporiose do cafeeiro. *Coffee Science*, 9(1): 142-144, 2014.

SENTELHAS, P. C.; DALLA MARTA, A.; ORLANDINI, S.; SANTOS, E. A.; GILLESPIE, T. J.; GLEASON, M. L.. Suitability of relative humidity as an estimator of leaf wetness duration. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v. 48, p. 392-400, 2008.

SENTELHAS, P. C.; GILLESPIE, T. J.; BATZER, J. C.; GLEASON, M. L.; MONTEIRO, J. E.; PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO, M. J. Spatial variability of leaf wetness duration in different crop canopies. *Int. J. Biometeorol.*, 49, 363–370, 2005.

SENTELHAS, P. C.; GILLESPIE, T. J.; SANTOS, E. A. Leaf wetness duration measurement: comparison of cylindrical and flat plate sensors under different field conditons. *Int J Biometeorol*, v.51, p.265–273, 2007.

SHEKOOFA, A.; EMAM, Y.; SHEKOUFA, N.; EBRAHIMI, M.; EBRAHIMIE, E. Determining the most important physiological and agronomic traits contributing to maize grain yield through machine learning algorithms: a new avenue in intelligent agriculture. *PloS one*, v. 9, n. 5, 2014.

SILVA, M.G.; POZZA, E.A.; CHAVES, E.; NETO, H.S.; VASCO, G.B. Spatio-temporal aspects of brown eye spot and nutrients in irrigated coffee. *Eur. J. Plant Pathol.*, 153(3): 931–946, 2019. doi: 10.1007/s10658-018-01611-z.

SINCLAIR, T.R.; LUDLOW, M.M. Influence of soil water supply on the plant water balance of four tropical grain legumes. *Aust. J. Plant Physiol.*, 13, 319-340, 1986.

SINGH, A.; GANAPATHYSUBRAMANIAN, B.; SINGH, A. K.; SARKAR, S. Machine Learning for High-Throughput Stress Phenotyping in Plants. *Trends in Plant Science*, v.21, n.2, 2016,

SIRINUNTA, A.; AKARAPISAN, A. Screening of Antagonistic Bacteria for Controlling *Cercospora coffeicola* in Arabica Coffee. *Journal of Agricultural Technology*, 11(5), 1209-1218, 2015.

SODOUDI, S.; NOORIAN, A.; GEB, M.; REIMER, E. Daily precipitation forecast of ECMWF verified over Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 99, 39-51, 2010.

SOUZA, J. C.; REIS, P. R.; SILVA, R. A. Cafeicultor: saiba como monitorar e controlar a broca-do-café com eficiência. Lavras: Epamig, 2013b. 03 p. (Circular Técnica, 178).

SOUZA, J. C.; SOUZA, J. C.; REIS, P. R.; SILVA, R. A.; CARVALHO, T. A. F.; PEREIRA, A. B. Controle químico da broca-do-café com cyantraniliprole. *Coffee Science*, 8(4): 404-410, 2013.

SOUZA, V. C. O.; CUNHA, R. L.; ANDRADE, L. N.; VOLPATO, M. M. L.; CARVALHO, V. L.; ESMIN, A. A. A. Technical knowledge extraction applied to modeling of occurrence (*Cercospora coffeicola* Berkeley & Cooke) coffee in the southern region of Minas Gerais. *Coffee Science*, 8(1), 91-100, 2013a.

SPONGOSKI, S.; REIS, P. R.; ZACARIAS, M. S. Acarofauna da cafeicultura de cerrado em Patrocínio, Minas Gerais. *Ciênc. agrotec.*, 29(1): 9-17, 2005 .

SYVERTSEN, J. P.; GARCIA-SANCHEZ, F. Multiple abiotic stresses occurring with salinity stress in citrus. *Env. Exp. Bot.* 103:128-137, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Livro: *Fisiologia Vegetal*, 4ª edição, 719p., 2009.

TALAMINI, V.; POZZA, E. A.; SOUZA, P. E.; SILVA, A. M. Progresso da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro (*Coffea arabica* L.) Com diferentes épocas de início e parcelamentos da fertirrigação. *Ciênc. agrotec.*, 27(1), 141-149, 2003.

TEIXEIRA, V. L.; DEMONER, C. A.; BARBOSA, P. S. Avaliação dos diferentes tratamentos do controle químico da ferrugem e do bicho mineiro na difusão de

tecnologia através do sistema de tecnologia através do sistema de metodologia e treino e visita café. SPCB - Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil 5. 2007. Águas de Lindóia, SP - Resumos Expandidos.

THORNTHWAITE, C. W. An approach towards a rational classification of climate. *Geographical Review*. 38, 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. Centerton: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p. (Publications in Climatology, v. 8, n. 1).

VAN-DAM, J.C.; HUYGEN J.; WESSELING, J.G. FEDDES, R.A.; KABAT, P.; VANWALSUM, P.E.V.GROENENDIJK, P.; Theory of SWAP v. 2.0, report #1. Department Water Resources. Wageningen Agricultural University, 167p. 1997.

VASCONCELLOS, F. C.; CAVALCANTI, I. F.A. Uma avaliação das previsões do modelo regional Eta em alta resolução para dois casos de chuva intensa ocorridos na região da Serra do Mar. *Rev. Bras. de Meteorol.* v. 25, n.4, p. 501-512, 2010.

VERHAGE, F.Y.F.; ANTEN, N.P.R.; SENTELHAS, P.C. Carbon dioxide fertilization offsets negative impacts of climate change on Arabica coffee yield in Brazil. *Clim. Change* 144(4): 671–685, 2017. doi: 10.1007/s10584-017-2068-z.

VILLACORTA, A. Alguns fatores que afetam a população estacional de *Perileucoptera coffeella* Guérin-Mèneville, 1842 (Lepidoptera: Lyonetiidae) no norte do Paraná, Londrina, PR. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, 9, 23-32, 1980.

WALKER, H.E.; LEHMAN, K. A.; WALL, M.M. SIDERHURST, M. S Analysis of volatile profiles of green Hawai'ian coffee beans damaged by the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*). *J. Sci. Food Agric.* 99(4): 1954–1960, 2019.

WHEELER, D.L.; SCOTT, J.; SUNG DUNG, J. K.; JOHNSON, D.A. Evidence of a trans-kingdom plant disease complex between a fungus and plant-parasitic nematodes. *PLoS One* 14(2), 2019. doi: 10.1371/journal.pone.0211508.

XU, X.; GAO, P.; ZHU, X.; GUO, W.; DING, J. Design of an integrated climatic assessment indicator (ICAI) for wheat production: A case study in Jiangsu Province, China. *Ecol. Indic.* 101, 943–953, 2019. doi: 10.1016/j.ecolind.2019.01.059.

YANG, X.; MING, L.; CHUNJIANG, Z.; ZHENG, Z.; YANLIN, H. Early warning model for cucumber downy mildew in unheated greenhouses, *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 50:5, 1261-1268, 2007

ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R.; PEREIRA, A. A.; CHAVES, G. M. Café (*Coffea arabica* L.) controle de doenças. In: VALE, F. X. R. do; ZAMBOLIM, L. Controle de doenças de plantas: grandes culturas. Viçosa: UFV; Brasília, DF: Ministério da Agricultura e Abastecimento, 2, 83-179, 1997.