

ESTIMATIVA ANTECIPADA DA PHOMA DO CAFEIEIRO COMO CONTROLE: UM NOVO CAMINHO PARA A PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL

Guilherme Botega Torsoni¹

Rafael Fausto de Lima²

João Antonio Lorençone³

Pedro Antonio Lorençone⁴

Lucas Eduardo de Oliveira Aparecido⁵

Sistemas de produção sustentável

Resumo

A cafeicultura é uma das principais atividades do agronegócio brasileiro, com grande destaque para a produção e exportação. Entretanto, as doenças têm reduzido a produção e aumentado os custos. Dessa forma, o objetivo desse trabalho é estimar o desenvolvimento da mancha de phoma do cafeeiro utilizando regressão linear múltipla e assim, o produtor vai deixar que aplicar os produtos químicos e utilizar de métodos sustentáveis de controle da doença. Foram coletados dados de incidência de phoma de Boletins Fitossanitários da Procafé e informações climatológicas de temperatura, umidade, velocidade do vento e irradiância solar global da plataforma NASA/POWER. Foram computados os dados de evapotranspiração, duração do período de molhamento foliar e dos extratos do balanço hídrico climatológico. As variáveis independentes foram selecionadas através da correlação de Pearson e o ruído da variável dependente foi removido utilizando o método do intervalo interquartil. Os dados foram submetidos a uma Regressão Linear Múltipla e avaliados quanto a sua acurácia (RMSE) precisão (Radj). Maiores correlações negativas foram encontradas em variáveis associadas a temperatura do ar, enquanto que as maiores correlações positivas foram associadas as variáveis extraídas do balanço hídrico climatológico. O modelo obteve alta acurácia (RMSE) precisão (Radj), respectivamente 0,5368 e 0,4359. As informações fornecidas pelo modelo podem prever a incidência da mancha de phoma com 8 dias de antecedência, auxiliando os produtores rurais a realizar um manejo mais eficiente. Tais informações podem reduzir os custos de controle do patógeno além de diminuir a contaminação ambiental gerada pelo número excessivo de aplicações, além de utilizar de produtos biológicos.

Palavras-chave: Modelagem; Doenças do cafeeiro; Microclimatologia; Produtos biológicos.

¹Prof. Dr. IFMS – Campus Naviraí/MS, Departamento de física, guilherme.torsoni@ifms.edu.br.

²Aluno do Curso de Agronomia, IFMS – Campus Naviraí/MS, Departamento de agronomia, rafael.lima2@estudante.ifms.edu.br.

³Aluno do Curso de Agronomia, IFMS – Campus Naviraí/MS, Departamento de agronomia, joao.lorencone@estudante.ifms.edu.br.

⁴Aluno do Curso de Agronomia, IFMS – Campus Naviraí/MS, Departamento de agronomia, pedro.lorencone@estudante.ifms.edu.br.

⁵Prof. Dr. IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho/MG, Departamento de agronomia, lucas.aparecido@muz.ifsuldeminas.edu.br.

INTRODUÇÃO

O café é um dos principais itens do agronegócio brasileiro, superando os 47 milhões de sacas beneficiadas produzidas e 39 milhões de sacas exportadas na safra 2021 (CONAB, 2022), sendo o Estado de Minas Gerais, em especial, o Sul de Minas Gerais as principais localidades produtoras dessa ‘commodity’ (SANTOS et al., 2014).

O clima é o principal agente regulador da produtividade nas lavouras, além de interferir na relação das plantas com os microrganismos (pragas e doenças) e de afetar as condições para as operações agrícolas de campo (SENTELHAS, 2022). As doenças de plantas são as principais causas para a quebra no rendimento das culturas, resultando na perda de 10% de toda a produção global de alimentos, causadas principalmente por vírus, bactérias, oomicetos, fungos, nematóides e outras plantas parasitas (STRANGE; SCOTT, 2005; WALDAMICHAEL et al., 2022).

Dentre as principais doenças dos cafezais destacam-se a ferrugem (*Hemileia Vastatrix*), cercosporiose (*Cercospora coffeicola*) e mancha de phoma (*Phoma tarda*), sendo a última responsável por perdas nas lavouras em torno de 15% a 43% (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010), causando lesões necróticas de coloração castanho escuro (GUÉGAN et al., 2016). A principal forma de controle do fungo é por meio da utilização de agroquímicos.

O uso indiscriminado de defensivos pode provocar seleção de patógenos resistentes e contaminar o ambiente (SILVA et al., 2015). Modelos de alerta de doenças e pragas podem gerar informações importantes para subsidiar a tomada de decisões dos agricultores para realizar aplicações de agroquímicos somente quando necessário, reduzindo custos e impactos ambientais (DE OLIVEIRA APARECIDO et al., 2020).

Tendo em vista o grande potencial produtivo dos cafezais do sul de Minas Gerais, e a falta de trabalhos relacionando a clima com o desenvolvimento de doenças em lavouras de café, o objetivo desse trabalho é estimar o desenvolvimento da mancha de phoma do cafeeiro utilizando regressão linear múltipla.

Realização



Apoio



METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram coletados dados de incidência de mancha de phoma do café extraídos de Boletins de Avisos Fitossanitários da Procafé para Muzambinho (Latitude 21° 21' 52.8" S; Longitude 46° 30' 57.4" W; Altitude: 1044m), Minas Gerais, no período de setembro de 2007 a dezembro de 2021. Os valores da doença correspondem as cultivares de cafeeiros Mundo Novo e Catuaí, coletados em lavouras com carga alta e baixa, disponibilizados em porcentagem.

Foram coletados dados diários de precipitação (P, mm), temperatura máxima (TMAX, °C), mínima (TMIN, °C) e média (TMED, °C) do ar, umidade relativa (UR, %), velocidade máxima (VMAX, m/s²) mínima (VMIN, m/s²) e média (VMED, m/s²) do vento, temperatura do ponto de orvalho (TPO, °C) e irradiância solar global (QG, MJ/m²/dia⁻¹) diários obtidos da plataforma NASA/POWER (STACKHOUSE et al., 2015) no período correspondente as observações a campo. -10

De posse desses dados, foram calculados a evapotranspiração potencial (ETP, mm) pelo método de Penman e montheith (ALLEN et al., 1998) e o balanço hídrico sequencial seguindo a metodologia de Thornthwaite e Mather (1955) utilizando uma capacidade de água disponível de 100 mm. As variáveis de armazenamento de água no solo (ARM, mm), evapotranspiração real (ETR, mm), deficiência e

Além disso, foi estimado o período de duração de molhamento foliar (DPM, hr) seguindo a metodologia adotada por Lima et al (2022), estimando os valores diários de umidade relativa máxima (URMAX, %) e mínima (URMIN, %), e também, de temperatura do ar e umidade relativa para cada hora do dia, determinando o DPM através da soma do número de horas com umidade relativa superior a 90% (MONTEITH, 1957).

Um modelo de regressão linear múltipla foi utilizado para estimar a incidência da mancha de phoma do cafeeiro, usando o método dos mínimos quadrados (Equação 1). A variável dependente utilizada foi a incidência da doença, e as variáveis independentes foram os dados climáticos. Na regressão linear múltipla, a explicação da variável dependente (Y) está associada a duas ou mais variáveis independentes (PANDIS, 2016).

Realização

Apoio

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_i X_i + e_i \quad (1)$$

onde Y é o índice de cercosporiose ou a variável prevista; X_1, X_2, \dots, X_i são as variáveis independentes e $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i$, são os coeficientes de regressão.

Devido ao grande número de variáveis climáticas, foram selecionadas 16 variáveis com maior correlação com a incidência da doença, através da correlação de Pearson (Equação 2). O Coeficiente de Correlação de Pearson é um teste estatístico que explora a intensidade e o sentido do comportamento mútuo entre variáveis (MIOT, 2018). Este coeficiente pode assumir apenas valores entre -1 e 1. A correlação indica a interdependência entre duas variáveis. O cálculo do Coeficiente de Correlação de Pearson serve para detectar o grau de correlação entre as variáveis quando não se é facilmente compreendida sua interdependência (ARAUJO; DOS SANTOS; GOMES, 2019).

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum(x_i - \bar{x})^2)(\sum(y_i - \bar{y})^2)}} \quad (2)$$

onde r é o coeficiente de Correlação de Pearson, x_i e y_i são os valores das duas variáveis: X e Y, \bar{x} e \bar{y} são as médias dos valores x_i e y_i , respectivamente.

A comparação entre os dados reais e os previstos pelo modelo agrometeorológico foi realizada pelos índices de acurácia e precisão. A acurácia, consiste no quanto a estimativa está próxima do valor observado, e foi avaliada e pelo RMSE (raiz do erro ao quadrado médio). A precisão é a capacidade do modelo repetir a estimativa e foi avaliada pelo coeficiente de determinação (R^2) ajustado segundo Cornell e Berger (1987).

A fim de eliminar o ruído presente nos valores medidos, foi realizado um tratamento das informações, removendo informações discrepantes através do método do intervalo interquartil (IQR), mantendo os valores nos quais encontram entre 75% e 25% dos dados ordenados (LEROY; ROUSSEEUW, 1987).

Todas as análises foram realizadas com auxílio da linguagem python e suas bibliotecas de tratamento, visualização e modelagem de dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando a média diária para as correlações entre a incidência de phoma e as variáveis meteorológicas, pode-se explorar o comportamento das condições ambientais com o desenvolvimento da doença (Figura 1). Dentre as variáveis, as maiores correlações positivas foram obtidas para o DEF, ARM, URMAX, VMIM, VMED e VMAX. Dessa forma, conforme o aumento das variáveis citadas, maior será a ocorrência de phoma do cafeeiro (Figura 1).

Correlações positivas de 0,4, 0,44, 0,45 e 0,46 foram observadas para o DEF nos dias 18, 23, 30 e 25 respectivamente (Figura 1). Com isso, após 2 semanas da ocorrência de uma estiagem é necessário medidas preventivas para o fungo *Phoma* spp. A aplicação de adubação é uma alternativa para induzir resistência nos cafeeiro contra as principais doenças fúngicas (SILVA JÚNIOR et al., 2018).

De forma inversa, as maiores correlações negativas foram observadas principalmente nas variáveis de ARM, ETR, TMED, TPO e TMAX (Figura 1). Espera-se uma redução da incidência da doença pela influência dessas variáveis, principalmente nos dias 3 a 8 com correlações variando de -0,25 a -0,54. Quando o cafeeiro possui condições hídricas e térmicas satisfatórias seu sistema imunológico se torna mais eficiente (ZISKA et al., 2018; VENANCIO et al., 2020). De acordo com Salgado et al. (2007), umidade relativa e temperatura são as variáveis que proporcionam maior influência dos componentes biológicos de um patossistema no desenvolvimento de uma epidemia.

Realização



Apoio



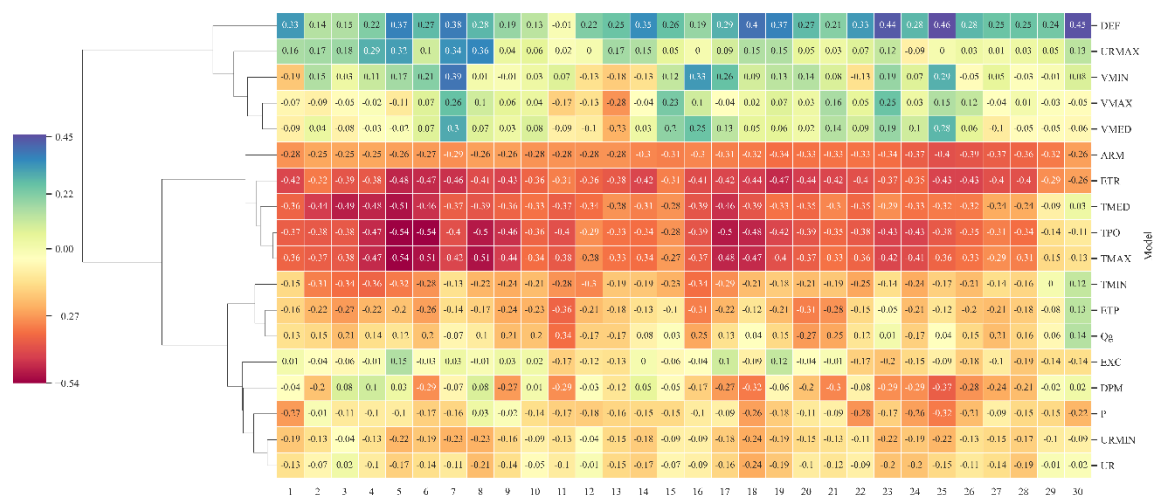


Figura 01: Média da correlação de Pearson para as variáveis climáticas utilizadas.

As variáveis independentes para a construção do modelo de regressão linear múltipla foram selecionadas separadamente, através da correlação entre os dados diários das variáveis meteorológicas e de incidência de phoma do cafeeiro (Figura 2). De modo geral, as maiores correlações negativas foram obtidas com a TMAX8 (temperatura máxima do dia 8), TPO17 (temperatura do ponto de orvalho do dia 17) e TPO8 (temperatura do ponto de orvalho do dia 8) com -0,51, -0,5 e -0,5 respectivamente. Vale apenas destacar que todas são variáveis que aferem a energia cinética do ambiente (ALLEN et al., 1998).

A elevação das respectivas temperaturas nestes momentos promove a diminuição da incidência da mancha de phoma nas lavouras de café. Já as correlações positivas para o DEF, indicam o aumento da doença sob condições de maior estresse hídrico. A implementação de sistema de irrigação em lavouras de café pode ser uma alternativa para suprir o déficit em alguns períodos específicos durante o ano, aumento a produção final (PRASAD et al., 2019).

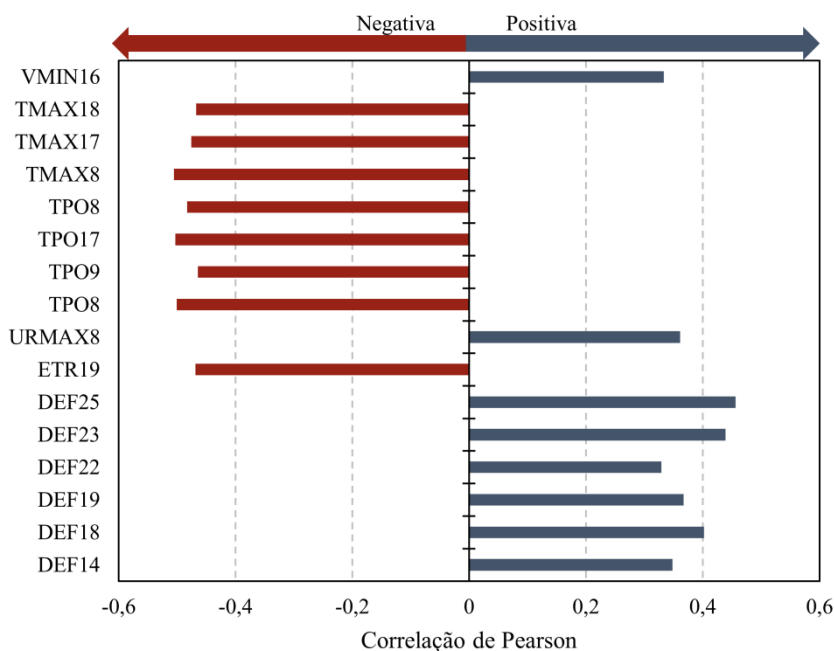


Figura 02: Valores das 16 maiores correlações entre as variáveis climáticas e a incidência de phoma em Muzambinho/MG.

A modelagem de dados por meio da regressão linear múltipla demonstrou resultados promissores para a elaboração de modelos preditivos da mancha de phoma. O modelo apresentou alta acurácia (RMSE de 0,5368) e precisão (Radj de 0,4359) (Tabela 1). Ainda, foi significativo ($F < 0,005$) indicando bom ajuste dos dados. O gráfico de performance para a previsão da mancha de phoma do cafeeiro pode ser visto na figura 3.

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,7691
R-Quadrado	0,5915
R-quadrado ajustado	0,4359
F de significação	0,0003
RMSE	0,5368

Tabela 01: Parâmetros de avaliação do modelo de regressão linear múltipla.

Realização

Apoio

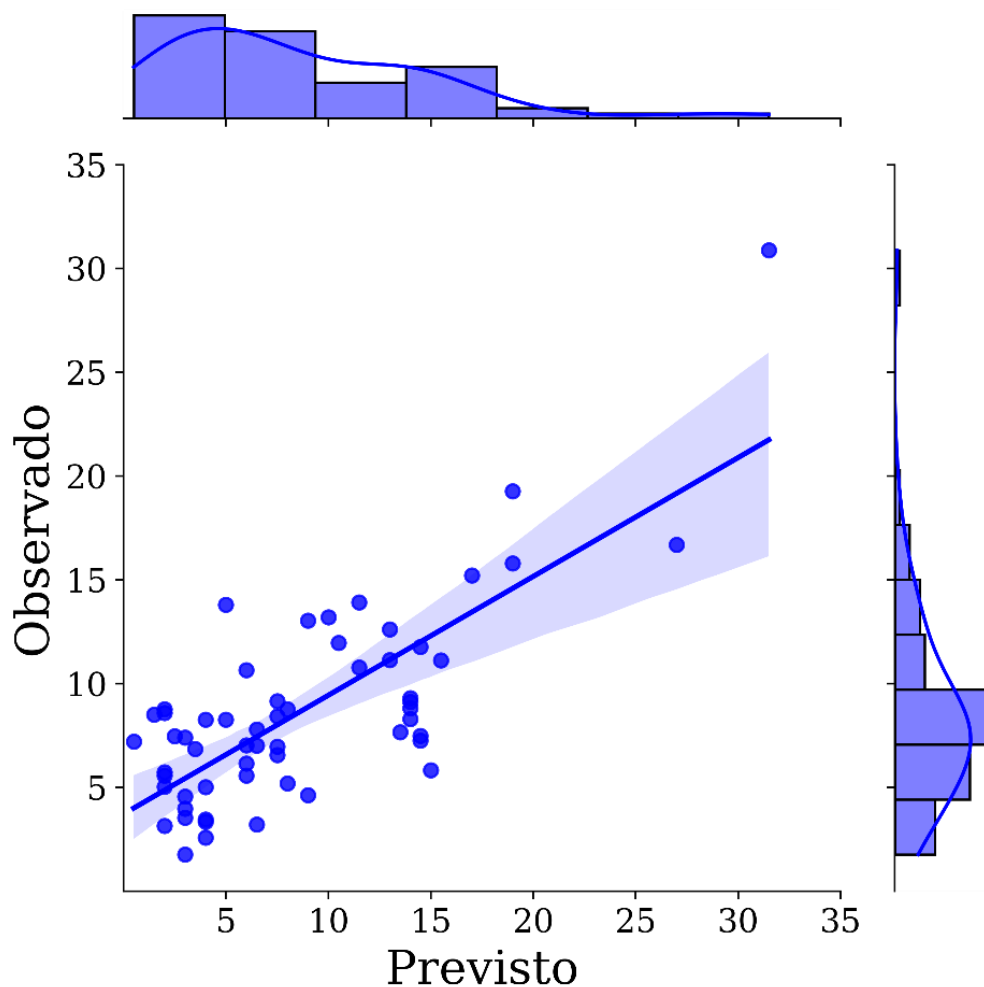


Figura 03: Comparação entre atividade 1A e evolução dos casos.

Os coeficientes calibrados para o modelo de previsão demonstraram maior influência positiva para a TMAX8 e negativa para a TPO8 com 99,04 e -98,58 respectivamente (Tabela 2). De acordo com Pozza e Alves (2008) a mancha de phoma apresenta melhor desenvolvimento sob condições de temperaturas entre 18 °C a 19 °C, altitude acima de 900 m e chuvas acima de 4 mm/dia.

Variáveis

Coefficientes

Realização

Apoio





Interseção	-1468,6608
DEF14	0,3793
DEF18	1,5902
DEF19	-0,1413
DEF22	-1,9900
DEF23	0,0163
DEF25	1,1967
ETR19	-0,3135
URMAX8	14,8635
TPO8	-98,5828
TPO9	-0,1960
TPO17	-5,7065
TPO18	-3,1728
TMAX8	99,0400
TMAX17	5,0876
TMAX18	3,0343
VMIN16	5,0745

Tabela 02: Coeficientes para o modelo de regressão linear múltipla.

Dessa forma, avaliando as condições meteorológicas é possível prever com antecedência de 8 dias a ocorrência da doença. O modelo ajustado pode subsidiar informações importantes para o desenvolvimento de alertas fitossanitários para a cafeicultura. Assim, o produtor tem mais tempo para sua tomada de decisão, podendo estudar as alternativas mais econômicas e sustentáveis para o controle da doença.

Tais informações, podem determinar o momento mais oportuno para aplicações de fungicidas, garantindo uso eficiente de insumos (VAN DEN BERG; VAN DEN BOSCH; PAVELEY, 2013). Além disso, há uma redução na contaminação ambiental causada pelos agroquímicos e GEE (Gases Causadores do Efeito Estufa), em decorrência do

Realização



Apoio



menor número de aplicações (CUADRA et al., 2020).

CONCLUSÕES

A modelagem de dados utilizando regressão linear múltipla permite estimar a incidência da mancha de phoma do cafeeiro para Muzambinho/MG, através das variáveis selecionadas. Com esse modelo os produtores vão saber o índice de Phoma antes do mesmo ocorrer e assim, poderá utilizar de métodos sustentáveis para o seu controle.

As variáveis de associadas a temperatura do ar apresentam as maiores correlações negativas, e as variáveis extraídas do balanço hídrico climatológico as maiores correlações positivas. O modelo obteve alta acurácia (RMSE) precisão (Radj), respectivamente 0,5368 e 0,4359.

O modelo pode prever com 8 dias de antecedência a ocorrência da phoma do cafeeiro, fornecendo informações para auxiliar o produtor rural no manejo da doença, reduzindo os custos e a contaminação ambiental uma vez que não vai precisar de aplicações de fungicidas. Os produtores terão tempo de utilizar de métodos sustentáveis e promover uma agricultura mais orgânica;

Trabalhos futuros utilizando técnicas de modelagem mais sofisticadas com aprendizado de máquina, devem ser realizados afim de extrair com maior eficiência modelos capazes de compor sistemas de alertas fitossanitários.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) - Processo: APQ-00065-21. Ao IF Sul de Minas e ao IFMS pelo apoio e estrutura para o desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G. et al. FAO irrigation and drainage paper no. 56. **Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.** 1998.

Realização



Apoio





ARAUJO, J. V. G. A.; DOS SANTOS, M.; GOMES, C. F. S. Desenvolvimento de um código em Python para geração de Matrizes de Correlação de Pearson com laços a partir de “n” variáveis tomadas duas a duas. **Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha, Rio de Janeiro, RJ, Brasil**, 2019.

CONAB, C. N. D. A. C. **Acompanhamento da safra brasileira: café**. Conab, 2022. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/infoagro/safra>>. Acesso em: 25 jul. 2022

CORNELL, J. A.; BERGER, R. D. Factors that influence the coefficient of determination in single linear and nonlinear models. v. 77, p. 63–70, 1987.

CUADRA, S. V. et al. Modelagem agroambiental e a transformação digital da agricultura. **Embrapa Agricultura Digital-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2020.

DE OLIVEIRA APARECIDO, L E et al. Machine learning algorithms for forecasting the incidence of Coffea arabica pests and diseases. **International Journal of Biometeorology**, v. 64, n. 4, p. 671-688, 2020.

GUÉGAN, S. et al. **Ten-year experience of cutaneous and/or subcutaneous infections due to coelomycetes in France**. Open forum infectious diseases. **Anais...**Oxford University Press, 2016.

LIMA, R. F. et al. Agroclimatic zoning for the incidence of brown eye spot on coffee under climate change scenarios. **Theoretical and Applied Climatology**, p. 1-26, 2022.

MIOT, H. A. Correlation analysis in clinical and experimental studies. **Jornal Vascular Brasileiro**, v. 17, p. 275-279, 2018.

MONTEITH, J. L. Dew. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 83, n. 357, p. 322-341, 1957.

PANDIS, N. Multiple linear regression analysis. **American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics**, v. 149, n. 4, p. 581, 2016.

POZZA, E. A.; ALVES, M. C. Impacto potencial de mudanças climáticas sobre as doenças fúngicas do cafeeiro no Brasil. In: GHINI, R.; RAMADA, E. (Ed.). **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil**. Brasília: EMBRAPA, 2008. p. 220- 238.

POZZA, E. A.; CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M. Sintomas de 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: Editora da UFLA, 2010. p. 69-101.

PRASAD, K. A. et al. An assessment of factors determining the productivity of coffee in western hills of Nepal. **International Journal of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine**, v. 7, n. 2, p. 11-17, 2019.

ROUSSEUW, P.; LEROY, A. Robust regression and outlier detection: Wiley Interscience. **New York**, 1987.

Realização

Apoio



SALGADO, B. G. et al. Progress of rust and coffee plant cercosporiose mixed with grevillea, with ingazeiro and in the full sunshine in Lavras-MG. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 31, p. 1067-1074, 2007.

SANTOS, L. S. D. et al. Incidência da mancha de phoma em cafeeiro irrigado por gotejamento, sob diferentes manejos de irrigação. 2014.

SENTELHAS, P. C. Variabilidade e mudanças climáticas no contexto da agricultura irrigada. Agricultura irrigada no Brasil: **ciência e tecnologia**, p. 397: il, 2022.

SILVA JÚNIOR, M. B. DA et al. Foliar fertilizers for the management of phoma leaf spot on coffee seedlings. **Journal of Phytopathology**, v. 166, n. 10, p. 686–693, 2018.

STACKHOUSE, P. W.; WESTBERG, D.; HOELL, J. M.; CHANDLER, W. S.; ZHANG, T. Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER)-Agroclimatology methodology-(1.0 latitude by 1.0 longitude spatial resolution). **Predict. Worldw. Energy Resour. POWER-Agroclimatol. Methodol.-10 Latit**, v. 10, 2015.

STRANGE, R. N.; SCOTT, P. R. Plant disease: a threat to global food security. **Annual review of phytopathology**, v. 43, n. 1, p. 83-116, 2005.

THORHNWAITE, C.; MATTER, J. The water balance, publication in climatology. Centerton: Drexel Institute of Technology, 1955.

VAN DEN BERG, F.; VAN DEN BOSCH, F.; PAVELEY, N. D. Optimal fungicide application timings for disease control are also an effective anti-resistance strategy: A case study for *Zymoseptoria tritici* (*Mycosphaerella graminicola*) on wheat. **Phytopathology**, v. 103, n. 12, p. 1209-1219, 2013.

VENANCIO, L. P. et al. Impact of drought associated with high temperatures on *Coffea canephora* plantations: a case study in Espírito Santo State, Brazil. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1-21, 2020.

WALDAMICHAEL, F. G. et al. Machine Learning in Cereal Crops Disease Detection: A Review. **Algorithms**, v. 15, n. 3, p. 75, 2022.

ZISKA, L. H. et al. Climate change, carbon dioxide, and pest biology, managing the future: Coffee as a case study. **Agronomy**, v. 8, n. 8, p. 152, 2018.