

USO DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA ESTIMATIVA DE CERCOSPORIOSE DO CAFEIEIRO PARA PATROCÍNIO/MG

CABRAL, C. D.¹; PADILHA, F. C.¹; APARECIDO, L. E. de O.¹; JÚNIOR, G. G. de O.¹; CORSINI, F. dos S.²

¹IFSULDEMINAS campus Muzambinho; ²IFSULDEMINAS campus Machado

RESUMO

A cafeicultura é uma das principais atividades do agronegócio brasileiro, sendo cada vez mais acometida ao ataque de doenças. O objetivo deste trabalho foi estimar a incidência de Cercosporiose do café no município de Patrocínio, Minas Gerais, em função de variáveis climáticas. Foram coletados dados de incidência de Cercosporiose de Boletins Fitossanitários da Procafé e informações climatológicas da plataforma NASA/POWER. Os dados foram submetidos a uma Regressão Linear Múltipla. O modelo criado para estimar a incidência da doença passou por avaliações e não é considerado satisfatório. As variáveis climáticas que demonstraram maior influência na previsão da Cercosporiose do café para esta localidade foram temperatura média do ar e pressão de vapor de saturação.

Palavras-chave: Café; Doença; Previsão; Agrometeorologia; Clima.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e exportador de café e segundo maior consumidor da bebida do mundo (MAPA, 2018). A produção brasileira, em 2021, chegou a 47,7 milhões de sacas de 60 kg beneficiadas (CONAB, 2021). As exportações de café neste mesmo ano alcançaram 40,6 milhões de sacas (considerando a soma do Arábica, Conillon, solúvel, e torrado), gerando uma receita cambial aproximada de US\$ 6,3 bilhões (CECAFÉ, 2021).

Segundo a CONAB (2020), Minas Gerais é o maior produtor do país. O estado alcançou 22,1 milhões de sacas de café beneficiado, em 2021. O Cerrado mineiro (Triângulo, Alto Paranaíba e Noroeste) produziu 4,8 milhões sacas, mesmo enfrentando condições climáticas adversas ao longo do ciclo e bienalidade negativa. A área em produção chegou a 189.604 hectares com uma produtividade de 25,2 sc/ha (CONAB, 2021).

Patrocínio é um município localizado na região do Triângulo Mineiro, no Alto Paranaíba, em Minas Gerais. Sua economia é baseada na agropecuária, destacando-se a cultura do café, devido à alta produtividade e qualidade dos grãos, compreendendo cerca de 80% da mesma (SANTOS, 2005; OLIVEIRA, 2018). É considerado o maior produtor de café do país. Em 2020, a produção chegou a 76.204 toneladas e foram colhidos 43.595 hectares, totalizando um rendimento médio de 1.748 kg/ha (IBGE, 2020).

Cercosporiose é uma doença causada pelo fungo *Cercospora coffeicola* Berk & Cook. Sua disseminação ocorre de forma generalizada e atinge todos os estágios de desenvolvimento do cafeeiro, do viveiro ao campo (MESQUITA et al., 2016).

De acordo com Silva e Giunti (2014) o fungo ataca folhas e frutos do cafeeiro. Nas folhas, ele penetra por aberturas naturais na face superior ou cutícula. As perdas na produção podem chegar a 30% (CARVALHO; CHALFOUN; CUNHA, 2013). Esta doença causa amarelecimento e intenso desfolhamento nas mesmas, além de seca de ramos produtivos e queda prematura de frutos (MARTINS, MAFFIA, MIZUBUTI, 2008; BOTELHO et al., 2019).

Além disso, quando os frutos são atacados ainda verdes, pode ocorrer uma maturação induzida da casca ao redor da mancha, prejudicando a qualidade da bebida, em decorrência de processos fermentativos. A percentagem de café descascado também pode reduzir, uma vez que a parte da casca necrosada fica fortemente aderida ao pergaminho, impedindo a sua remoção por ocasião do descascamento (MESQUITA et al., 2016).

Elementos como alta umidade relativa do ar, temperaturas entre 10°C a 25°C, excesso de luminosidade, solos muito arenosos, com baixo teor de matéria orgânica, estresse hídrico e deficiências nutricionais (principalmente de nitrogênio), são condições favoráveis ao desenvolvimento da doença (SILVA; GIUNTI, 2014; FERRÃO et al., 2017; SENAR, 2017).

Segundo Trentin (2006) sistemas de previsão de incidência de doenças com base nas condições ambientais ajudam na tomada de decisões para a aplicação de defensivos agrícolas, pois mostram os períodos de condições favoráveis para o seu maior desenvolvimento.

É evidente que a Cercosporiose do café causa danos potenciais em sua produção. Assim, o presente trabalho visou estimar a incidência de *Cercospora coffeicola* no importante município produtor de café, Patrocínio, Minas Gerais, em função de variáveis climáticas.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram coletados dados de incidência de Cercosporiose do café em Boletins de Avisos Fitossanitários da Procafé para Patrocínio (Latitude 18° 59' 35''S; Longitude 46° 59' 01''W; Altitude: 961m), Minas Gerais, de Setembro de 2010 a Março de 2021. Os valores da doença correspondem as cultivares de cafeeiros *Mundo Novo* e *Catuai*, coletados em lavouras com carga alta e baixa, e estão em porcentagem.

Os dados climáticos de armazenamento (ARM), déficit hídrico (DEF), duração do período de molhamento foliar (DPM), evapotranspiração potencial (ETP), evapotranspiração real (ETR), excedente hídrico (EXC), precipitação pluviométrica (P), radiação solar incidente (Qg), radiação solar no topo da atmosfera (Qo), saldo de radiação (Rn), temperatura do ponto de orvalho (TDEW), temperatura máxima do ar (TMAX), temperatura média do ar (TMED), temperatura mínima do ar (TMIN), umidade relativa do ar (UR), velocidade máxima do vento (VMAX), velocidade média do vento (VMED), velocidade mínima do vento (VMIN), pressão

atual de vapor (ea) e pressão de vapor de saturação (es) foram coletados para esta mesma localidade na plataforma National Aeronautics and Space Administration/Prediction of WorldWide Energy Resources – NASA/POWER.

Para estimar a incidência de Cercosporiose em função das variáveis climáticas, realizou-se a *Regressão Linear Múltipla*. Os valores de Cercosporiose são as variáveis dependentes e os elementos climáticos as independentes. Devido ao grande número de variáveis climáticas, foram selecionadas somente as que haviam maior correlação com a incidência da doença, através da análise de *Correlação de Pearson*. Todas as análises foram realizadas com auxílio do software Microsoft® Office Excel®.

A análise de correlação é um método estatístico que estuda o grau de relacionamento entre variáveis (LIRA, 2004). O Coeficiente de *Correlação de Pearson* (Equação 1) mede a direção e grau com que duas variáveis, de tipo quantitativo, se associam linearmente, tendo seus valores variando entre -1 a +1. O sinal indica direção (perfeita correlação negativa ou inversa e positiva ou direta, respectivamente) e o valor a força entre as variáveis. Assim, quando a correlação é positiva, ambos os valores das variáveis aumentam (diretamente proporcionais), e negativa, á medida que uma variável cresce as outras decrescem (indiretamente proporcionais). Escores em proximidade de +1 ou -1 apresentam maior grau de dependência estatística linear entre as variáveis e próximos de zero menor força de relação (MARTINS, 2014; FILHO; JÚNIOR, 2009).

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum (x_i - \bar{x})^2)(\sum (y_i - \bar{y})^2)}} \quad (1)$$

r = Coeficiente de Correlação de Pearson

x_i e y_i = valores das duas variáveis: X e Y

\bar{x} e \bar{y} = médias dos valores x_i e y_i , respectivamente.

Segundo Chein (2019), na análise estatística de regressão, o objetivo é sempre verificar a existência de uma relação funcional (dependência estatística) entre variáveis. Na *Regressão Linear Múltipla* (Equação 2) tem-se uma variável dependente (Y) que será explicada por duas ou mais variáveis independentes. É uma extensão da análise linear simples. Esta análise visa estabelecer uma equação que estime valores de Y para valores dados das variáveis independentes (PETERNELLI, 2005).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \varepsilon \quad (2)$$

Y = a variável dependente, a ser prevista;

β_0 = interceptação y, que é o valor de y quando todos os outros parâmetros são definidos como 0 (variáveis independentes e termo de erro);

$\beta_1 X_1 = \beta_1$ é o coeficiente da primeira variável independente (X_1);

“...” = As variáveis adicionais;

e = erro do modelo (variação existente na previsão de y).

De acordo com Minitab (2019), depois de ajustar um modelo linear usando análise de regressão, precisa-se determinar se o modelo foi bem ajustado aos dados (conjunto de observações). Para a avaliação do modelo, entre incidência observada e estimada de Cercosporiose, foram utilizados o *RMSE* para verificar a acurácia (Equação 3) e o R^2 para precisão (Equação 4).

O erro médio quadrático da raiz (RMSE) é o desvio padrão dos resíduos (erros de predição). Esta medida expressa o erro médio do modelo preditivo (valores estimados), em relação aos dados originais (valores observados), indicando o quão disperso estão os dados da linha de regressão, sendo comumente utilizado em Climatologia. Quanto mais seus valores estiverem próximos de 0, melhor, pois tem menos erros (GLEN, 2016; REZENDE, 2018).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Predicted_i - Actual_i)^2}{N}} \quad (3)$$

Predicted_i= valor da variável estimada (Cercosporiose estimada)

Actual_i= valores da variável observada (Cercosporiose observada)

N= tamanho da amostra ou número de dados

O R^2 (coeficiente de determinação) é uma medida estatística que indica a proximidade dos dados da linha de regressão ajustada. O seu valor está entre 0 a 1. Quanto mais próximo de 1 (maior o R^2) melhor o modelo se ajusta aos dados (MINITAB, 2019).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Yest_i - \bar{Y}obs)^2}{\sum_{i=1}^n (Yest_i - \bar{Y}obs)^2 - \sum_{i=1}^n (Yest_i - Yobs_i)^2} \quad (4)$$

Yest_i= valores da variável estimada (Cercosporiose estimada)

Yobs_i= valor da variável observada (Cercosporiose observada)

n= número de valores

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variações mensais da Cercosporiose do café em carga alta e carga baixa (Figura 1) demonstram que cafeeiros com carga alta apresentam maiores incidências de Cercosporiose. Isso pode ser explicado pela bienalidade do cafeeiro. Esse assunto também é destacado por Garcia, Rodrigues e Costa (2000) que afirmam que doenças fúngicas, como a ferrugem e

cercosporiose do cafeeiro, estão relacionadas com a carga pendente do cafeeiro, pois o mesmo é uma planta bienal, ou seja, apresentam alternância de alta e baixa produção a cada dois anos, sendo justamente nos anos de alta produção o mais elevado grau de severidade de ataque delas.

A bienalidade de produção em cafeeiros é um fenômeno que expressa diferenciais expressivos entre a produção de frutos e safras colhidas, uma vez que em um ano condiciona a uma carga alta de frutos e no ano seguinte, uma diminuição, com carga baixa (MATIELLO, 2017). Este efeito é explicado fisiologicamente pela ocorrência entre as funções vegetativas e reprodutivas do cafeeiro. Em anos de grande produção, a maior parte da atividade metabólica da planta é absorvida para o desenvolvimento dos frutos, de modo que há a redução do desenvolvimento vegetativo, e no ano posterior, ocorre o inverso (FERRAZ, 2013).

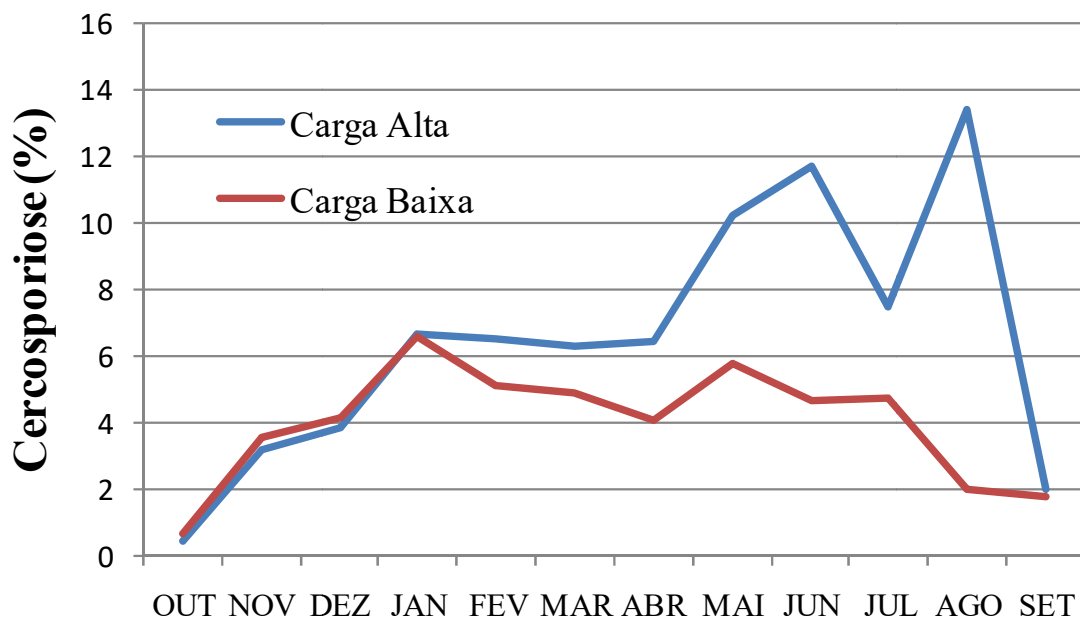


Figura 1. Variação mensal da Cercosporiose do café em carga alta e carga baixa na localidade de Patrocínio, Minas Gerais.

Observa-se também que a incidência da Cercosporiose aumenta a partir de outubro, podendo estar relacionado ao aumento da precipitação pluviométrica a partir deste mês. De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2017), a estação chuvosa em Minas Gerais ocorre entre os meses de outubro a março. A Cercosporiose tem início durante o mês de dezembro e estende seu desenvolvimento até o mês de abril do próximo ano, e durante os meses de fevereiro, março e abril, quando as condições de umidade ainda estão elevadas, a doença apresenta maior grau de severidade (GARCIA; RODRIGUES; COSTA, 2000).

Na análise de *Correlação de Pearson*, as variáveis que se mostraram mais significativas, foram TMAX, TMED, TMIN, VMAX, VMED e es. Por este motivo foram as variáveis independentes do modelo ajustado.

Esses elementos climáticos foram submetidos à Análise de Regressão Linear Múltipla, associados à incidência de Cercosporiose em Patrocínio/MG. Da estatística de Regressão obteve-se o R múltiplo, R-quadrado (R^2), R-Quadrado ajustado, F de significação, RMSE (calculado) (Tabela 1) e os coeficientes das variáveis climáticas (Tabela 2).

Tabela 1. Parâmetros de avaliação do modelo de Regressão Linear Múltipla

Estatística de Regressão	
R múltiplo	0,34160
R-Quadrado	0,11669
R-quadrado ajustado	0,09524
F de significação	0,00003
RMSE	7,04506

Tabela 2. Coeficientes calibrados para previsão da Cercosporiose do cafeeiro.

Variáveis Climáticas	Coeficientes
TMAX	3,18438
TMED	4,86891
TMIN	2,03549
VMAX	-3,50837
VMED	-0,00678
es	-65,20994
Interseção	-38,3887136

O RMSE indica que modelo preditivo não teve uma acurácia satisfatória. Isso evidencia que houve erros de predição, estando os resíduos longes da linha de regressão, como afirma Glen (2016). O F de significância da regressão ($<0,05$) indicou que ela foi significativa, uma vez que ele determina se o relacionamento entre o modelo e a variável resposta é estatisticamente significativo (MINITAB, 2019). O valor do R^2 baixo revela que o modelo de previsão de Cercosporiose para Patrocínio/MG em função do clima não é considerado preciso e nem satisfatório.

Segundo Minitab (2019), os coeficientes de regressão descrevem o relacionamento entre cada variável preditora (explicativa ou independente) e a resposta (dependente). Assim, os seus valores representam a mudança média na resposta, dado o aumento de uma unidade no preditor, sendo multiplicados pelos valores da dependente de modo a obter os valores estimados da mesma. Ao analisar o modelo que contém várias variáveis predictoras e seus

respectivos coeficientes, verifica-se que a variável mais significativa positiva e direta é a TMED (4,87) e negativa e inversa o es (-65,21). Lyra et al. (2004) afirmam a não linearidade da relação entre pressão de vapor de saturação e temperatura do ar e, utiliza-se a TMED para determinar o es. A partir desta análise, torna-se interessante em futuras avaliações de estimativas associar somente essas duas variáveis simultaneamente.

As variações dos dados de Cercosporiose do café observados e estimados podem ser observadas na Figura 2.

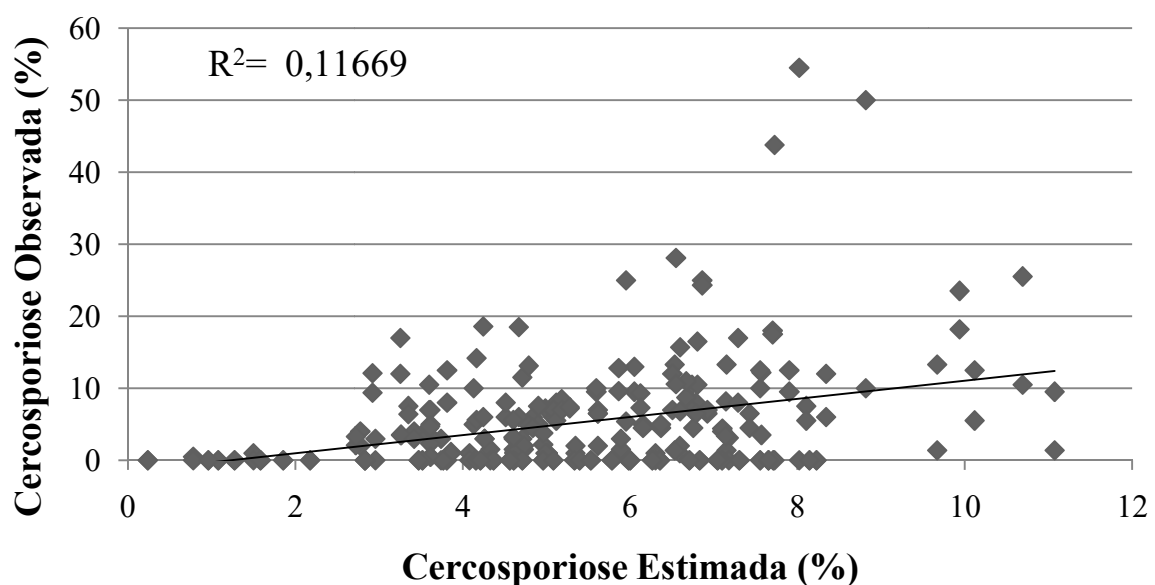


Figura 2. Variações dos dados de Cercosporiose do café observados e estimados na localidade de Patrocínio, Minas Gerais.

CONCLUSÕES

Não é possível estimar a incidência de Cercosporiose do cafeeiro em Patrocínio/MG, usando das variáveis climáticas selecionadas. O modelo de previsão da doença em função do clima não é considerado preciso e acurado devido ao baixo valor do R^2 e RMSE. As variáveis que demonstraram maior influência na previsão da doença foram temperatura média do ar (TMED) e pressão de vapor de saturação (es). Recomenda-se a utilização apenas delas em estudos futuros.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao IFSULDEMINAS pelo apoio ao desenvolvimento deste projeto e pela concessão de bolsa ao primeiro autor (Edital n° 171/2020).

REFERÊNCIAS

- BOTELHO, D. M. S. et al. Diferença entre isolados de lesões mancha de olho pardo e cercospora negra em cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, n. X, p. 01423, 2019.
- CARVALHO, V. L. de; CHALFOUN, S. M.; CUNHA, R. L. da. **Doenças do cafeeiro: diagnose e controle**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2013.
- CECAFÉ. **Exportações Brasileiras de Café: Exportação Anual 2021**. Disponível em: <<https://www.cecafe.com.br/dados-estatisticos/exportacoes-brasileiras/>>. Acesso em: 09 mar. 2022.
- CHEIN, F. **Introdução aos modelos de Regressão Linear**. Brasília: Enap, 2019.
- CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Café - Safra 2020**, Quarto Levantamento. Brasília, DF: Conab, 2020.
- CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Café - Safra 2021**, Quarto Levantamento. Brasília, DF: Conab, 2020.
- FERRÃO, R. G. et al. **Café Conilon**. Vitória, ES: Incaper, 2017.
- FERRAZ, A. **Cultura do Café**. Disponível em: <<http://www.ifcursos.com.br/sistema/admin/arquivos/15-09-28-apostilaculturadocafe.pdf>>. Acesso em: 09 mar. 2022.
- FILHO, D. B. F.; JÚNIOR, J. A. S. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Política Hoje**, Recife/PE, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.
- GARCIA, A.; RODRIGUES, A. N. A.; COSTA, J. N. M. **Ocorrência das principais doenças causadas por fungos em cafeeiros de Rondônia e seu controle**. Porto Velho: EMBRAPA, 2000.
- GLEN, S. **RMSE: Erro Quadrático Médio Raiz**. Disponível em: <<https://www.statisticshowto.com/probability-and-statistics/regression-analysis/rmse-root-mean-square-error/>>. Acesso em: 13 mar. 2022.
- IBGE. **Produção Agrícola: Lavoura Permanente – Muzambinho/MG**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/patrocínio/pesquisa/15/11863>>. Acesso em: 31 mar. 2022.
- INMET. **Estação chuvosa em Minas Gerais**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/uploads/notastecnicas/Nota_tecnica_CEDEC_04_17.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2022.
- LIRA, S. A. **Análise de correlação: abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicações**. 2004. 209 f. Dissertação - Curso de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia dos Setores de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

LYRA, G. B. et al. Média diária do déficit de pressão desaturação do vapor d'água do ar e sua influência na evapotranspiração de referência pelo modelo de Penman-Monteith (FAO 56) em Piracicaba – SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.2, p. 328-337, maio-ago. 2004.

MAPA. **Café no Brasil**. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira>>. Acesso em: 08 mar. 2022.

MARTINS, M. E. G. Coeficiente de correlação amostral. **Ciência Elementar**, Campo Grande, Lisboa, v. 2, n. 2, p. 1-2, 2014.

MARTINS, R. B.; MAFFIA, L. A.; MIZUBUTI, E. S. G. Genetic variability of *Cercospora coffeicola* from organic and conventional coffee plantings, characterized by vegetative compatibility. **Phytopathology**, v. 98, n. 11, p. 1205-1211, 2008.

MATIELLO, J. B. **A bialidade do cafeeiro pode ocorrer até mesmo dentro da planta**. Disponível em: <<https://www.cafepoint.com.br/noticias/tecnicas-de-producao/a-bialidade-do-cafeeiro-pode-ocorrer-ate-mesmo-dentro-da-planta-veja-105859n.aspx>>. Acesso em: 08 mar. 2022.

MESQUITA, C. M. de. et al.. **Manual do Café: Distúrbios fisiológicos, pragas e doenças do cafeeiro**. Belo Horizonte: EMATER-MG, 2016.

MINITAB. **Análise de regressão: Como interpretar o R-quadrado e avaliar a qualidade de ajuste?**. Disponível em: <<https://blog.minitab.com/pt/analise-de-regressao-como-interpretar-o-r-quadrado-e-avaliar-a-qualidade-de-ajuste>>. Acesso em: 03 mar. 2022.

MINITAB. **O que é o teste F de significância global na análise de regressão?**. Disponível em: <<https://blog.minitab.com/pt/o-que-o-teste-f-de-significancia-global-na-analise-de-regressao>>. Acesso em: 03 mar. 2022.

NASA/POWER (2021). **National Aeronautics and Space Administration/Prediction of WorldWide Energy Resources**. Hampton, VA, USA, <https://power.larc.nasa.gov/>.

OLIVEIRA, J. A. de. **Qualidade de bebida do café secado em diferentes tipos de solos**. 2018. 29 f. Trabalho de conclusão de curso de Bacharelado em Agronomia – Graduação, Centro Universitário do Cerrado Patrocínio, Patrocínio/MG, 2018.

PETERNELLI, L. A.. **Regressão Linear e Correlação**. Disponível em: <<http://www.dpi.ufv.br/~peternelli/inf162.www.16032004/materiais/CAPITULO9.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2022.

REZENDE, T. **RMSE ou MAE? Como avaliar meu modelo de machine learning?**. Disponível em: <<https://pt.linkedin.com/pulse/rmse-ou-mae-como-avaliar-meu-modelo-de-machine-learning-rezende>>. Acesso em: 09 mar. 2022.

SANTOS, J. J. dos. **Vida e trabalho na cafeicultura no município de Patrocínio/MG**. 2005. 60 f. Monografia de Bacharel e Licenciatura em História – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

SENAR. **Café: controle de pragas, doenças e plantas daninhas**. Brasília, DF: SENAR, 2017.

SILVA, A. V.; GIUNTI, O. D. **Cafeicultura: manejo de pragas, doenças e plantas invasoras do cafeeiro**. Muzambinho, MG: Rede e-Tec Brasil, 2014.

TRENTIN, G. **Avaliação de sistemas de previsão de ocorrência de Phytophthora infestans em batata**. 2006. 102 f. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Concentração em Produção Vegetal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.