



FLAVIO VANONI DE CARVALHO JUNIOR

**ANÁLISE DO EFEITO DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NA
PRODUTIVIDADE DE CAFÉ ARÁBICA EM MUNICÍPIOS DE MINAS
GERAIS DE 2011 A 2017**

**LAVRAS – MG
2022**

FLAVIO VANONI DE CARVALHO JUNIOR

**ANÁLISE DO EFEITO DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NA PRODUTIVIDADE DE
CAFÉ ARÁBICA EM MUNICÍPIOS DE MINAS GERAIS DE 2011 A 2017**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de graduação em Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Marcelo de Carvalho Alves
Orientador

**LAVRAS – MG
2022**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade de realizar este trabalho.

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola.

Ao prof. Dr. Marcelo de Carvalho Alves pela orientação e apoio durante a minha graduação.

Aos professores do Departamento de Engenharia Agrícola, em especial à Profa. Dra. Mirléia Aparecida de Carvalho e ao Prof. Dr. Luiz Gonsaga de Carvalho.

Aos colegas do Centro Acadêmico de Engenharia Agrícola, Núcleo de Estudos em Geomática (NEGEO) e Enagri Jr..

Agradeço todos os meus amigos feitos durante o período da graduação.

RESUMO

O café Arábica é o principal produto agrícola do estado de Minas Gerais e sua produção possui grande importância social e econômica no estado. Diversos fatores afetam a produtividade do cafeeiro, como clima, adubação, solo, cultivares, manejo, incidência de doenças e presença de irrigação. Mais de 80% das lavouras do estado são conduzidas no sistema de sequeiro, sendo dependentes do regime de chuvas. A disponibilidade hídrica, especialmente na fase de florada e enchimentos dos grãos tem grande importância para a produtividade e consequente retorno econômico das atividades. Com isso, objetivou-se avaliar o efeito da precipitação pluvial ocorrida de setembro a janeiro na produtividade do Arábica em municípios cafeeiros de Minas Gerais com base em acumulados mensais limitados a 210 mm. Para isso foram utilizados dados da produção agrícola municipal do IBGE, de 2012 a 2019 para café Arábica beneficiado e dados de precipitação pluvial mensal com 2,5 minutos de resolução espacial, da base *CRU-TS-4.03*, reduzidos de escala e disponibilizados pela *WorldClim2* do período 2010-2018. O produto vetorial *malha municipal IBGE 2021* foi utilizado para recorte dos dados na área de interesse. Foi calculada a relação de produtividade por acumulado precipitado para os municípios cafeeiros a fim de se determinar o nível de tecnificação municipal e filtragem de dados discrepantes. Os municípios foram divididos em grupos de tecnificações e determinadas curvas de regressão linear para cada grupo. Para municípios de baixa e média tecnificação, foi obtida alta correlação entre a precipitação pluvial ocorrida de setembro a janeiro, com acumulados mensais limitados a 210 mm e a produtividade de café Arábica. Já para municípios de alta tecnificação, não houve correlação significativa devido a presença de irrigação. As equações obtidas demonstraram potencial de estimar o efeito da precipitação ocorrida no período analisado na produtividade de municípios em todas as regiões de Minas Gerais e até mesmo estimativas de produtividade com base apenas em dados pluviométricos mensais de fácil obtenção e simples aplicação.

Palavras-chave: Café Arábica. Produtividade. Precipitação pluvial.

ABSTRACT

Arabica coffee is the main agricultural product in the state of Minas Gerais and its production has great social and economic importance in the state. Several factors affect coffee productivity, such as climate, fertilization, soil, cultivars, management, incidence of diseases and presence of irrigation. More than 80% of the crops in the state are conducted in the rainfed system, being dependent on the rainfall regime. Water availability, especially in the flowering and grain-filling phase, is of great importance for productivity and consequent economic return on activities. Thus, the objective was to evaluate the effect of rainfall from September to January on Arabica productivity in coffee growing municipalities in Minas Gerais, based on monthly accumulations limited to 210 mm. IBGE municipal agricultural production data from 2012 to 2019 were used for processed Arabica coffee and monthly rainfall data with 2.5 minutes of spatial resolution, from the *CRU-TS-4.03* dataset, downscaled and made available by *WorldClim2* of the period 2010-2018. The *IGBE 2021 municipal mesh* vector product was used to cut data in the area of interest. The ratio of productivity by accumulated precipitation was calculated for the coffee municipalities in order to determine the level of municipal technology and filter out discrepant data. The municipalities were divided into technification groups and linear regression curves were determined for each group. For municipalities with low and medium technification, a high correlation was obtained between rainfall from September to January, with monthly accumulations limited to 210 mm, and Arabica coffee productivity. As for high-tech municipalities, there was no significant correlation due to the presence of irrigation. The equations obtained showed the potential to estimate the effect of precipitation that occurred in the analyzed period on the productivity of municipalities in all regions of Minas Gerais and even productivity estimates based only on monthly rainfall data that are easy to obtain and simple to apply.

Keywords: Arabica Coffee. Productivity. Rainfall.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização do estado de Minas Gerais com mapa de elevação.....	12
Figura 2 – Curva de regressão para dados municipais (2012-2019)	17
Figura 3 – Produtividade média bienal por município.	18
Figura 4 – Boxplot para médias bienais de produtividade.	19
Figura 5 – Média bienal de precipitação pluvial mensal do período 2011-2012 (mm).....	20
Figura 6 – Média bienal de precipitação pluvial mensal do período 2013-2014 (mm).....	20
Figura 7 – Média bienal de precipitação pluvial mensal do período 2015-2016 (mm).....	21
Figura 8 – Precipitação limitada e gráfico boxplot para os períodos analisados (mm).....	22
Figura 9 – Tecnificação média municipal e desvio padrão das tecnificações bienais.....	23
Figura 10 – Grupos de tecnificação.	24
Figura 11 – Curvas de regressão para grupos de municípios.	26
Figura 12 – Mapa de solos do estado de Minas Gerais.	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	REFERENCIAL TEÓRICO	9
3	MATERIAIS E MÉTODOS	11
3.1	Caracterização da área de estudo	11
3.2	Produtividade municipal	12
3.3	Distribuição da precipitação pluvial mensal	12
3.4	Relação produtividade x precipitação (tecnificação).	14
3.5	Análise de regressão para grupos de municípios	15
4	RESULTADOS	17
4.1	Produtividade municipal	17
4.2	Distribuição da precipitação pluvial mensal	19
4.3	Tecnificação municipal	22
4.4	Análise de regressão para grupos municípios	23
5	DISCUSSÃO	27
5.1	Produtividade municipal	27
5.2	Distribuição da precipitação pluvial mensal	27
5.3	Tecnificação municipal	28
5.4	Análise de regressão	29
6	CONCLUSÃO	32
	REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura, importante atividade agrícola no estado de Minas Gerais é conduzida em sua maior parte no sistema de sequeiro. A dependência do regime de chuvas faz com que o entendimento do seu efeito na produtividade tenha grande relevância. A disponibilidade hídrica tem efeitos diferentes conforme a fase fenológica da planta. Durante a fase reprodutiva, há a maior demanda hídrica, sendo o período mais importante em questão de precipitação pluvial. Devido ao ciclo bienal da planta, as análises se deram em médias de dois anos, tanto na precipitação quanto na produtividade subsequente. O entendimento de como o regime de chuvas se relaciona com a produtividade possui importante aplicação, especialmente em cenários futuros de mudanças climáticas.

Diversos autores propuseram modelos agrometeorológicos com intuito de estimar a produtividade com base em dados climatológicos. Os modelos utilizam como entrada dados climatológicos de alta resolução temporal como médias de dez dias e apresentam certa complexidade de aplicação. Grandes variações tecnológicas na condução das lavouras são verificadas conforme a região cafeeira no estado. Se torna evidente a necessidade de se adotar um parâmetro para separar as áreas produtoras conforme sua tecnificação, o que foi realizado neste trabalho a nível municipal, permitindo uma análise envolvendo lavouras de diferentes níveis tecnológicos e abrangendo todas as regiões produtoras do estado.

Objetivou-se analisar isoladamente o efeito da precipitação pluvial ocorrida na terceira fase fenológica e início da quarta fase, especificamente de setembro a janeiro, na produtividade de café Arábica em diferentes municípios localizados em todas as regiões do estado de Minas Gerais com base em dados de precipitação pluvial mensal de alta resolução espacial através de técnicas de geoprocessamento e regressão linear.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O café Arábica (*Coffea arabica. L.*) responde por cerca de 60 a 70% da produção mundial, produzindo bebidas de sabores apreciados (CARVALHO, CARVALHO, *et al.*, 2017). O Brasil, maior produtor e exportador mundial (CALDARELLI, GILIO e ZILBERMAN, 2018; VOLSI, TELLES, *et al.*, 2019), apresentou área plantada de aproximadamente 1,76 milhão de hectares em 2016, o equivalente a 80% do parque cafeeiro nacional, enquanto os 20% restantes eram da espécie Robusta (*Coffea Canephora*). No mesmo ano, o estado de Minas Gerais foi responsável por 67% das lavouras de café arábica no país. (CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2016). Cerca de 70% do café comercializado no mundo é da espécie Arábica, apresentando bebida de qualidade superior, sabor adocicado e maiores preços. (SOUZA, SANTOS, *et al.*, 2004; LEROY, RIBEYRE, *et al.*, 2006; ILLY e VIANI, 1996). Com isso, a cafeicultura, como principal atividade agrícola, possui grande importância no cenário econômico e social de Minas Gerais (VILELA e PENEDO, 2021).

Diversos fatores afetam a produtividade do cafeeiro como condições climáticas, manejo, características do solo, cultivares, incidência de doenças, irrigação e sistema de plantio (VOLTOLINI, 2019; BONOMO, 1999; PETEK, SERA e FONSECA, 2009; SILVA, MELO, *et al.*, 2004). Dentre os fatores climáticos, o déficit hídrico e o estresse térmico são os principais fatores limitantes da produtividade (DAMATTA e RAMALHO, 2006). O requerimento de volume de chuvas depende de diversos fatores como condições de retenção do solo, umidade atmosférica, cobertura de nuvens e práticas de cultivo (DAMATTA, RONCHI, *et al.*, 2007). Para cafeicultura de sequeiro, a precipitação anual considerada apropriada é em torno de 1200 a 1800 mm (ALÈGRE, 1959; THOMAZIELLO, FAZUOLI, *et al.*, 2000).

O cafeeiro é conhecido por apresentar alternâncias na produtividade, com ano de maior produção seguido de menor produtividade no ano seguinte. O fenômeno é chamado bienalidade do café (BEAUMONT, 1939; TOSELLO e DE ARRUDA, 1962; SAKIYAMA, MARTINEZ, *et al.*, 2015) e ocorre devido à fisiologia da planta em que as fases reprodutiva e vegetativa ocorrem simultaneamente, se fazendo necessário um balanço na divisão de fotossintetizados. Como consequência, no ano de alta produção, há redução do crescimento vegetativo, diminuindo a produção do ano seguinte (GATHAARA, 1996; BARROS, 2018). Para condições tropicais do Brasil, Camargo e Camargo (2001) definiram 6 fases fenológicas do cafeeiro arábica, sendo as duas primeiras de caráter

vegetativo, ocorrendo de setembro a março e abril a agosto. A partir da terceira fase se inicia a etapa reprodutiva com floração e expansão dos frutos ocorrendo de setembro a dezembro. A quarta fase ocorre de janeiro a março com a granação dos frutos. Já na quinta e sexta fase ocorre a maturação dos frutos e posterior senescência e morte dos ramos reprodutivos não primário de julho a agosto.

A necessidade hídrica é variável conforme a fase fenológica (BONOMO, 1999). A deficiência hídrica afeta principalmente a fase reprodutiva, onde há grande demanda hídrica (PETEK, SERA e FONSECA, 2009; CARVALHO, KORCELSKI, *et al.*, 2013). Já entre junho e setembro, fase de colheita e repouso, a necessidade hídrica é pequena (MATIELLO, 1991). Tosello e Arruda (1962) obtiveram correlação satisfatória entre a precipitação pluvial e a produtividade em municípios cafeeiros no estado de São Paulo em meses específicos do ano através de regressão linear. Diversos modelos agrometeorológicos foram estudados para estimativa de produtividade do cafeeiro, entre eles Camargo *et al.* (1984), Piccini *et al.* (1999), Camargo *et al.* (2003), sendo o último baseado em penalizações por fatores hídricos e térmicos nas fases fenológicas do cafeeiro se utilizando de dados climatológicos decenais. Segundo Santos e Camargo (2006), a maior penalização considerada para o fator déficit hídrico é a do período de outubro a janeiro.

A cafeicultura de Minas Gerais é marcada pela presença de regiões produtoras com características distintas. Enquanto a região sudoeste do estado utiliza de produção convencional, a cafeicultura do cerrado mineiro se utiliza de modernas tecnologias de adubação e mecanização, além de maior presença de irrigação, contribuindo com maiores produtividades (ORTEGA e JESUS, 2011; FERNANDES, PARTELLI, *et al.*, 2012; PEREIRA, VALE, *et al.*, 2010; EMATER, 2018). A heterogeneidade de diversos fatores impactantes na produtividade faz necessária a divisão dos municípios produtores em grupos distintos para uma análise mais apropriada.

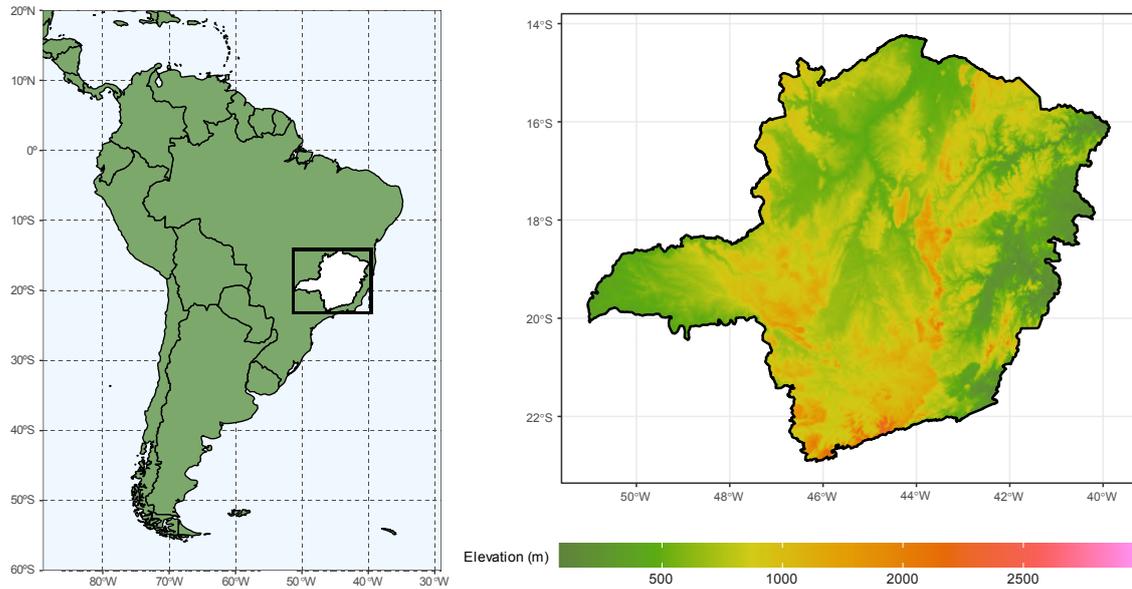
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

O estado de Minas Gerais ocupa uma área de 586 513,993 km² na região sudeste do Brasil, sendo o quarto mais extenso no País e o segundo mais populoso com estimativa para 2021 de 21,41 milhões de habitantes (IBGE, 2021). Na figura 1 observa-se a localização e extensão territorial do estado com a definição de feição de polígono com fronteiras da região obtido do produto *gadm36_BRA_1* com o uso do pacote *ggplot2* (WICKHAM, CHANG, *et al.*, 2021) do R. O mapa de elevação da região foi elaborado a partir do modelo digital de elevação *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) obtido da função *getData* no pacote *raster* do R (HIJMANS, VAN ETTEN, *et al.*, 2020).

O seu território apresenta considerável complexidade climática com o relevo atuando com grande relevância na formação de microclimas (ÁVILA, DE MELLO, *et al.*, 2014). Se faz presente uma grande variedade de ambientes, como os biomas de Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga (DRUMMOND, 2005). De acordo com Sá Júnior *et al.* (2012) o estado apresenta os grandes grupos climáticos tropical chuvoso (A), seco (B) e temperado quente (C) pela classificação de Köppen, com as classes Aw, Cwa e Cwb ocupando 99,89% de seu território. Considerando todo o estado, os meses de outubro a março são os mais chuvosos, enquanto que o mês de julho é o mais seco (SILVA e REBOITA, 2013).

Figura 1 – Localização do estado de Minas Gerais com mapa de elevação.



Fonte: Do autor.

3.2 Produtividade municipal

Com base nos dados da produção agrícola municipal (IBGE, 2021) do período 2012-2019, foram calculadas as médias bienais de área colhida (ha) e quantidade produzida (ton) de café arábica em grão beneficiado nos períodos 2012-2013, 2014-2015, 2016-2017, 2018-2019 para os municípios produtores de café arábica no estado. Obteve-se gráfico de dispersão, regressão linear dos dados e produtividade média resultante do ajuste. Para a produtividade média municipal, determinou-se estatísticas descritivas (*Min.*, *1st Qu.*, *Median*, *3rd Qu.*, *Max.*, *Mean*, *Boxplot*) para os municípios produtores e mapas coropléticos nos períodos analisados utilizando o pacote *sf* (PEBESMA, 2018) do R.

3.3 Distribuição da precipitação pluvial mensal

Foram considerados os dados de precipitação pluvial mensal (2010-2018), reduzidos de escala da base de dados *CRU-TS-4.03* (HARRIS, JONES, *et al.*, 2014) e disponibilizados pela *WorldClim2* (FICK e HIJMANS, 2017) com 2,5 minutos de resolução espacial. Obteve-se a representação visual da precipitação mensal a partir de uma única legenda para as

médias bienais nos períodos 2011-2012, 2013-2014 e 2015-2016 com uso do pacote *stars* (PEBESMA, 2022) do R.

O período de interesse adotado como mais significativo para a produtividade do cafeeiro foi o período que compreende os meses de setembro a janeiro. Utilizando-se do produto *Malha Municipal 2021* (IBGE, 2021) e os dados de precipitação (FICK e HIJMANS, 2017), foi extraída a precipitação média dentro de cada município com uso do pacote *raster* (HIJMANS, VAN ETTEN, *et al.*, 2020) do R.

A evapotranspiração de referência mensal média do período setembro-janeiro no estado é aproximadamente 120 mm. Nas áreas cafeeiras o valor passa a ser de 138 mm ao se adotar um coeficiente de cultivo de 1,15. Foi adotado um coeficiente de runoff (C) de 0,34 para áreas cafeeiras, considerando a presença de solo argiloso e declividade moderada a alta. Como resultado, estima-se que em média 66% da precipitação seja interceptada e o restante gere escoamento superficial direto. Com isso, acumulados mensais superiores a 210 mm tem seu efeito limitado, já que não são aproveitados pela planta. Foram calculadas as médias bienais da precipitação pluvial de setembro a janeiro para os períodos 2011-2012, 2013-2014 e 2015-2016, sendo a precipitação de cada mês limitada a 210 mm no somatório (equação 1 e 2).

$$P_{2011} = P_{sep} + P_{oct} + P_{nov} + P_{dec} + P_{jan} \quad (1)$$

Em que:

P_{2011} = Precipitação total considerada para o período de interesse (setembro-janeiro) em 2011 (mm).

P_{sep} = Precipitação total do mês de setembro de 2011 (mm) ou 210 mm se $P_{sep} > 210$ mm.

P_{jan} = Precipitação total do mês de janeiro de 2012 (mm) ou 210 mm se $P_{jan} > 210$ mm.

$$P_{2011-2012} = \frac{P_{2011} + P_{2012}}{2} \quad (2)$$

Em que:

$P_{2011-2012}$ = Média bienal de precipitação de interesse considerada para o período 2011-2012 (mm).

Com base nas médias bienais obtidas, obteve-se a representação visual da precipitação pluvial para os períodos 2011-2012, 2013-2014, 2015-2016 dentro de cada município.

3.4 Relação produtividade x precipitação (tecnificação).

Devido a existência de outros fatores além da precipitação pluvial que afetam a produtividade, como o manejo, adubação, características de retenção de água no solo, entre outros, foi proposto a determinação da relação entre a produtividade municipal e a precipitação média de interesse ocorrida, com intuito de se classificar os municípios com base na sua tecnificação. Regiões cafeeiras mais tecnificadas apresentam maior produtividade com menor volume de chuvas, enquanto lavouras menos tecnificadas apresentam produtividade abaixo do potencial esperado para condições de precipitação pluvial favoráveis.

Para cada município produtor de café arábica no estado, obteve-se a relação da produtividade média bienal (anos n e (n+1)) e a precipitação média bienal (anos n e (n-1)) ocorrida dentro do município entre setembro e janeiro (equação 3) para os períodos 2012-2013, 2014-2015, 2016-2017.

$$T_{2012-2013} = \frac{Pd_{2012-2013}}{P_{2011-2012}} \quad (3)$$

Em que:

$T_{2012-2013}$ = Tecnificação do município para o biênio 2012-2013 ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$)

$Pd_{2012-2013}$ = Produtividade média do município no biênio 2012-2013 (kg ha^{-1})

$P_{2011-2012}$ = Média bienal de precipitação de interesse considerada para o período 2011-2012 (mm).

Foi calculado o desvio padrão populacional das tecnificações dos períodos 2012-2013, 2014-2015 e 2016-2017 de cada município (equação 4) e estatísticas descritivas (*Min., 1st Qu., Median, 3rd Qu., Max., Mean, Boxplot*) para os três biênios, além das médias das tecnificações municipais dos mesmos períodos. Com base nas médias de tecnificação, os municípios foram divididos em 4 grupos.

$$\sigma_{mun} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (Ti - \bar{T})^2}{3}} \quad (4)$$

Em que:

σ_{mun} = Desvio padrão das tecnificações bienais 2012-2013, 2014-2015, 2016-2017 do município (kg/m^3).

Ti = Tecnificação bienal do município ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$).

\bar{T} = Tecnificação média do município relativa aos três biênios analisados ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$).

3.5 Análise de regressão para grupos de municípios

Lavouras que adotam manejo de irrigação adequado, de maneira geral apresentam produtividades maiores do que a cafeicultura de sequeiro. Além da irrigação, propriedades podem alterar o seu nível de tecnificação com o passar dos anos, adotando práticas que aumentem a produtividade, afetando os resultados da análise.

Com intuito de mitigar os efeitos de lavouras irrigadas e as alterações temporais no nível de tecnificação dos municípios nos resultados, foi utilizado um processo de filtragem com os determinados critérios:

- 1- Municípios que apresentaram área destinada a colheita inferior a 200 hectares foram removidos da análise devido à baixa representatividade dos dados e menor confiabilidade dos mesmos.
- 2- Municípios que apresentaram desvio padrão de sua tecnificação superior a $0,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ também foram removidos da análise por indicarem alta variação no nível de tecnificação das propriedades.

Após o processo preliminar de filtragem, os municípios remanescentes foram agrupados em 4 grupos de tecnificações distintos (tabela 1) com intuito de se avaliar a relação da precipitação pluvial nas condições estipuladas e a produtividade, para cada grupo de município. Foi realizado o mapeamento dos grupos de municípios com o pacote *tmap* (TENNEKES, 2018) do R.

Tabela 1. Grupos de tecnificação.

Grupo	Faixa de tecnificação média \bar{T} ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$)
1	110-180
2	180-200
3	200-250
4	250-690

Obteve-se os gráficos de dispersão da produtividade em função da precipitação pluvial acumulada dos meses de interesse conforme critério estabelecido para cada grupo de municípios. Foram adotados os dados referentes as médias bienais de precipitação dos períodos 2011-2012, 2013-2014 e 2015-2016. E para produtividade foram adotadas as médias bienais dos períodos 2012-2013, 2014-2015, 2016-2017. Foram ajustadas curvas de regressão linear

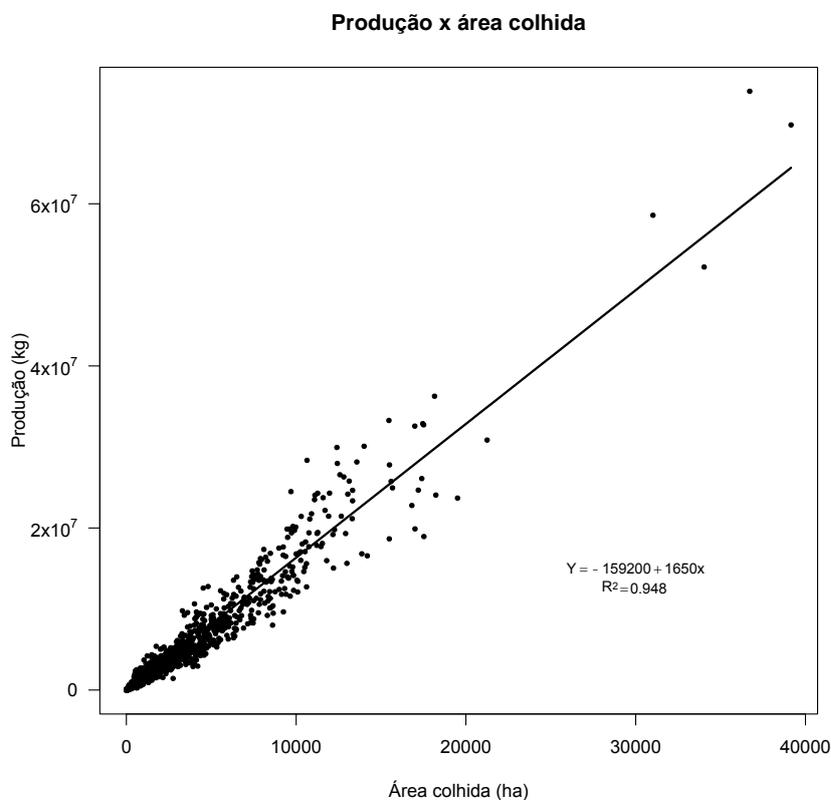
para os 4 grupos de municípios analisados e a correlação analisada através de coeficiente de determinação (R^2) e desvio médio quadrático.

4 RESULTADOS

4.1 Produtividade municipal

O gráfico de dispersão obtido da produção em função da área (figura 2) apresentou pouca disparidade dos dados. O ajuste de regressão linear apresentou um alto valor de coeficiente R^2 , indicando forte correlação entre a produção e a área colhida.

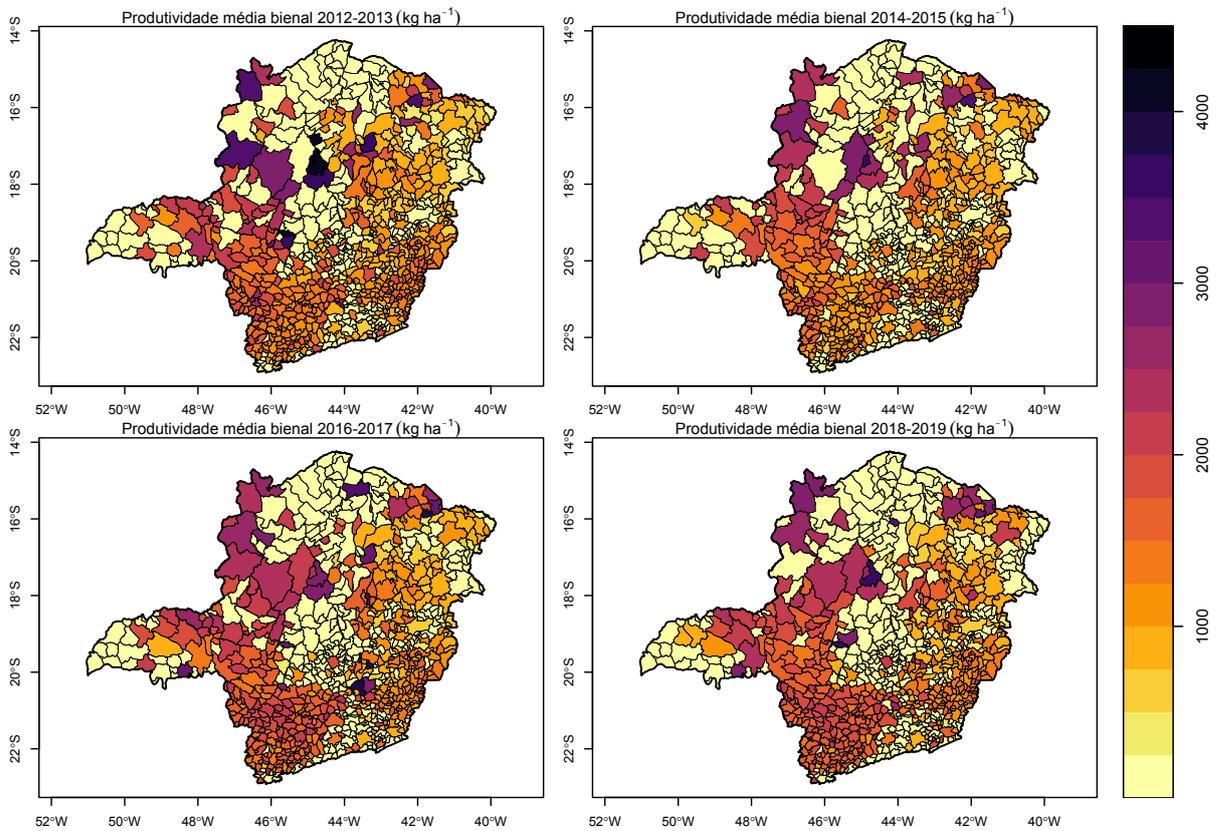
Figura 2 – Curva de regressão para dados municipais (2012-2019)



Fonte: Do autor.

Os municípios cafeeiros do estado, de maneira geral apresentaram queda de produtividade biennial de 2012-2013 para 2014-2015, porém houve aumento significativo da produtividade nos biênios 2016-2017 e 2018-2019 (figura 3). O fato também foi observado nos resultados das médias de produtividade para os biênios (tabela 1).

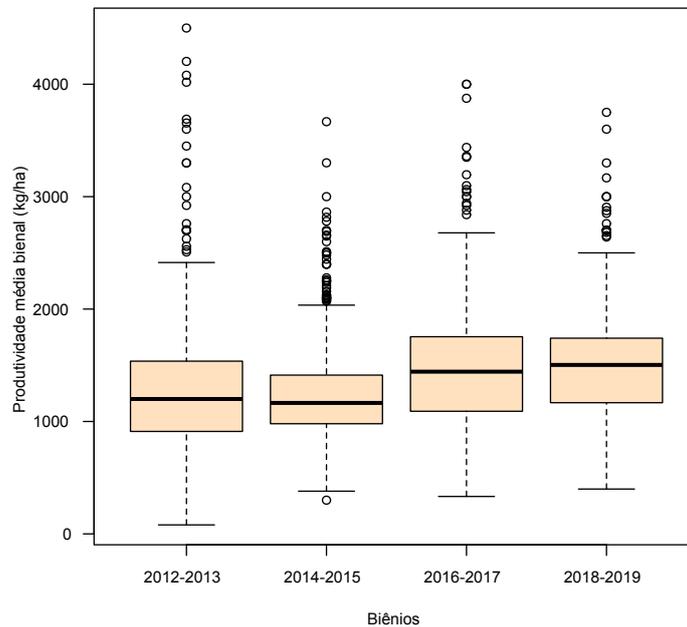
Figura 3 – Produtividade média bienal por município.



Fonte: Do autor.

O gráfico de boxplot obtido (figura 4), indicou maior disparidade das produções bienais municipais nos biênios 2012-2013 e 2016-2017, enquanto que o biênio 2014-2015 apresentou a menor disparidade, o que pode estar associado com a distribuição das chuvas, auxiliando na investigação de possível influência nas produtividades resultantes.

Figura 4 – Boxplot para médias bienais de produtividade.



Fonte: Do autor.

Conforme tabela 1, houve aumento nos valores mínimos de produtividade municipal com o passar dos biênios. Já os valores máximos de produtividade apresentaram alternância.

Tabela 2. Estatísticas descritivas para produtividades bienais (kg ha^{-1})

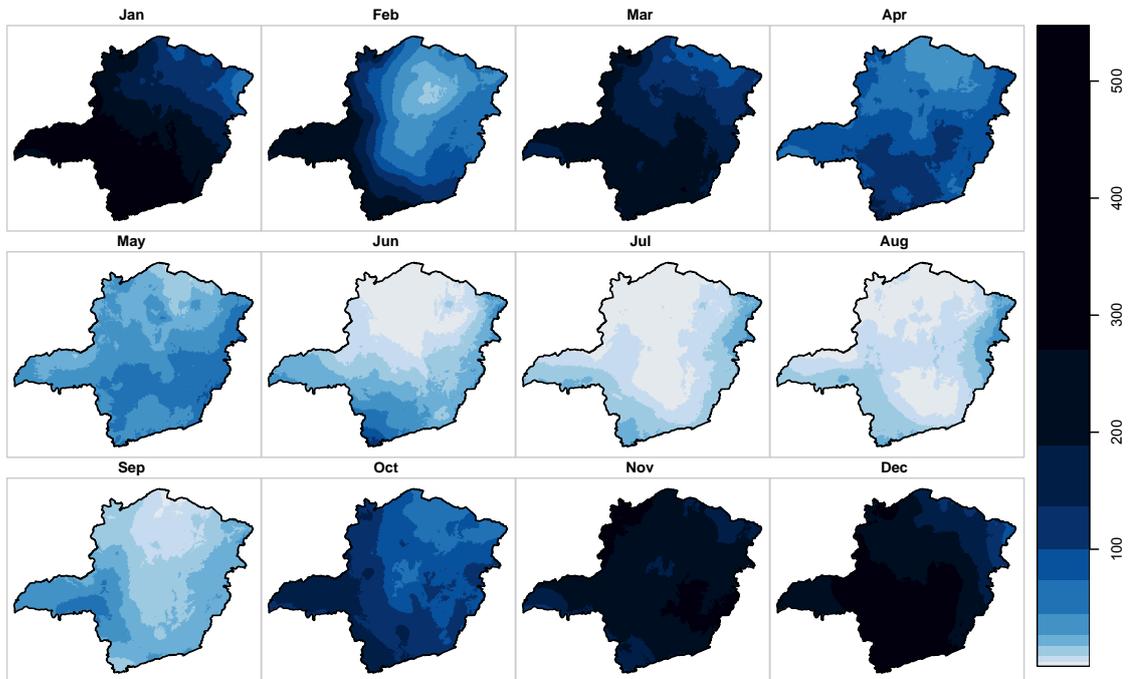
Biênios	2012-2013	2014-2015	2016-2017	2018-2019
Min.	80	300	333	399
1st Qu.	912	980	1092	1167
Median	1200	1165	1443	1503
Mean	1310	1247	1476	1500
3rd Qu.	1536	1412	1754	1741
Max.	4500	3667	4000	3750
NA's	278	342	347	358

4.2 Distribuição da precipitação pluvial mensal

As figuras 5, 6 e 7 representam as médias bienais de precipitação mensal no estado. Foi possível identificar nos três biênios o final do período seco em agosto, com as chuvas retornando a partir de setembro, dando início ao período chuvoso. Nota-se ainda que apesar do início das chuvas ocorrer de maneira geral a partir de setembro, em algumas regiões o início

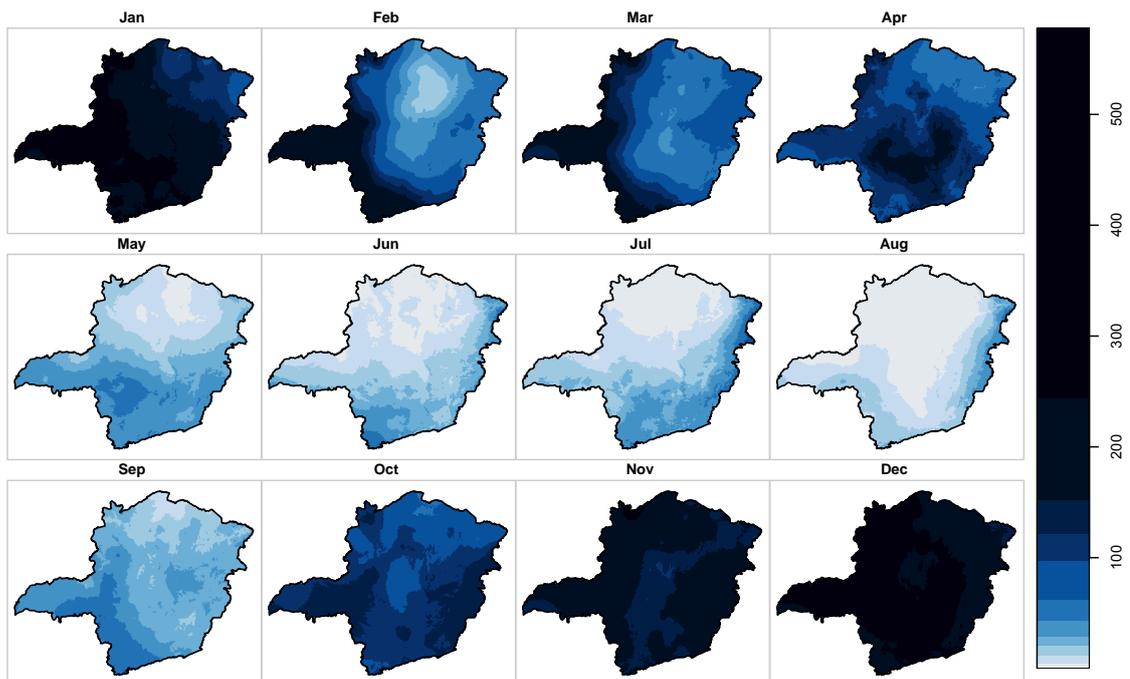
ocorre mais tardiamente, fazendo com que a florada do café ocorra em épocas diferentes nas regiões do estado.

Figura 5 – Média bienal de precipitação pluvial mensal do período 2011-2012 (mm).



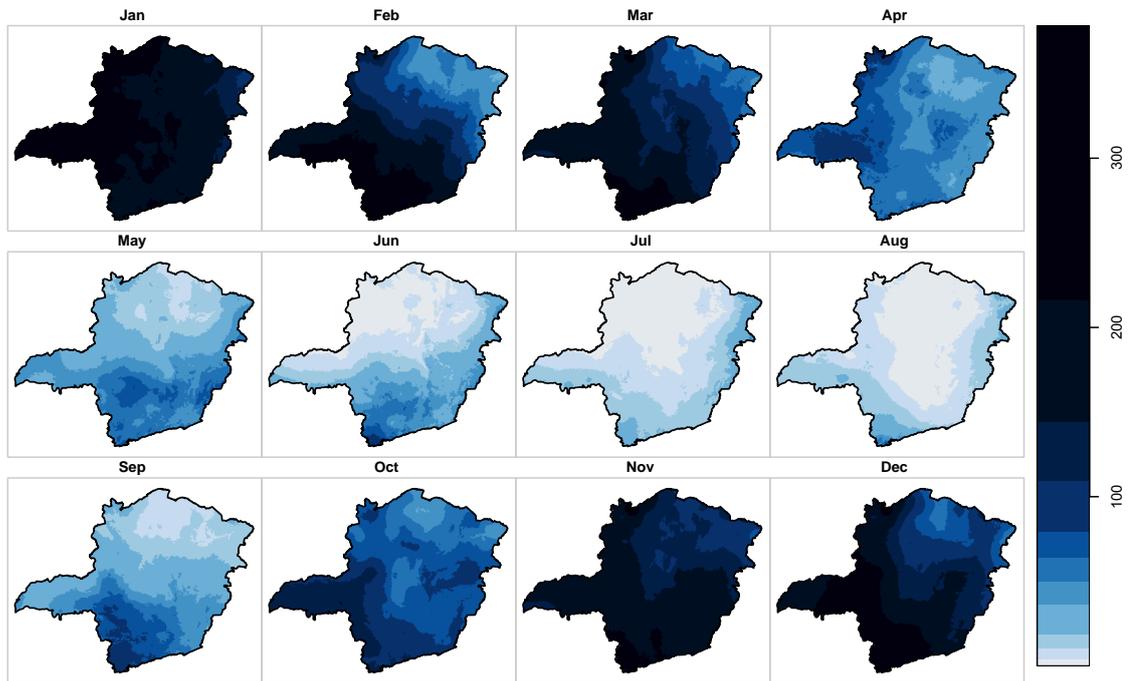
Fonte: Do autor.

Figura 6 – Média bienal de precipitação pluvial mensal do período 2013-2014 (mm).



Fonte: Do autor.

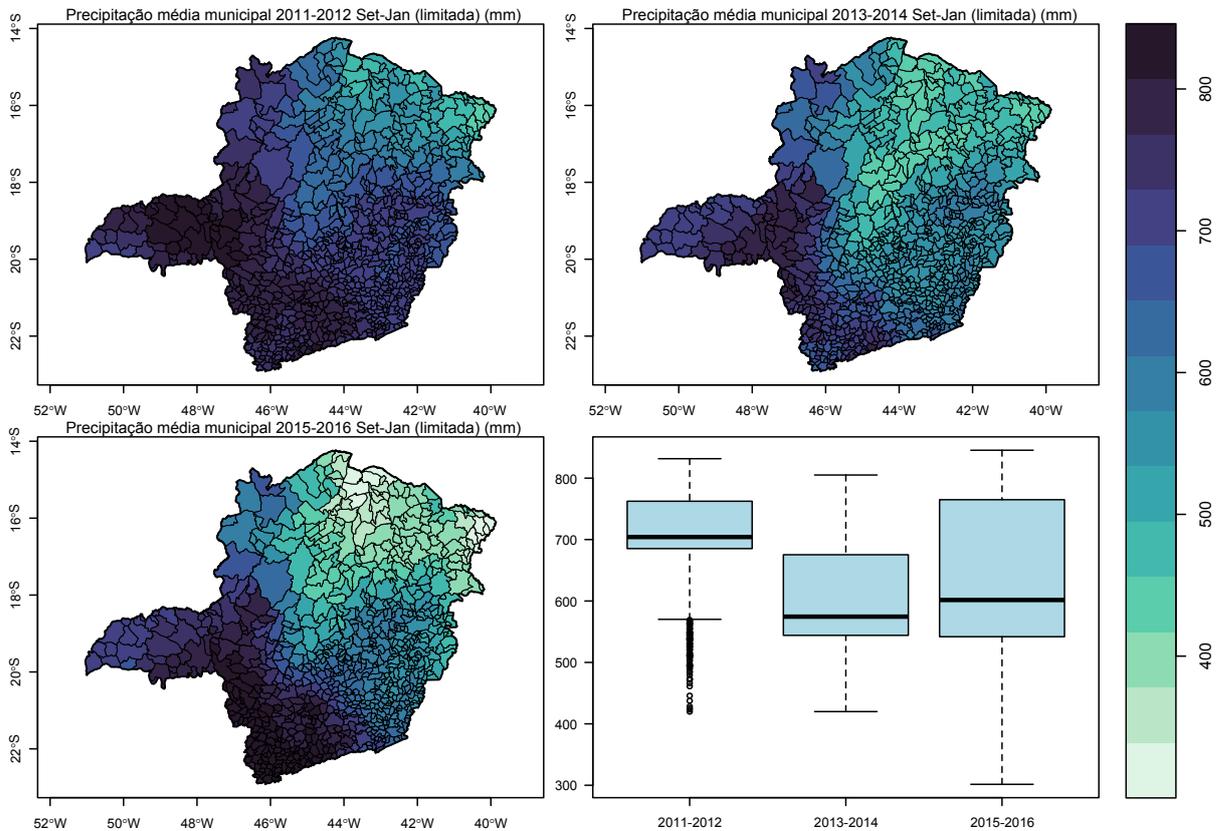
Figura 7 – Média bienal de precipitação pluvial mensal do período 2015-2016 (mm).



Fonte: Do autor.

A média bienal dos acumulados para o período setembro-janeiro, com valores mensais limitados a 210 mm para os municípios do estado foi obtida (figura 8) nos biênios 2011-2012, 2013-2014 e 2015-2016. Para a situação analisada, foi identificada maior irregularidade no biênio 2015-2016, especialmente na região norte do estado, enquanto que na região sul, houve menores valores de acumulados no biênio 2013-2014. Quando analisado todo o estado, o gráfico de boxplot (figura 8) evidencia a maior uniformidade no biênio 2011-2012 seguido de queda na média e aumento da discrepância dos valores obtidos.

Figura 8 – Precipitação limitada e gráfico boxplot para os períodos analisados (mm).

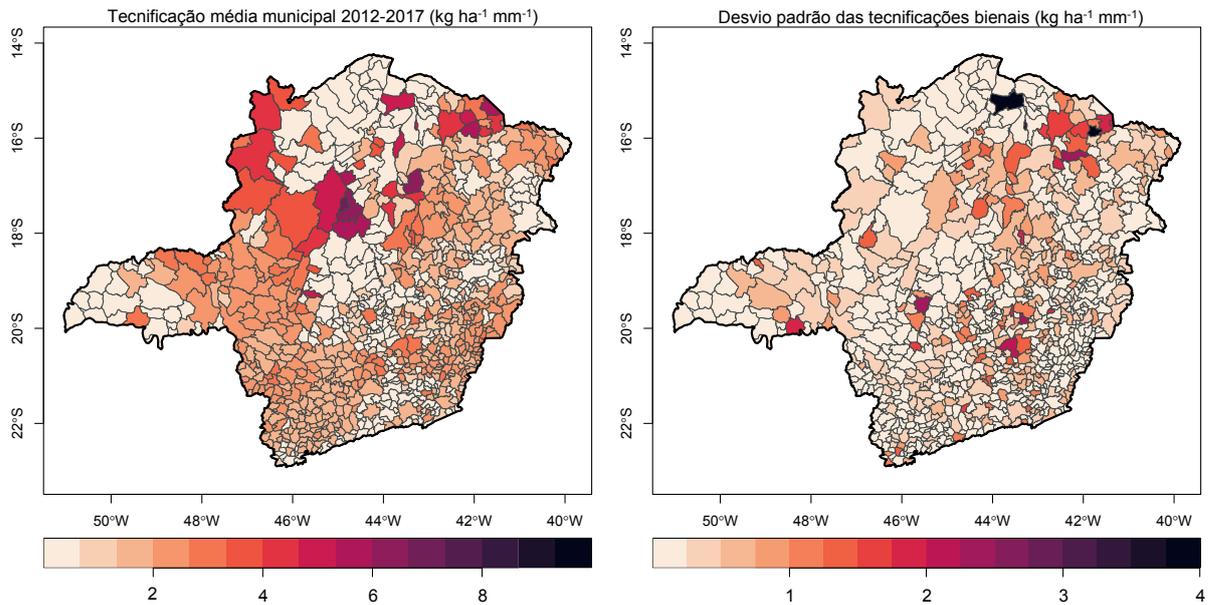


Fonte: Do autor.

4.3 Tecnificação municipal

Foram observadas maiores médias bienais de tecnificação na porção norte do estado (figura 9) com presença de alta produtividade e menor volume de chuvas. O desvio padrão das tecnificações bienais (figura 9) demonstrou alterações dispersas na relação produtividade por precipitação no estado, porém foi possível identificar uma concentração na porção central e nordeste do estado de maior desvio padrão das tecnificações e ausência de grandes variações na região sul.

Figura 9 – Tecnificação média municipal e desvio padrão das tecnificações bienais.



Fonte: Do autor.

Os resultados obtidos de estatísticas descritivas (tabela 3) mostraram aumento progressivo nas médias bienais e nos valores máximos de tecnificação.

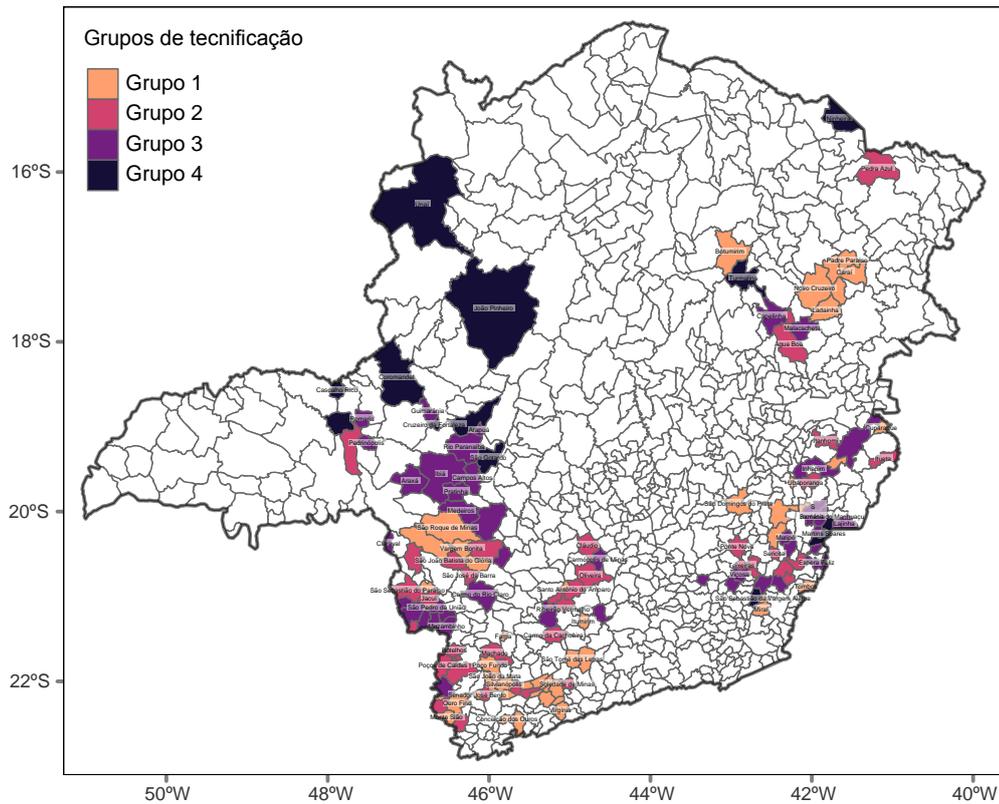
Tabela 3. Estatísticas descritivas para tecnificações bienais ($\text{kg } (10 \text{ m}^{-3})$).

Dado	2012-2013	2014-2015	2016-2017	Média	Desvio Padrão
Min.	0,1622	0,6247	0,5973	0,1352	0,01271
1st Qu.	1,3845	1,5907	1,8187	1,3503	0,16477
Median	1,7312	1,9225	2,1013	1,8166	0,28911
Mean	1,8691	2,0865	2,3552	1,8360	0,44464
3rd Qu.	2,1576	2,2944	2,5286	2,2064	0,56104
Max.	7,1636	7,9417	9,9323	6,8419	4,00641
NA's	271	336	344	242	242

4.4 Análise de regressão para grupos municípios

Após a classificação, obteve-se 46 municípios para o grupo 1, 42 municípios para o grupo 2, 42 municípios para o grupo 3 e 14 municípios para o grupo 4, totalizando 144 municípios na análise espacial e 3 biênios na análise temporal, resultando em 432 observações. A localização dos municípios e seus respectivos grupos estão representados na figura 10.

Figura 10 – Grupos de tecnificação.



Fonte: Do autor.

A análise de regressão linear para os quatro grupos de municípios, considerando as médias bienais de produtividade em função das médias bienais de precipitação do período setembro-janeiro com valores mensais limitados a 210 mm constam na tabela 4. O modelo linear foi significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student nos grupos 1, 2 e 3, indicando forte correlação. Já para o grupo 4 não houve diferença significativa.

Tabela 4. Análise de regressão para os quatro grupos de municípios.

Grupo	Coefficiente	Estimado	Erro padrão	valor t	Pr(> t)
1	β_0	-76,3945	69,8413	-1,094	0,276
1	β_1	1,7500	0,0987	17,731	0,000 ***
2	β_0	55,4122	56,7921	0,976	0,331
2	β_1	1,8249	0,0799	22,845	0,000 ***
3	β_0	203,8188	84,1148	2,423	0,017 *
3	β_1	1,9305	0,1188	16,249	0,000 ***
4	β_0	1440,4377	447,3915	3,220	0,002 **
4	β_1	0,8802	0,6672	1,319	0,194

*Significante a 10%; **Significante a 5%; ***Significante a 1%.

De acordo com a tabela 5, o grupo 2 foi o que apresentou maior nível de correlação com um alto valor de coeficiente R^2 (0,808) e menor valor de desvio padrão do resíduo (91,5 kg ha⁻¹). Os grupos 1 e 2 apresentaram boa correlação, com valores similares de R^2 e desvio padrão do resíduo. O grupo 4 apresentou correlação insignificante pelo teste F de Fisher-Snedecor e valor de coeficiente R^2 praticamente nulo.

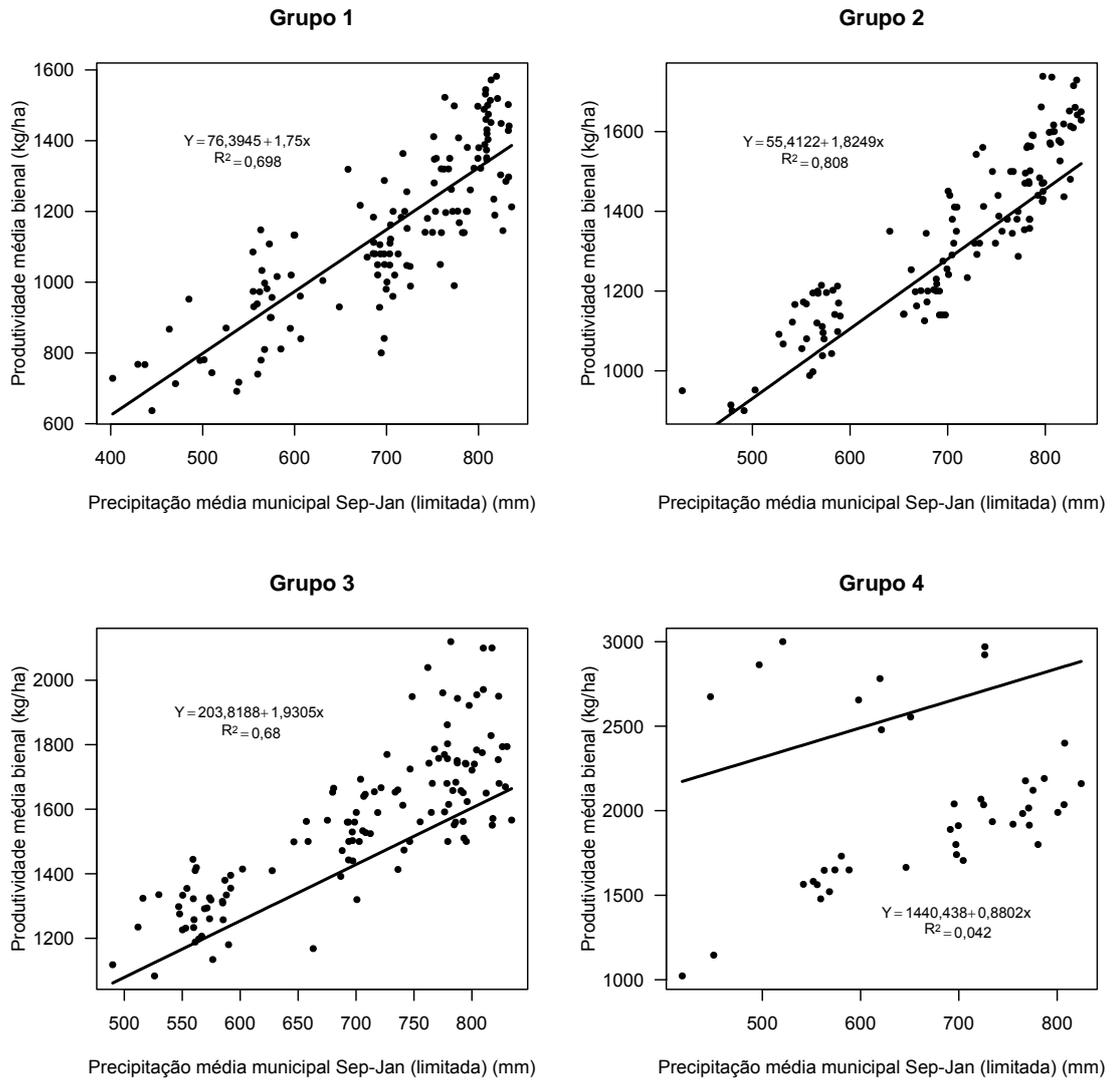
Tabela 5. Análise de correlação para regressões.

Grupo	RSE (kg ha ⁻¹)	R^2	F	p-value
1	126,1	0,698	314,4	0,000
2	91,5	0,808	521,9	0,000
3	130,0	0,680	264,0	0,000
4	474,3	0,042	1,7	0,195

RSE: Desvio padrão do resíduo.

Na figura 11 obteve-se os gráficos de dispersão e os respectivos ajustes de regressão linear para os grupos de municípios. Observou-se no gráfico de dispersão do grupo 4 a presença de observações seguindo uma linha de tendência linear, porém pontos de muito alta produtividade e baixa precipitação afetaram a análise. Os prováveis motivos serão discutidos adiante. Do grupo 1 ao grupo 3, obteve-se um progressivo aumento dos coeficientes angulares das retas. No grupo 1 houve um aumento de 1,75 kg ha⁻¹ de produtividade para cada mm de precipitação, já no grupo 3, o aumento foi de 1,93 kg ha⁻¹.

Figura 11 – Curvas de regressão para grupos de municípios.



Fonte: Do autor.

5 DISCUSSÃO

5.1 Produtividade municipal

A alto valor de R^2 (0,948) obtido pelo ajuste linear e a alta correlação entre área plantada e produção indica uma faixa de produtividade típica no estado. Com base na equação de regressão linear obtida, a produtividade do ajuste foi de 1650 kg ha⁻¹ ou 27,5 sacas (60 kg) por hectare de café beneficiado no período 2012-2019. Segundo levantamentos disponibilizados nos boletins de safra da CONAB, a produtividade do café no estado de Minas Gerais variou de 22,76 a 30,44 sacas por hectare entre 2013 e 2016. A presença de uma produtividade típica pode ser atribuída a busca dos produtores por certos valores considerados aceitáveis de produtividade. A cafeicultura irrigada, presente em aproximadamente 12% do parque cafeeiro de Minas Gerais (FRANCO JUNIOR, GUIMARÃES e CARVALHO, 2019) não foi capaz de causar grande impacto na relação produção por área quando considerado todo o estado, evidenciando o predomínio da cafeicultura de sequeiro na produção.

5.2 Distribuição da precipitação pluvial mensal

A distribuição das chuvas durante as fases fenológicas do café arábica afeta a produção das lavouras (TOSELLO e DE ARRUDA, 1962; CAMARGO e CAMARGO, 2001; FAVARIN, NOVA, *et al.*, 2002; CARVALHO, KORCELSKI, *et al.*, 2013). O estresse hídrico afeta principalmente a fase reprodutiva da cultura, de máxima floração e maturação, apresentando grande demanda hídrica (CARVALHO, KORCELSKI, *et al.*, 2013), justificando a boa correlação encontrada para precipitação pluvial de setembro a janeiro. Nos biênios analisados notou-se que o começo das chuvas acontece de maneira geral em setembro. As primeiras chuvas são importantes para o início da fase reprodutiva do cafeeiro. A disponibilidade hídrica ocorrida no início das chuvas é considerada o principal indutor da florada (CAMARGO e CAMARGO, 2001), tornando o mês de setembro importante ponto de partida na análise objetivada por esse trabalho. De acordo com esquema proposto por Camargo e Camargo (2001), a fase de chumbinho e expansão dos frutos ocorre até dezembro tornando a disponibilidade hídrica importante nesse período. A partir de janeiro se inicia a granação dos frutos, em que o fruto se transforma em grão e ocorre até março. Considerando uma CAD de 100 mm para o cafeeiro, valor que é frequentemente utilizado na literatura (MEIRELES, 2009) e uma ETc diária média de 6 mm no verão para zonas cafeeiras

do estado, as reservas seriam capazes de sustentar 16 dias sem chuvas. O mês de fevereiro apresentou zonas com baixos acumulados nos biênios 2011-2012, 2013-2014, indicando a ocorrência de veranicos. No estado de Minas Gerais, bem como em toda zona intertropical, há a ocorrência de interrupção das chuvas durante o período chuvoso, fenômeno denominado veranico (MINUZZI, SEDIYAMA, *et al.*, 2005). Fortes estiagens no mês de fevereiro podem afetar a granação causando chocamento dos frutos (CAMARGO e CAMARGO, 2001). Acumulados mensais abaixo de 100 mm tem potencial de provocar déficit hídrico. Diversas áreas do estado apresentaram acumulados inferiores a 100 mm no mês de fevereiro, especialmente na porção central e norte nos biênios 2011-2012 e 2013-2014. Devido ao maior desenvolvimento do sistema radicular do cafeeiro, os veranicos têm menos potencial de impacto quando comparado a culturas anuais apesar de o efeito poder ser sentido em condições de cerrado devido a solos de baixa capacidade de retenção de água (BONOMO, 1999; LOPES, 1984). A cafeicultura das regiões sul/sudoeste do estado e triangulo mineiro/alto Paranaíba, que concentram aproximadamente 65% da produção (IBGE, 2018) não foram consideravelmente afetadas pelos veranicos do mês de fevereiro.

5.3 Tecnificação municipal

A cafeicultura no cerrado mineiro (porção noroeste do estado) foi implementada com inovações tecnológicas, tendo alta produtividade e presença de cafeicultura irrigada (BONOMO, 1999; ORTEGA e JESUS, 2011) que viabiliza a produção em áreas de volume ou regime de chuvas desfavorável, concentrando cerca de 84% do parque cafeeiro irrigado do estado (EMATER, 2018; FRANCO JUNIOR, GUIMARÃES e CARVALHO, 2019). Como a região do cerrado mineiro, de maneira geral apresenta um regime de chuvas irregular e desfavorável, os produtores têm maior tendência de adotar a irrigação (RONCHI, COUTO DE ARAUJO, *et al.*, 2015). De maneira similar, a região norte do estado também vem ganhando destaque com sua cafeicultura empresarial, viabilizada através de modernas tecnologias (MATIELLO, FERNANDES e FERNANDES, 2013). Isso faz com que os municípios dessas regiões tendam a apresentar maiores valores de tecnificação. Os municípios cafeeiros do sul e leste de Minas Gerais apresentaram tecnificações similares. A presença de irrigação no sul e leste de Minas é pouco expressiva em comparação ao cerrado (EMATER, 2018). De maneira geral, a cafeicultura do sul do estado tem grande presença de pequenas propriedades (BROGGIO, DROULERS e GRANDJEAN, 1999) e relevo acidentado (VILAS BOAS, 2020), o que dificulta a mecanização.

Dado a homogeneidade da produtividade no estado, há indícios de que municípios que têm boa quantidade de chuva e conseqüente potencial para produtividades maiores, não aproveitam todo o potencial. Geralmente municípios com chuvas adequadas para alta produtividade não investem na tecnificação da lavoura afim de atenuar os demais fatores limitantes. Enquanto municípios com pouca chuva adotam maior tecnificação, adubação e manejo, o que acaba compensando a produtividade. Outro fator a ser considerado é o desenvolvimento de doenças do cafeeiro, influenciado por variáveis climáticas como a umidade e o molhamento foliar (AGRIOS, 2005; JONES, 1986). A ferrugem (*hemileia vastatrix* berk. Et br.) é a principal doença que ataca o cafeeiro, com potencial de causar perdas na produção sendo sua incidência influenciada por fatores biológicos e meteorológicos, como temperatura do ar e distribuição e intensidade das chuvas (AKUTSU, 1981). Desta forma, a precipitação é fundamental para a disseminação de patógenos (CAMPBELL e MADDEN, 1990) e conseqüente interferência na produtividade, principalmente nas zonas mais úmidas do estado.

O desvio padrão das tecnificações indicam o quanto a tecnificação do município se alterou com o passar dos biênios. De maneira geral as tecnificações tendem a aumentar com o tempo. O alto desvio padrão observado em municípios no norte de Minas Gerais sugere o avanço recente da cafeicultura de alta tecnologia nessa região. Já no cerrado, apesar de altas tecnificações, o desvio padrão não foi elevado, indicando certa estagnação no avanço tecnológico em comparação ao norte para o período analisado.

5.4 Análise de regressão

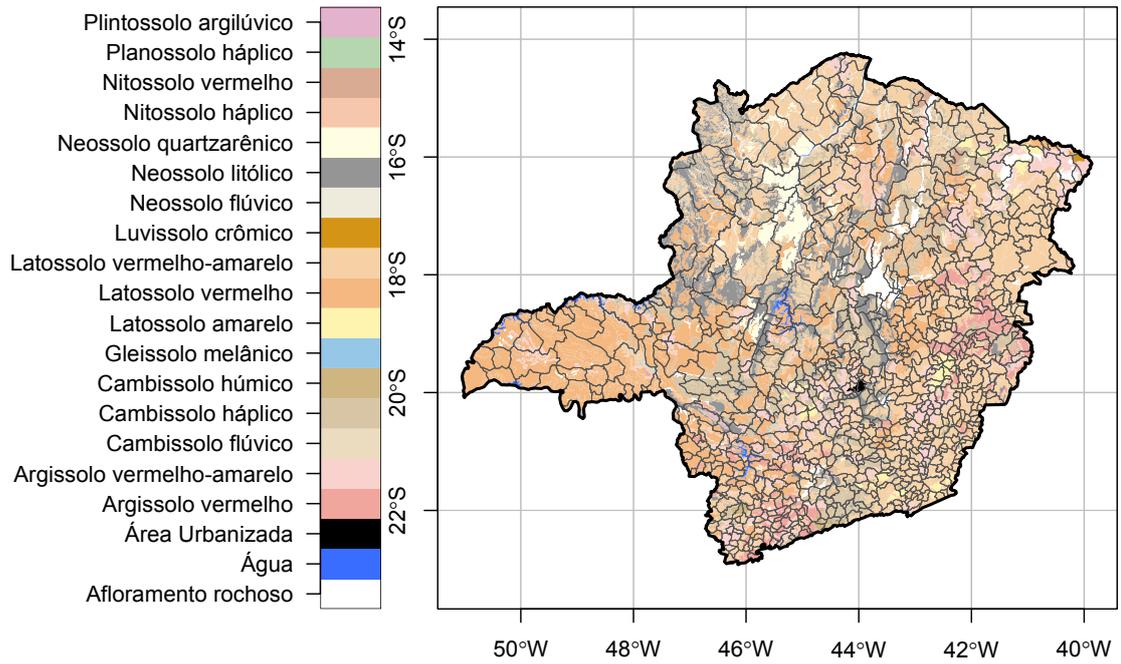
O grupo 2 apresentou maior correlação de produtividade em função da chuva principalmente devido a menor faixa de tecnificação adotada para esse grupo (tabela 1). A faixa de tecnificação adotada para o grupo 2 abrange a média geral de tecnificação do estado (tabela 3), com que uma maior quantidade de municípios estejam próximos desses valores. Para os demais grupos, foram necessárias faixas maiores afim de se abranger uma quantidade satisfatória de municípios o que diminui a correlação. Em relação ao grupo 4, a faixa adotada foi muito maior, abrangendo municípios de alta tecnificação e maior presença de agricultura irrigada. Foi possível observar no grupo 4 a presença de produtividades ainda dependentes da precipitação pluvial e observações totalmente independentes com alta produtividade e baixa precipitação. Esses últimos pontos dizem respeito a municípios com alta participação da irrigação no seu parque cafeeiro, sendo independentes das chuvas.

Entre os grupos que apresentaram correlação significativa, o grupo 1 foi de maior faixa de tecnificação e apresentou a segunda melhor correlação. Os resultados são justificáveis devido ao grupo 1 responder pelos municípios de mais baixa tecnificação, que naturalmente tendem a ser mais dependentes das chuvas. O grupo 3, apesar da menor faixa de tecnificação adotada, apresentou menor correção em relação ao grupo 1. O resultado era esperado devido a maior presença de irrigação nesses municípios em relação ao grupo 1. É importante ressaltar que o máximo efeito da irrigação depende de projeto e manejo adequado (CONCEIÇÃO, MACHADO, *et al.*, 2019) o que nem sempre ocorre nas propriedades.

Quando analisados os coeficientes angulares dos grupos de correlação significativa, os resultados mostraram que a produtividade obtida para cada mm de precipitação cresce conforme o aumento da tecnificação dos grupos. Isso se deve ao fato de que propriedades mais tecnificadas possuem menos fatores limitantes, conseguindo produzir mais com menos chuva e conseqüentemente o aumento de suas produtividades é mais intenso conforme os acumulados se tornam mais favoráveis.

Um dos fatores capazes de influenciar na relação produtividade por precipitação é o solo das regiões. Os latossolos são os de maior ocorrência no estado (AMARAL, SANTOS, *et al.*, 2004) e apresentam grandes profundidades, razoável capacidade de armazenamento, porém na maioria dos casos são distróficos e de baixa CTC (RESENDE, CURI, *et al.*, 2014). Em geral a presença de latossolos se dá em superfícies mais altas do terreno (planaltos) (RESENDE, CURI, *et al.*, 2014) onde geralmente a mecanização é mais viável e a temperatura do ar é mais amena, favorecendo a produtividade do cafeeiro. Com base nos dados de solos de Minas Gerais (FEAM, 2010) disponibilizados pela UFV (figura 12), nota-se maior quantidade de municípios dos grupos 2 e 3 em áreas de latossolos, o que contribui para maior tecnificação e maior resposta de produtividade. Quando se analisa o grupo 1, os seus municípios apresentaram maior incidência de solos menos desenvolvidos, como neossolos litólicos, cambissolos e argissolos. Como a capacidade de armazenamento de água em solos menos desenvolvidos é reduzida, além de que sua ocorrência está associada a relevos mais acidentados e conseqüente aumento do escoamento superficial direto, há a tendência de que o efeito da chuva gere produtividade inferior devido ao menor aproveitamento da água. O fato foi observado no grupo 1, que apresentou a menor resposta de produtividade por mm de chuva ($1,75 \text{ kg ha}^{-1}$).

Figura 12 – Mapa de solos do estado de Minas Gerais.



Fonte: Do autor.

6 CONCLUSÃO

Foi possível identificar a distribuição das chuvas e a produtividade nos municípios do estado, bem como a produtividade típica entre 2012 e 2019.

A relação de produtividade por precipitação permitiu classificar os municípios em grupos de tecnificação e identificar os seus desempenhos em gerar produtividade de acordo com a quantidade de precipitação pluvial.

Foi identificada alta correlação entre o acumulado de precipitação pluvial de setembro a janeiro com valores mensais limitados a 210 mm e a produtividade de café arábica para 130 municípios em todas as regiões de Minas Gerais. O método também permitiu identificar municípios onde há predomínio de áreas irrigadas, em que não há efeito significativo da precipitação pluvial nas suas produtividades.

As equações obtidas permitem estimar o efeito resultante da precipitação ocorrida de janeiro a setembro na produtividade, em diferentes ambientes de maneira simples e de fácil aplicação, com base apenas em dados de precipitação pluvial mensal.

REFERÊNCIAS

- AGRIOS, G. N. **Plant pathology**. 5th. ed. Oxford: Elsevier Academic Press, 2005.
- AKUTSU, M. **Relação de funções climáticas e bióticas com a taxa de infecção da ferrugem do cafeeiro (Hemileia vastatrix Berk & Br.)**. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 1981.
- ALÈGRE, C. Climates et caféiers d'Arabie. **Agronomie Tropicale**, v. 14, p. 23–58, 1959.
- AMARAL, F. C. S. D. et al. **Mapeamento de solos e aptidão agrícola das terras do Estado de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 97 p.
- ÁVILA, L. F. et al. Trends of minimum and maximum air temperatures in the state of Minas Gerais, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, p. 247–256, April 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2014000400247&lng=pt&tlng=pt.
- BARROS, I. D. **Seed yields of coffee varieties Caturra and Mundo Novo as affected by spacings; number of plants per hole and pruning systems**. Universidade de São Paulo. Piracicaba, p. 82. 2018.
- BEAUMONT, J. H. An analysis of growth and yield relationships of coffee trees in the Kona district, Hawai. **Journal of Agricultural Research**, v. 59, p. 223–235, 1939.
- BONOMO, R. **Análise da irrigação na cafeicultura em áreas de cerrado**. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p. 224. 1999.
- BROGGIO, C.; DROULERS, M.; GRANDJEAN, P. A Dinâmica Territorial da Cafeicultura Brasileira – Dois Sistemas de Produção em Minas Gerais, Rio de Janeiro, v. 04, n. 06, p. 73-91, 1999.
- CALDARELLI, C. E.; GILIO, L.; ZILBERMAN, D. The Coffee Market in Brazil: challenges and policy guidelines. **Revista de Economia**, v. 39, n. 69, p. 1-21, 2018.
- CAMARGO, Â. P. D.; CAMARGO, M. B. P. D. Definition and outline for the phenological phases of arabic coffee under Brazilian tropical conditions. **Bragantia**, v. 60, p. 65–68, 2001. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052001000100008&lng=pt&tlng=pt.
- CAMARGO, M. B. P. et al. Relações entre a precipitação pluviométrica e a produtividade do cafeeiro. **Ecossistema**, Espírito Santo do Pinhal, v. 9, n. 1, p. 166-171, 1984.
- CAMARGO, M. B. P. et al. **Modelo agrometeorológico de monitoramento e de estimativa de quebra de produtividade como subsidio à previsão de safra de café (Coffea arabica L.)**. SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Porto Seguro. Resumos. Brasília: Embrapa Café. 2003. p. 75-76.
- CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. 1st edn. ed. New York: John Wiley & Sons Inc, 1990.
- CARVALHO, A. C. et al. Panorama e importância econômica do café no mercado. **Agroecossistemas**, v. 9, n. 2, p. 223–222, 2017.

- CARVALHO, I. R. et al. Water demand of crop agronomic interest. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, p. 969, 2013.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: café**. 4. ed. Brasília: Observatório Agrícola, v. 1, 2013. 20 p.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento safra brasileira: café**. 4. ed. Brasília: Observatório Agrícola, v. 3, 2016. 77 p.
- CONCEIÇÃO, W. B. D. et al. Crescimento inicial do cafeeiro em um latossolo vermelho amarelo sob diferentes umidades do solo. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, v. 4, n. 1, p. e7715, 2019.
- DAMATTA, F. M. et al. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, p. 485–510, December 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1677-04202007000400014&lng=en&tlng=en>.
- DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n. 1, p. 55-81, 2006.
- DRUMMOND, J. **Biodiversity in Minas Gerais - An Atlas for Its Conservation**. Belo Horizonte. 2005.
- EMATER. Projeto Observatório da Agricultura de Minas Gerais, 2018. Disponível em: <https://www.emater.mg.gov.br/portal.do?flagweb=novosite_geoportalsobre>.
- FAVARIN, J. L. et al. Estimating of coffee plant water consumption as function as climatic parameters. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, p. 235–240, 2002.
- FEAM. **Mapa de Solos de Minas Gerais: legenda expandida**. UFV/CETEC/UFLA/FEAM. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. 49 p.
- FERNANDES, A. L. T. et al. The modern coffee planting in the Brazilian savannah. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, p. 231–240, June 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-40632012000200015&lng=pt&tlng=pt>.
- FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 37, p. 4302–4315, October 2017. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.5086>>.
- FRANCO JUNIOR, K. S.; GUIMARÃES, B. C.; CARVALHO, J. S. Diagnóstico da cafeicultura irrigada em Minas Gerais. **XXI Simpósio Brasileiro de Pesquisa em Cafeicultura Irrigada**, 20 mar. 2019.
- FRANCO JUNIOR, K. S.; GUIMARÃES, B. C.; CARVALHO, J. S. **Diagnóstico da cafeicultura irrigada em Minas Gerais**. XXI Simpósio Brasileiro de Pesquisa em Cafeicultura Irrigada. Araguari: [s.n.]. 2019.
- GATHAARA, M. P. H. Pruning Arabica Coffee: some physiological aspects to consider. **Kenya Coffee-The Coffee Board of Kenya Monthly Bulletin (Kenya)**, v. 61, p. 2261–2262, 1996.

- HARRIS, I. et al. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations - the CRU TS3.10 Dataset. **International Journal of Climatology**, v. 34, p. 623-642, 2014.
- HIJMANS, R. J. et al. raster: Geographic Data Analysis and Modeling, 2020. Disponível em: <<https://rspatial.org/raster>>. Acesso em: 10 Novembro 2022.
- IBGE. PAM - Produção Agrícola Municipal, 2018. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 10 Novembro 2022.
- IBGE. Estimativas da população residente para os municípios e para as Unidades da Federação brasileiros, com data de referência em 1 de julho de 2021, 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=resultados>>. Acesso em: 10 Novembro 2022.
- IBGE. Malha municipal 2021. Mapas, bases e referenciais, bases cartográficas, malhas digitais, 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=acesso-ao-produto>>. Acesso em: 10 Novembro 2022.
- IBGE. PAM - Produção Agrícola Municipal, 2021. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 10 Novembro 2022.
- ILLY, A.; VIANI, R. **Espresso coffee: the chemistry of quality**. 2nd. ed. San Diego: Academic Press, 1996. 253 p.
- JONES, A. Role of wet periods in predicting foliar diseases. **Plant Dis Epidemiol**, v. 1, p. 87-100, 1986.
- LEROY, T. et al. Genetics of coffee quality. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n. 1, p. 229-242, 2006.
- LOPES, A. S. **Solos sob “cerrados”**: características, propriedades e manejo. 2ª. ed. Piracicaba: Potafos, 1984. 162 p.
- MATIELLO, J. B. **O café**: do cultivo ao consumo. São Paulo: Globo, 1991. 320 p.
- MATIELLO, J. B.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. Café do nortenoeste mineiro e oeste baiano alcança bom nível, n. 12, p. 92-94, Junho 2013.
- MEIRELES, E. J. L. **Fenologia do Cafeeiro**: condições agrometeorológicas e balanço hídrico do ano agrícola 2004–2005. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.
- MINUZZI, R. B. et al. El Niño: ocorrência e duração dos veranicos do Estado de Minas Gerais, v. 9, n. 3, p. 364-371, 2005.
- ORTEGA, A. C.; JESUS, C. M. Território café do Cerrado: transformações na estrutura produtiva e seus impactos sobre o pessoal ocupado. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 49, p. 771–800, September 2011. ISSN ISSN: 0103-2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032011000300010&lng=pt&tlng=pt>.
- PEBESMA, E. Simple Features for R: Standardized Support for Spatial Vector Data. **The R Journal**, v. 10, n. 1, p. 439-446, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.32614/RJ-2018-009>>.

- PEBESMA, E. stars: Spatiotemporal Arrays, Raster and Vector Data Cubes, 2022. Disponível em: <<https://r-spatial.github.io/stars/>>. Acesso em: 10 Novembro 2022.
- PEREIRA, V. et al. Riscos e Retornos da Cafeicultura em Minas Gerais: uma análise de custos e diferenciação. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 48, p. 657-678, 2010.
- PETEK, M. R.; SERA, T.; FONSECA, I. C. D. B. Exigências climáticas para o desenvolvimento e maturação dos frutos de cultivares de coffeea arabica. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 1, p. 169-181, 2009.
- PICINI, A. G. et al. Desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos para a estimativa de produtividade do cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 1, p. 157-170, 1999.
- RESENDE, M. et al. **Pedologia base para distinção de ambientes**. 6ª. ed. Lavras: Editora UFLA, 2014. 378 p.
- RONCHI, C. et al. Respostas ecofisiológicas de cafeeiros submetidos ao deficit hídrico para concentração da florada no Cerrado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 24-32, January 2015.
- SÁ JÚNIOR, A. et al. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 108, p. 1–7, April 2012.
- SAKIYAMA, N. et al. **Café Arábica do Plantio à Colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2015. 316 p.
- SANTOS, M. A. D.; CAMARGO, M. B. P. D. Parametrização de modelo agrometeorológico de estimativa de produtividade do cafeeiro nas condições do estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 65, n. 1, p. 173-183, 2006.
- SILVA, C. A. et al. Produtividade do cafeeiro e atributos de fertilidade de latossolo sob influência de adensamento da lavoura e manejo da calagem. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 1067-1076, 2004.
- SILVA, E. D.; REBOITA, M. S. Precipitation estudy for Minas Gerais state, Brazil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 13, p. 120–136, 2013.
- SOUZA, F. D. F. et al. **Características das principais variedades de café cultivadas em Rondônia**. 1ª. ed. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2004. 21 p.
- TENNEKES, M. tmap: Thematic Maps in R. **Journal of Statistical Software**, v. 84, n. 6, p. 1-39, 2018.
- THOMAZIELLO, R. A. et al. **Café arábica: cultura e técnicas de produção**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2000. 82 p.
- TOSELLO, R. N.; DE ARRUDA, H. V. Correlation between oficial estimates of coffee yields and rainfall distribution in the state of São Paulo. **Bragantia**, v. 21, p. 449–465, 1962. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87051962000100027&lng=pt&tlng=pt>.
- VILAS BOAS, L. G. A cafeicultura na região de planejamento Sul de Minas e no município de Nepomuceno, Minas Gerais, Fortaleza, v. 11, p. 656-673, 2020.

VILELA, E. H. P.; PENEDO, A. S. T. Análise dos custos de produção em relação de preços do café arábica em Minas Gerais. **Custos e @gronegócios online**, v. 17, n. 4, 2021.

VOLSI, B. et al. The dynamics of coffee production in Brazil. **PLOS ONE**, v. 14, n. 7, p. 1-15, jul. 2019.

VOLTOLINI, G. B. **Produtividade, qualidade e custo de produção de cafeeiros em função de diferentes técnicas agronômicas**. Universidade Federal de Lavras. Lavras, p. 88. 2019.

WICKHAM, H. et al. ggplot2: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics, 2021. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/ggplot2/index.html>>. Acesso em: 10 Novembro 2022.