A INFLUÊNCIA DO AMBIENTE SOBRE O CICLO FENOLÓGICO DE CAFÉ ARÁBICA CULTIVADO EM DIFERENTES ALTITUDES

João Pedro Martins Rainha[1], Fabiano Tristão Alixandre[2], Adésio Ferreira[3], Marcia Flores da Silva Ferreira[4].

[1]Universidade Federal do Espírito Santo, Alto Universitário, s/n, Guararema – 29500-000 – Alegre - ES, Brasil, jpedrostorm@gmail.com, adesioferreira@gmail.com, mfloressf@gmail.com.
[2]Instituto Capixaba de Pesquisa e Extensão Rural, Av. José Matinozo, 246, Centro – 29630-000 – Brejetuba-ES, Brasil, fabianotristao@incaper.es.gov.br

Resumo
A produção de café está entre as principais atividades econômicas do Espírito Santo. Considerado o segundo maior produtor de café nacional, conhecer como os ambientes influenciam o ciclo de desenvolvimento e por consequência o impacto sobre a produção é um ponto chave para a implantação de uma lavoura. Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência de quatro ambientes em diferentes altitudes na fenologia de dez cultivares de café arábica. Os experimentos foram realizados em quatro municípios do Espírito Santo onde foi avaliado ao longo de um período de produção as mudanças de período fenológico das plantas e observado como cada genótipo se comportava nos diferentes locais. Ao final das observações, foi constatado que houve diferenças entre os ambientes principalmente entre os de maior e menor altitude. Desta forma foi possível observar que maiores altitudes reduzem a velocidade de maturação das plantas.

Palavras-chave: Produção. Fenologia. Genótipos.

Área do Conhecimento: Ciências Biológicas, Genética.

Introdução

A produção de café é a atividade agrícola com maior impacto econômico no Espírito Santo (Fassio; Da Silva, 2015) com o cultivo das espécies *Coffea canephora* Pierre ex A.Froehner e *Coffea arabica* L.

O gênero *Coffea* possui cerca de 160 espécies e dentre elas *C.arabica* e *C.canephora* são os mais estudados e conhecidos (Dupeyron. *et al*. 2017). *C. arabica* é a única espécie poliploide é oriundo do cruzamento natural entre *C. canephora* e *Coffea eugenioides* (Salojarvi *et al*., 2024), é um alotetraploide que possui autocompatibilidade, e tem comportamento distinto se comparado aos seus genitores por ser uma planta que demanda altas altitudes, temperaturas mais baixas e maior demanda hídrica maior (De Oliveira *et al*., 2014).

O ciclo produtivo da lavoura de arabica é bianual (Pereira. *et al*. 2007). A baixa na produção ocorre devido a poda programada e demais fatores que variam de acordo com o ambiente. Segundo Ferrão, *et al*. (2009) a altitude em que a lavoura está implantada, influencia tanto na qualidade quanto na produtividade, ou seja, um mesmo genótipo cultivado em diferentes ambientes, poderá apresentar variação nas suas características produtivas. Isso decorre além da altitude, mas também, por influência da temperatura mais amena (Salustriano, 2019).

A variação fisiológica causada pelos fatores citados, levam a um comportamento distinto no ciclo fenológico dos genótipos, e esse comportamento diferente pode ser uma variável chave no momento da escolha de qual cultivar é melhor adaptado para aquela região. Neste trabalho objetivou-se analisar o comportamento fenológico de dez genótipos de café arábica em quatro ambientes no Espírito Santo, com variação de altitude por um ciclo produtivo.

Metodologia

As lavouras experimentais foram implantadas em quatro municípios da região do vale do café localizada na região Sudeste do Espírito Santo nos anos de 2023 e 2024. A lavoura do município de Brejetuba estava a 1100m altitude, Afonso Cláudio a 1000m, Venda Nova do Imigrante 800m e Conceição do Castelo a 700m. Cada experimento foi instalado em delineamento em blocos

casualizados, com quatro blocos. Foram avaliadas dez repetições por genótipo. Na linha de plantas foram marcadas as plantas quatro, cinco e seis, para serem as mesmas plantas a avaliadas durante o ano nos diferentes períodos de avaliação.

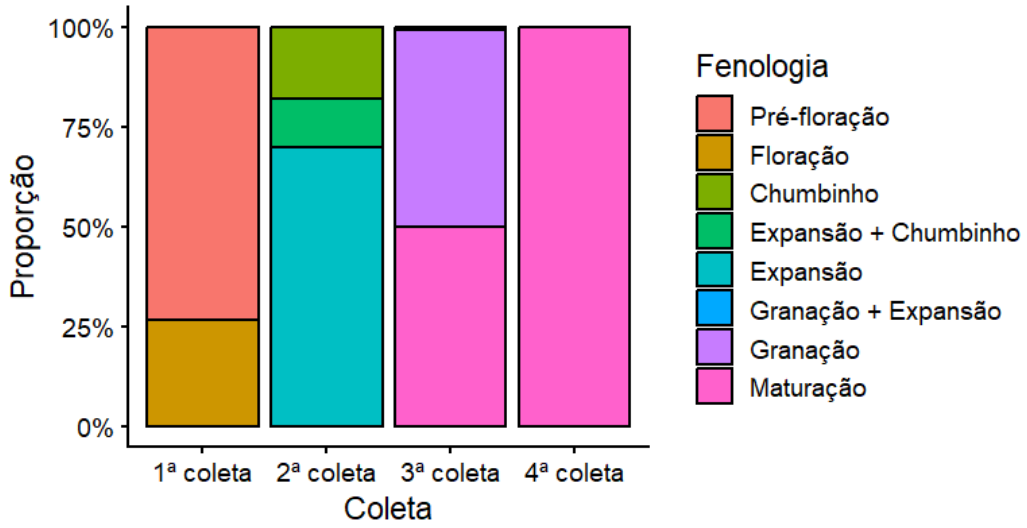
As análises do período fenológico ocorreram ao longo de um ano nos meses de junho de 2023 (pós-colheita) e setembro de 2023 de (florada), e janeiro de 2024 (expansão), março de 2024 (granação) e junho (maturação) de 2024. Os dados foram coletados em épocas baseadas em estudos do desenvolvimento fenológico do cafeeiro (Camargo; Camargo, 2001). Em cada época foram feitas análises visuais da morfologia das hastes produtivas (presença de botões florais e dominância de flores abertas) e dos frutos (verificação do desenvolvimento do fruto para definir em qual fase do ciclo de desenvolvimento estava). Ao todo foram realizadas 1920 observações da fenologia dos genótipos nos locais e tempos.

Para o tratamento dos dados, foi feita estatística descritiva para resumir e apresentar a frequência dos dados obtidos de acordo com a coleta e com os genótipos. Por serem dados categóricos, também foi feita a análise multivariada de correspondência múltipla para agrupar os dados e correlaciona-los. As análises e gráficos foram feitas utilizando Linguagem R (R Development Core Team, 2022).

Resultados

Na figura 1 são apresentadas as frequências das fenologias observadas em cada coleta. A partir do primeiro tempo de coleta até o terceiro, foi identificado variação nas fenologias, enquanto no último tempo (4° coleta), os genótipos não apresentaram variação quanto ao estágio fenológico estando todos em fase de maturação.

Figura 1 – Gráfico de frequência geral dos períodos fenológicos observados por coleta

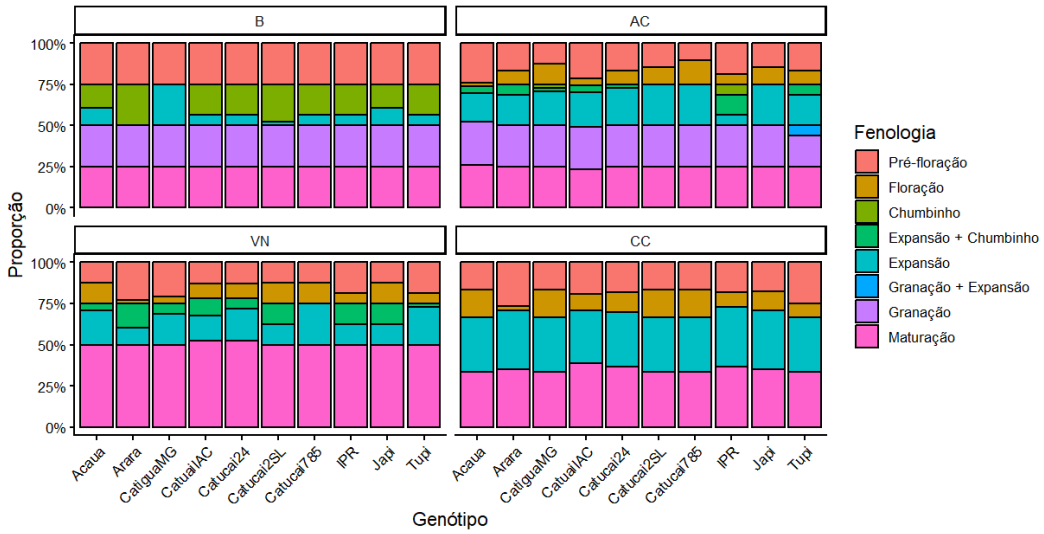


Fonte: elaborado pelo próprio autor, 2026

Na análise do comportamento dos genótipos nos diferentes ambientes (Figura 2), no período de florada, o ambiente de Brejetuba diferenciou-se dos demais, por não apresentar genótipos em floração. Ao comparar a fase de chumbinho e expansão, foi observado um retardo no desenvolvimento dos frutos ao comparar Brejetuba com os outros ambientes. Com exceção de Catiguá MG, todos os demais genótipos apresentaram a maioria das repetições em fase de chumbinho. Nos demais ambientes a proporção de indivíduos em fase de expansão aumentou. Em Conceição do Castelo, houve predominância da fase de expansão.

Nas duas últimas coletas houve diferença contrastante de fenologia entre os dois ambientes com maior altitude (Brejetuba e Afonso Claudio) e os dois com altitude mais baixa (Venda Nova do Imigrante e Conceição do Castelo). Nos ambientes de maior altitude os genótipos estavam em fase de granação, enquanto nos de menor altitude em fase de maturação. Na última coleta houve uniformidade dos genótipos na fase de maturação independentemente do ambiente. De maneira geral houve maior homogeneidade de comportamento em Brejetuba e maior heterogeneidade em Afonso Claudio por sua vez em todas as fases fenológicas.

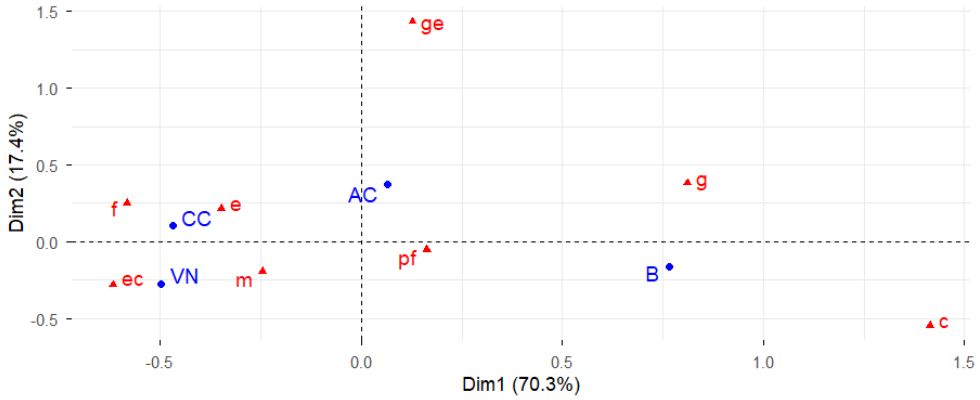
Figura 2 – Gráfico de frequência dos períodos fenológicos observados por ambiente e genótipo



Fonte: elaborado pelo próprio autor, 2026
Onde: B: Brejetuba, AC: Afonso Cláudio, VN: Venda Nova do Imigrante e CC: Conceição do Castelo.

A figura 3 representa uma análise de correspondência global entre fenologia e ambiente. Para a obtenção das correlações, foi realizado previamente o teste de qui-quadrado onde foi obtido (χ^2 = 678,46; $p < 0,001$). Esses valores comprovam que a fenologia variou em função das áreas cultivadas e corroboram para o padrão de associação da análise de correspondência. Nesse sentido, ao analisarmos o gráfico, foi obtido em duas dimensões uma inércia de 87,7%, este valor confere ao gráfico alta confiabilidade na estrutura de associação. Em relação aos agrupamentos, B teve forte associação com granação e também se associou a chumbinho. Se revisarmos a Figura 2, observamos que B realmente foi o ambiente em que granação teve maior representatividade. AC por sua vez aparece mais associado a pre-floração. porém, como ele ocupa uma posição próxima da origem, seria mais correto afirmar que este ambiente possui algum grau de associação com todas as fenologias.

Figura 3 – Gráfico de análise de correspondência global correlacionando ambiente e fenologia



Fonte: elaborado pelo próprio autor, 2026
Onde: pf: pré-floração, f: floração, c: chumbinho, ec: expansão e chumbinho, e: expansão, ge: granação e expansão, g: granação, m: maturação, B: Brejetuba, AC: Afonso Claudio, VN: Venda Nova do Imigrante, CC: Conceição do Castelo

Discussão

A variação no desenvolvimento do café pode decorrer por estarmos avaliando diferentes genótipos, como também, há possibilidade de o ambiente estar provocando essas alterações. Segundo Ribeiro,

(2024) diferentes cultivares de *Coffea arabica* podem se desenvolver de forma diferente devido a alterações na fisiologia que são provocadas pelo ambiente como a altitude e temperatura. Isso reforça o que foi observado na Figura 01 e 02, ao observarmos as variações encontradas em cada coleta, e diferenças no estágio fenológico de um mesmo genótipo para diferentes áreas. Além desses fatores, variações na humidade, fotoperíodo, precipitação e nutrição, também podem alterar o período de floração e maturação dos grãos (Dias; Martins; Martins, 2024).

O aumento da temperatura é um fator crucial no período de florada em geral, pois afeta o tempo de abertura dos botões florais como também o abortamento das flores, principalmente temperaturas elevadas (Da Matta, Martins; Ramalho. 2024). A forte onda de calor que incidiu sobre todo o Espírito Santo nos meses de novembro e dezembro de 2024, podem ter influenciado a velocidade com a qual os genótipos avançaram de estágio, fazendo com que a região de Brejetuba que em todas as coletas apresentava uma progressão mais lenta se aproximasse de Afonso Claudio. Noronha. *Et al*. (2025) relataram que o efeito da temperatura como fator determinístico na fase de enchimento dos grãos (expansão e granação) e no período de florada alertando que esses dois estágios são críticos para variações altas de temperatura.

A análise de correspondência explica exatamente o que foi relatado pelos autores, os ambientes com altitude mais baixa e temperatura mais alta, agruparam-se com os estágios de floração, expansão e maturação, relatando forte associação do ambiente com o estágio fenológico, além da altitude, vale ressaltar que as lavouras nos ambientes de Conceição do Castelo e Venda Nova do Imigrante recebiam maior tempo de luz solar direta em relação ao ambiente de Brejetuba devido a vegetação nativa que ocorria no local, logo é esperado que a temperatura dos locais com maior fotoperíodo agrupem-se com as fases citadas. Esse fato corrobora com os gráficos de frequência e heterogeneidade do ambiente. Já para os ambientes VN e CC, é interessante observar como esses locais estão próximos de si e possuem forte associação com as fases de floração, expansão e maturação. Essa distribuição espacial no gráfico também sugere que há influência do ambiente tanto no desenvolvimento da planta, quanto na maturação dos frutos. Unigarro *et al*. (2025) afirma que independente da área a ser cultivada, a observação dos estágios fenológicos deve ser levada em consideração para que o manejo correto seja aplicado para a manutenção da lavoura, e assim, garantir que as fases cruciais recebam cuidados para que não haja queda da produtividade.

Conclusão

Diante dos resultados observados, é possível afirmar que o ambiente tem influência sobre fenologia dos diferentes genótipos afetando o seu ciclo de maturação. Mesmo para genótipos cuja a maturação é precoce. Logo, durante a escolha de qual genótipo escolher para a implantação de uma lavoura. Deve ser levado em conta os que melhores se adaptam principalmente em relação a variação da temperatura causada pela altitude.

Referências

CAMARGO, Ângelo Paes de; CAMARGO, Marcelo Bento Paes de. **Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil**. Bragantia, v. 60, p. 65-68, 2001.

Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de café** – v.1, n.1 (2014-) – Brasília: Conab, 2024.

DA MATTA, Fábio Murilo; MARTINS, Samuel Cordeiro Vitor; RAMALHO, José C. **Ecophysiology of Coffee Growth and Production in a Context of Climate Changes**. In Advances in Botanical Research; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2024

DIAS, Cassia Gabriela; MARTINS, Fabrina Bolzan; MARTINS, Minella Alves. **Climate risks and vulnerabilities of the Arabica coffee in Brazil under current and future climates considering new CMIP6 models**. Science of the Total Environment, v. 907, 167753, Jan. 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167753.

DUPEYRON, Mathilde *et al*. Distribution of Divo in Coffea genomes, a poorly described family of angiosperm LTR-Retrotransposons. **Molecular Genetics and Genomics**, v. 292, p. 741-754, 2017.

FASSIO, Levy Heleno; DA SILVA, Antônio Elias Sousa. **Importância econômica e social o café Conilon**. Incaper, 2015.

FERRÃO, Maria Amelia Gava. *et al*. **Qualidade de café arábica em diferentes altitudes no Espírito Santo**. In: VI Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2009, Vitória, ES. Anais do VI Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Brasília, DF: Embrapa Café, 2009. v. CD

FERRÃO, Romário Gava *et al*. Melhoramento genético de Coffea canephora. **Incaper**, 2015.

NORONHA, Marcus Vinícius Oliveira *et al*. **Impact of climate on grain filling, flowering, and productivity of arabica coffee**. Embrapa Digital Agriculture. 2025.

SALOJÄRVI, Jarkko *et al*. The genome and population genomics of allopolyploid Coffea arabica reveal the diversification history of modern coffee cultivars. **Nature genetics**, v. 56, n. 4, p. 721-731, 2024.

PEREIRA, Sérgio Parreiras *et al***. Crescimento vegetativo e produção de cafeeiros (Coffea arabica L.) recepados em duas épocas, conduzidos em espaçamentos crescentes**. Ciência e agrotecnologia, v. 31, p. 643-649, 2007.

R Core Team. **R: a language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. R.manuals, 2022.

RIBEIRO, Jéssica Marcelle Lemos. **Crescimento vegetativo de variedades de Coffea arabica L. no município de Areia, PB. 2024**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2024. Disponível em: https://repositorio.ufpb.br.

SALUSTRIANO, Natasha de Andrade. **Avaliação dos efeitos da maturação sobre a composição e análise sensorial de genótipos de café conilon (Coffea canephora)**. Dissertação de Mestrado (Ci ências Farmacêuticas). Universidade Vila Velha, 2019.

UNIGARRO, Carlos Andres *et al*. **Flowering and Fruiting of Coffea arabica L.: A Comprehensive Perspective from Phenology**. Plants, v. 14, n. 21, p. 3396, 2025.

Agradecimentos

Agradeço ao Instituto Capixaba de Pesquisa e Extensão Rural pelo apoio no projeto, na montagem das áreas experimentais, na disponibilização dos genótipos e no manejo do experimento.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) – Edital nº 12/2021 – PROCAP 2022, Processo nº 026/2023