

CORRELAÇÕES ENTRE DESCRITORES FOLIARES DO CAFEIEIRO ARÁBICA PARA DIFERENTES DISPONIBILIDADES DE NITROGÊNIO

Sávio José Souza Salazar¹, Márcio Antonio Apostólico², Tafarel Victor Colodetti², Glaucio Luciano Araujo¹, Sebastião Vinícius Batista Brinate¹, Marcelo Antonio Tomaz², Wagner Nunes Rodrigues¹.

¹Centro Universitário UNIFACIG, Campus Alfa Sul, Rua Darcy César de Oliveira Leite, 600, Alfa Sul - 36904-219 - Manhuaçu-MG, Brasil, 2010145@sempre.unifacig.edu.br, agronomia@sempre.unifacig.edu.br, sebastiao.vinicius@sempre.unifacig.edu.br, wagner.nunes@sempre.unifacig.edu.br.

²Universidade Federal do Espírito Santo/Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Alto Universitário, s/nº, Guararema - 29500-000 - Alegre-ES, Brasil, marcioapostolico84@yahoo.com.br, tafarelcolodetti@hotmail.com, marcelo.tomaz@ufes.br.

Resumo

O objetivo deste estudo foi estimar coeficientes de correlação entre alguns dos principais descritores morfofisiológicos do desenvolvimento foliar do cafeeiro arábica, considerando plantas jovens submetidas a condições contrastantes de disponibilidade de nitrogênio no solo. O experimento foi implantado seguindo delineamento de blocos ao acaso, estabelecendo-se três condições contrastantes de disponibilização de nitrogênio no solo, testadas em oito repetições. Aos seis meses de cultivo sob as condições contrastantes de disponibilidade de nitrogênio, as plantas foram avaliadas quanto a: área foliar, matéria seca de folhas, teores de clorofilas *a* e *b*, taxa fotossintética e concentração de nitrogênio foliar. O estudo das correlações permitiu identificar que as correlações entre os descritores morfofisiológicos do desenvolvimento foliar do cafeeiro arábica jovem são moduladas pela disponibilidade de nitrogênio no solo. A limitação da adubação com nitrogênio pode causar inversão de comportamento entre alguns dos descritores, sendo especialmente notado para a correlação entre a taxa fotossintética e a área, massa e concentração de nitrogênio das folhas das plantas de café.

Palavras-chave: Cafeicultura. *Coffea arabica*. Fotossíntese. Nutrição.

Área do Conhecimento: Agronomia.

Introdução

O café é uma cultura de grande importância global, sendo o Brasil o maior produtor e exportador mundial, o que destaca a relevância socioeconômica da cafeicultura para o país, gerando renda e empregos ao longo de toda a sua cadeia produtiva (Conab, 2024). Dentre os fatores que influenciam o desenvolvimento e a produtividade de uma lavoura de café, a fertilidade do solo é crucial, merecendo destaque a disponibilidade de nitrogênio no solo, tendo em vista que é um macronutriente altamente demandado pelo cafeeiro (Malavolta; Vitti; Oliveira, 1997; Carelli; Fahl; Ramalho, 2006).

O nitrogênio desempenha um papel fundamental na composição de proteínas, ácidos nucleicos, pigmentos e outras moléculas orgânicas vitais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, incluindo os hormônios vegetais. Adicionalmente, o nitrogênio influencia diretamente o processo fotossintético, afetando a produção de clorofilas e, conseqüentemente, o potencial de crescimento das plantas (Epstein; Bloom, 2006; DaMatta *et al.*, 2007).

Diante da importância do nitrogênio, torna-se fundamental entender como diferentes níveis de disponibilidade desse nutriente impactam o desenvolvimento foliar do cafeeiro. As folhas, por serem os principais órgãos fotossintetizantes, fornecem os assimilados necessários para suprir as demandas metabólicas da planta, impactando diretamente em seu desenvolvimento e potencial de produção. A avaliação de descritores foliares permite analisar a resposta do cafeeiro a diferentes condições de adubação com nitrogênio, auxiliando no desenvolvimento de atualizações e adaptações no manejo nutricional da cultura (Epstein; Bloom, 2006; Souza; Fernandez, 2006).

Grande parte do conhecimento disponível sobre esse tema engloba a avaliação de descritores individualizados, muitas vezes sem estabelecer relações entre os mesmos. A análise de correlações

entre as variáveis de desenvolvimento foliar pode fornecer informações valiosas sobre como o cafeeiro responde à disponibilidade de nitrogênio. Essa análise é importante para identificar descritores com potencial para uso como indicadores do estado nutricional da planta em relação ao nitrogênio, auxiliando na tomada de decisão em relação ao manejo da adubação e na escolha de variáveis para estudos envolvendo a eficiência nutricional para nitrogênio (Salazar *et al.*, 2024).

As correlações podem ser alteradas ou apresentar comportamentos diferentes em função de diversos fatores, tal como a genética da planta e da influência do ambiente, que pode potencializar ou limitar a relação entre os descritores. Dessa forma, se torna importante estudar a influência da alteração ambiental sobre as correlações, especialmente quando se considera que a adubação com nitrogênio modula o ambiente no qual a planta se desenvolve durante seu cultivo.

O objetivo deste estudo foi estimar coeficientes de correlação entre alguns dos principais descritores morfofisiológicos do desenvolvimento foliar do cafeeiro arábica, considerando plantas jovens submetidas a condições contrastantes de disponibilidade de nitrogênio no solo.

Metodologia

O trabalho foi desenvolvido em uma propriedade rural de base familiar, tradicionalmente produtora de café arábica, localizada na região do Caparaó do Estado do Espírito Santo, no município de Alegre. O ensaio experimental foi implantado seguindo delineamento de blocos ao acaso, estabelecendo-se três condições contrastantes de disponibilização de nitrogênio no solo, testadas em oito repetições. As parcelas experimentais foram compostas por duas plantas adjacentes, separadas por bordaduras das demais por todos os lados.

O solo do local foi amostrado e analisado para determinação de suas características físico-químicas. Os resultados das análises foram empregados para definição da necessidade de correção da acidez e da fertilidade do solo de acordo com as recomendações vigentes para a região (Ribeiro; Guimarães; Alvarez, 1999; Prezotti *et al.*, 2007). A disponibilidade de nitrogênio no solo foi alterada pelo estabelecimento de diferentes níveis de adubação, criando três condições contrastantes: i) alto, recebendo uma adubação 50% superior à disponibilização recomendada para a implantação da cultura; ii) médio, recebendo a disponibilização recomendada para a implantação da cultura; iii) baixo, recebendo uma adubação 50% inferior à disponibilização recomendada para a implantação da cultura.

Foram preparadas covas de 64 dm³, estabelecidas com espaçamento de 2 × 1 m. Após o preparo das covas e dos tratamentos, mudas de café arábica padronizadas foram plantadas e cultivadas sob regime não irrigado. As práticas de manejo das plantas e do mato foram estabelecidas de acordo com a necessidade e seguindo as recomendações para a cultura (Reis; Cunha, 2010).

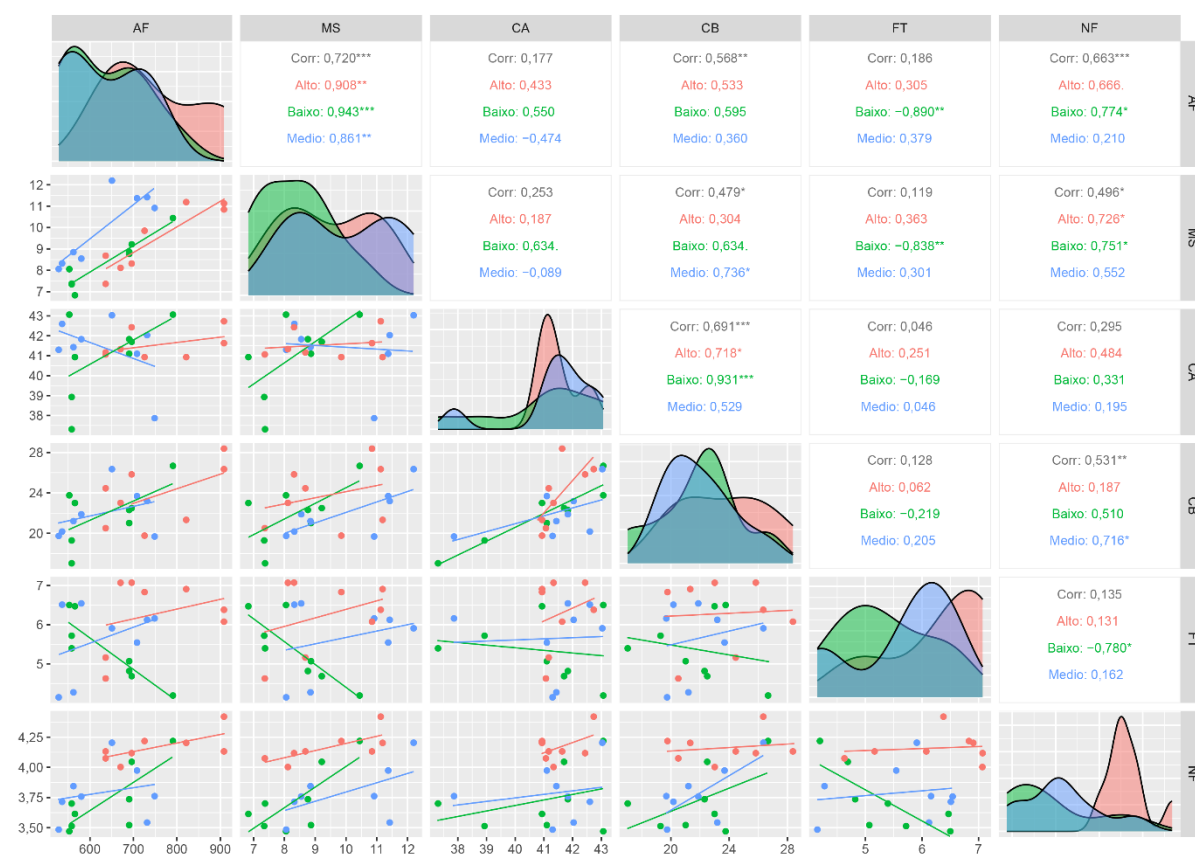
Aos seis meses de cultivo sob as condições contrastantes de disponibilidade de nitrogênio, as plantas foram avaliadas, sendo quantificados descritores morfofisiológicos representativos de seu desenvolvimento foliar. Os descritores selecionados foram: a área foliar (AF) das plantas (cm²), determinada por meio de método não-destrutivo, baseado nas medidas das dimensões lineares dos limbos das folhas (Barros *et al.*, 1973); a matéria seca (MS) das folhas (g), determinadas após secagem em estufa de circulação forçada de ar, à 65°C, até a obtenção de massa constante; os teores de clorofilas *a* (CA) e de clorofila *b* (CB) nas folhas (icf), determinados com um clorofilômetro portátil (Falker, ClorofiLOG FL1030); a taxa fotossintética (FT), estimada pela assimilação líquida de carbono das folhas das plantas ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) medida por um analisador portátil de gases por infravermelho (IRGA, Li-cor, LI-6400XT); e a concentração de nitrogênio foliar (NF), determinada em laboratório de análises de tecidos vegetais (dag kg⁻¹), pelo método Micro-Kjeldahl, com digestão sulfúrica (Ma; Zuazaga, 1942; Embrapa, 2005; Silva, 2009);

Os dados das parcelas experimentais foram expressos como médias por planta e empregados para estimar os coeficientes de correlação entre os descritores para cada condição de disponibilidade de nitrogênio, os quais foram submetidos ao teste *t* de Student para verificação de sua significância estatística. As análises foram realizadas com auxílio do programa estatístico *R* (R Development Core Team, 2020), sendo empregados o pacote *GGally* (Schloerke *et al.*, 2024).

Resultados

As condições contrastantes de disponibilidade de nitrogênio no solo influenciaram os descritores de desenvolvimento foliar das plantas no período avaliado. Os resultados das análises de correlação foram agrupados no correlograma apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Correlograma mostrando as correlações entre médias para seis descritores do desenvolvimento foliar de plantas jovens de café arábica, aos seis meses de cultivo sob condições contrastantes de níveis de disponibilidade de nitrogênio no solo (alto, médio e baixo).



AF = área foliar (cm²); MS = matéria seca foliar (g); CA = teor de clorofila a (icf); CB = teor de clorofila b (icf); FT = taxa fotossintética (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹); NF = teor de nitrogênio foliar (dag kg⁻¹). Coeficientes de correlação de Spearman: *Significativo a 5%; **Significativo a 1%; ***Significativo a 0,1% de probabilidade, pelo teste t. Fonte: Os autores.

Considerando as médias gerais, foram observadas correlações positivas significativas entre AF×MS ($r = 0,720$), AF×CB ($r = 0,568$), AF×NF ($r = 0,663$), MS×CB ($r = 0,479$), MS×NF ($r = 0,496$), CA×CB ($r = 0,691$) e CB×NF ($r = 0,531$).

Para a condição de nível alto de disponibilização de nitrogênio, houve correlações positivas significativas entre AF×MS ($r = 0,908$), MS×NF ($r = 0,726$) e CA×CB ($r = 0,718$).

Quando as plantas cultivadas na condição de nível baixo de disponibilidade de nitrogênio no solo, observaram-se correlações positivas e significativas entre AF×MS ($r = 0,861$), AF×NF ($r = 0,774$), MS×NF ($r = 0,751$) e CA×CB ($r = 0,931$). Além disso, foram observadas correlações negativas e significativas para AF×FT ($r = -0,890$), MS×FT ($r = -0,838$) e FT×NF ($r = -0,780$).

Sob nível médio de disponibilidade de nitrogênio no solo, foram observadas correlações positivas e significativas entre AF×MS ($r = 0,861$), MS×CB ($r = 0,736$) e CB×NF ($r = 0,716$).

Discussão

Modificações tanto no padrão de crescimento quanto na expressão de descritores de desenvolvimento em resposta à alteração da disponibilidade de nitrogênio do solo já foram descritos para o cafeeiro em diversos trabalhos (Colodetti *et al.*, 2015; Salazar *et al.*, 2023; 2024).

O estudo das correlações gerais entre descritores permitiu identificar correlações significativas, entretanto, as magnitudes dos coeficientes são relativamente menores do que os observados para as condições contrastantes de disponibilidade de nitrogênio, inclusive mascarando a existência de correlações inversas entre descritores que foram observadas para as plantas cultivadas sob limitação da adubação de nitrogênio. Esse fato demonstra que as correlações entre descritores se expressaram de forma diferente em função da condição de disponibilidade de nitrogênio no solo, que pode fazer com que os descritores se correlacionem de forma mais fraca ou até mesmo de forma inversa. Dessa forma, o estudo das correlações observadas em cada condição de disponibilidade de nitrogênio se torna mais vantajosa.

Algumas correlações, como aquela entre a área foliar e a matéria seca foliar, parecem se manter independentemente da alteração do fornecimento de nitrogênio, indicando que, no intervalo avaliado, o crescimento das folhas em termo de massa e de área foi proporcional. Esse fato indica que não houve comprometimento da área específica ou da espessura dos tecidos foliares ao longo do crescimento, já que plantas com folhas de menor biomassa também se apresentaram folhas menores em área e aquelas com folhas de maior biomassa apresentavam folhas com maior expansão em área.

Dentro dos níveis de adubação nitrogenada estudados, a massa e a concentração de nitrogênio das folhas apresentaram uma correlação direta para a maior parte dos tratamentos, indicando a tendência de folhas com maior concentração de nitrogênio em seus tecidos serem aquelas mais desenvolvidas em biomassa. De forma semelhante, os teores de clorofilas *a* e *b* também se correlacionaram para a maior parte dos tratamentos, indicando que a produção desses pigmentos se manteve proporcional, logo, plantas com limitação na produção de um deles tenderam a também limitar a produção do outro, mantendo sua proporção. Essa manutenção dos teores de clorofila pode indicar ausência de estresses luminosos e demonstra que o nível mais baixo de disponibilização de nitrogênio não chegou a causar impedimentos severos na produção de clorofila das plantas avaliadas (Salazar *et al.*, 2023; 2024).

Sob condições de limitação da disponibilidade de nitrogênio no solo, nota-se a ocorrência de correlações negativas entre alguns pares de descritores do desenvolvimento foliar. Esse fato é indicativo de que a limitação da disponibilidade de nitrogênio promoveu uma alteração no padrão de desenvolvimento das folhas em área, em massa e em acúmulo de nitrogênio com a sua atividade fotossintética. De forma plantas com elevada atividade fotossintética eram aquelas com folhas menores e com menos nitrogênio disponível em seus tecidos. Esse comportamento indica uma maior exigência para as trocas gasosas por parte dessas plantas, que, a longo prazo, pode se tornar um estresse e limitar seu desenvolvimento.

A identificação de correlações positivas entre descritores pode auxiliar no ajuste do manejo da adubação nitrogenada, visando otimizar o crescimento do cafeeiro jovem, já que a promoção do desenvolvimento foliar pode resultar em ganhos simultâneos para vários descritores diretamente. Por outro lado, a ausência de correlação entre descritores é evidência de que outros fatores, além da adubação nitrogenada, podem estar limitando o desenvolvimento foliar e que, assim, o aumento da adubação nitrogenada apenas pode não resultar em ganhos significativos.

Conclusão

As correlações entre os descritores morfofisiológicos do desenvolvimento foliar do cafeeiro arábica jovem são moduladas pela disponibilidade de nitrogênio no solo. A limitação da adubação com nitrogênio pode causar inversão de comportamento entre alguns dos descritores, sendo especialmente notado para a correlação entre a taxa fotossintética e a área, massa e concentração de nitrogênio das plantas.

O estudo das correlações entre descritores de desenvolvimento foliar fornece informações importantes para o desenvolvimento de estratégias eficientes de manejo nutricional do cafeeiro. Além disso, entender essas correlações pode auxiliar na tomada de decisão durante a escolha de variáveis para novos estudos nutricionais envolvendo o cafeeiro arábica.

Referências

- BARROS, R. S. *et al.* Determinação de área de folhas do café (*Coffea arabica* L. cv. 'Bourbon Amarelo'). **Revista Ceres**, Viçosa-MG, v.20, n.107, p.44-52, 1973.
- CARELLI, M. L. C.; FAHL, J. I.; RAMALHO, J. D. C. Aspects of nitrogen metabolism in coffee plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes-RJ, v.18, n.1, p.9-21, 2006.
- COLODETTI, T. V. *et al.* Nitrogen availability modulating the growth of improved genotypes of *Coffea canephora*. **African Journal of Agricultural Research**, Lagos, v. 10, p. 3150-3156, 2015.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café**: v.11, n.2. Brasília-DF: Conab, 2024. 44p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 2 ago. 2024.
- DaMATTA, F. M. *et al.* Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes-RJ, v.19, n.4, p.485-510, 2007.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de laboratórios**: solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos. São Carlos-SP: Embrapa, 2005. 334p.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas**: princípios e perspectivas. 2.ed. Londrina-PR: Planta, 2006. 416p.
- MA, T.; ZUAZAGA, G. Micro-Kjeldahl determination of nitrogen: a new indicator and an improved rapid method. **Industrial and Engineering Chemistry**, Pennsylvania, v.14, p.280-282, 1942.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas e aplicação**. 2.ed. Piracicaba-SP: Potafós, 1997. 319p.
- PREZOTTI, L. C. *et al.* **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo**: 5ª aproximação. Vitória-ES: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.
- R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna; Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 02 ago. 2024.
- REIS, P. R.; CUNHA, R. L. **Café arábica**: do plantio à colheita. v.1. Lavras-MG: EPAMIG, 2010. 896p.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5ª Aproximação. Viçosa-MG: CFSEMG, 1999. 359p.
- SALAZAR, S. J. S. *et al.* Alterações foliares do cafeeiro arábica em resposta a condições contrastantes de disponibilização de nitrogênio na adubação de plantio. In: Seminário Científico do UNIFACIG, 9., 2023, Manhauçu. **Anais [...]**. Manhauçu: UNIFACIG, 2023. p.1-14.
- SALAZAR, S. J. S. *et al.* Phenotypic plasticity of leaf descriptors of arabica coffee in response to contrasting conditions of nitrogen availability during planting. **Revista Observatorio de La Economía Latinoamericana**, Curitiba, v.22, n.2, p.1-17, 2024.
- SCHLOERKE, B. *et al.* **GGally**: extension to 'ggplot2'. Vienna; Austria: R-Project, 2024. Disponível em: <https://cran.R-project.org/package=GGally>. Acesso em: 02 ago. 2024.
- SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Rio de Janeiro-RJ: Embrapa Solos, 2009. 627p.

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. *In*: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.216-252.