

CARACTERIZAÇÃO ECOFISIOLÓGICA DE CAFEIROS CONSORCIADOS COM ESPÉCIES MADEIREIRAS¹

Ana Flávia de Freitas²; Meline de Oliveira Santos³, Cyntia Stephânia dos Santos⁴, Waldinei Henrique Batista Ferreira⁵; Gladyston Rodrigues Carvalho⁶; Regis Pereira Venturin⁷; Margarete Marin Lordelo Volpato⁸, Vânia Aparecida Silva⁹

¹Trabalho financiado pelo Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café – Consórcio Pesquisa Café

²Doutoranda em Fitotecnia, UFLA, Bolsista Capes, Lavras-MG, ninhadna13@hotmail.com

³Bolsista Consórcio Pesquisa Café, DSc, EPAMIG/URESM, Lavras- MG, melineoli@hotmail.com

⁴Doutoranda em Fitotecnia, UFLA, Bolsista Capes, Lavras-MG, cyntia.s.santos@hotmail.com

⁵Graduando em Agronomia, UFLA, Bolsista PIBIC CNPq/EPAMIG, Lavras-MG, waldineih@gmail.com

⁶Pesquisador, DSc, EPAMIG/EPAMIG SUL, Bolsista CNPq, Lavras- MG, carvalho@epamig.ufla.br

⁷Pesquisador, DSc, EPAMIG/EPAMIG SUL, Bolsista BIPDT- FAPEMIG, Lavras- MG, regis@epamig.br

⁸Pesquisador, DSc, EPAMIG/EPAMIG SUL, Bolsista BIPDT- FAPEMIG, Lavras- MG, margarete@epamig .ufla.br

⁹Pesquisador, DSc, EPAMIG/EPAMIG SUL, Bolsista BIPDT- FAPEMIG, Lavras- MG, vania.silva@epamig.br

RESUMO: O objetivo desse trabalho foi caracterizar a ecofisiologia do cafeeiro em consórcio com três espécies madeireiras em diferentes densidades de plantio no sul de Minas Gerais. O experimento foi instalado em novembro de 2012, no município de Santo Antônio do Amparo-MG. Além dos cafeeiros em monocultivo, foram implantadas as espécies *Khaya ivorensis* (mogno), *Tectona grandis* (teca) e *Acrocarpus fraxinifolius* (acrocarpo) distribuídas em dois espaçamentos (9x13,6 e 18x13,6 m) entre as plantas na linha dos cafeeiros. As avaliações de índices espectrais, trocas gasosas e potencial hídrico foram realizadas no mês de setembro de 2018 (época seca). As variáveis foram analisadas através da estatística multivariada de correlação canônica pelo programa R e o potencial hídrico pelo teste de média no programa Sisvar. Na Canônica 1, observou-se que o índice de antocianina (ARI1) e o potencial hídrico (MPa) foram as mais representativas, apresentaram elevados scores, enquanto foram negativamente correlacionados com a umidade (U) (Figura 1 A). Quando se analisou os scores dos tratamentos (Figura 1 B), foi observado que os cafeeiros sob monocultivo (Mono) e consorciado com o mogno em menor espaçamento (MoE1) apresentaram os maiores scores de ARI1 e MPa (menores valores de potencial hídrico e maiores valores de AR1) e menores valores de umidade (U). Por outro lado, os cafeeiros em consórcio com o acrocarpo e teca no menor espaçamento (AcE1 e TeE1) tiveram maiores scores para a U e menores para o MPa e ARI1 (maiores valores de potencial hídrico e menores de ARI1). As análises ecofisiológicas indicaram que o consórcio com o acrocarpo e a teca em menor espaçamento proporciona maior umidade relativa do ar que contribui para manutenção do potencial hídrico do cafeeiro na época seca.

PALAVRAS-CHAVE: índices espectrais, potencial hídrico, trocas gasosas e condições climáticas

ECO-PHYSIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF CAKES CONSORTIATED WITH WOOD SPECIES

ABSTRACT: The objective of this work was to characterize the coffee ecophysiology in a consortium with three timber species at different planting densities in the south of Minas Gerais. The experiment was installed in November 2012, in the municipality of Santo Antônio do Amparo-MG. In addition to the monoculture coffee trees, the species *Khaya ivorensis* (mahogany), *Tectona grandis* (teak) and *Acrocarpus fraxinifolius* (acrocarpo) were distributed in two spacings (9x13.6 and 18x13.6 m) among plants in the coffee line. The variables A, gs, E, DPV, T, U, R, NDVI, WB1, ARI1, SIPI, FRI and MPa were analyzed by spectral indexes, gas exchange and water potential in september 2018. Of the multivariate canonical correlation statistic by the R program and the mean test in the Sisvar program. Higher values of water potential were found in coffee trees under monoculture. In Canonical 1, the anthocyanin index (ARI1) and water potential (MPa) were the most representative, presenting high scores, while negatively correlated with moisture (U) (Figure 1A). When analyzing the treatments scores (Figure 1 B), it was observed that the coffee trees under monoculture (Mono) and intercropped with the mahogany in smaller spacing (MoE1) presented the highest ARI1 and MPa scores (lower values of water potential and higher values of AR1) and lower values of humidity (U). On the other hand, the coffee trees in consortium with acrocarpo and teak in the smallest spacing (AcE1 and TeE1) had higher scores for the U and smaller for the MPa and ARI1 (higher values of water potential and lower ARI1). The ecophysiological analysis indicated that the consortium with the acrocarp and the teak in smaller spacing provides greater relative humidity

of the air that contributes to the maintenance of the water potential of the coffee tree in the dry season.

KEY WORDS: water management, synchronization of flowering, controlled water stress, yield.

INTRODUÇÃO

As lavouras nacionais são implantadas em sistemas de monocultivo, sem árvores e com elevado uso de insumos, Moreira (2004), colocando as atividades agrícolas vulneráveis as consequências advindas das mudanças climáticas na distribuição das chuvas, na temperatura e outros fatores que interfiram no ciclo de produção e na vegetação podendo implicar em menores safras e baixa qualidade dos produtos (IPCC, 2014).

Com o aquecimento global elevadas temperaturas e déficit hídrico são frequentes, afetando diretamente o cafeeiro. O sistema agroflorestral pode ser uma alternativa, pois proporciona a modificação do microclima (MANCUSO; SORATTO; PERDONÁ, 2013). Interferir na quantidade de radiação incidente na produção pode alterar, também, valores de evapotranspiração, modificando o regime hídrico do sistema, afetando também a umidade relativa do ar e a temperatura (SOARES et al., 2015).

Neste contexto, a opção do uso dos sistemas agroflorestrais (SAFs), apresentam características favoráveis para o solo e água, além de oferecer renda adicional ao produtor (SHARMA et al., 2016). O SAFs visa a estabilização microclimática, proporcionando condições ideais para o cafeeiro, minimizando a exposição das plantas aos ricos climáticos (CARVALHO et al.; 2016; NETO, 2014).

Assim, a pesquisa brasileira vem sendo impulsionada para a busca de soluções mais sustentáveis e economicamente viáveis, com preocupações com a qualidade dos alimentos bem como as questões sócio-ambientais crescentes por partes dos consumidores. Entretanto uma das grandes dificuldades em se estabelecer o SAFs está no arranjo das árvores dentro da área de cultivo e como elas poderão influenciar positiva ou negativamente o sistema após seu desenvolvimento. As árvores podem interferir de várias maneiras na produção das demais culturas associadas e, conseqüentemente, na economia e sustentabilidade dos agricultores (ALVES et al., 2015).

Portanto, o objetivo desse trabalho foi caracterizar a ecofisiologia do cafeeiro consorciado com três espécies madeireiras em diferentes densidades de plantio.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em novembro de 2012, na propriedade denominada Fazenda da Lagoa, a qual localizada no município de Santo Antônio do Amparo-MG, região produtora de café do Sul de Minas. A região apresenta altitude em torno de 1050m, temperatura média de 19,8°C e precipitação 1670 mm / ano.

Três espécies madeireiras, em dois espaçamentos distintos, foram implantadas concomitantemente com a lavoura de cafeeiro cultivar Catuaí 99 (3,40 x 0,65). Além dos cafeeiros em monocultivo, foram implantadas as espécies *Khaya ivorensis* (mogno), *Tectona grandis* (teca) e *Acrocarpus fraxinifolius* (acrocarpo) distribuídas em dois espaçamentos (9 x13,6 e 18 x13,6 m) entre as plantas na linha dos cafeeiros. No espaçamento das entrelinhas foi fixado três linhas de cafeeiros intercalados às espécies de sombra, num total de 13,6 m entre as linhas arborizadas.

O experimento foi conduzido em esquema de delineamento em blocos casualizados (DBC), com quatro blocos, e foram avaliadas duas plantas por tratamento. As avaliações fisiológicas foram realizadas no mês de setembro de 2018. Valores referentes ao potencial hídrico (PH) das plantas foram obtidos com auxílio de uma câmara de pressão tipo Scholander (PMS Instruments- Plant Moisture- Modelo 1000) antes do amanhecer (Ψ_{pd} - MPa). Avaliou-se o espectro de reflectância foliar com o auxílio de um mini espectrômetro foliar CI-710 (CID Bioscience, Camas, WA), que irradia sobre a amostra de folha a luz de um LED azul e de uma lâmpada incandescente, fornecendo saída na faixa do visível ao infravermelho (intervalo 400-1000nm). Com os valores obtidos, inferiu-se os índices descritos abaixo pelas equações:

- 1) Photochemical reflectance index- PRI (R531-R570) / (R531 + R570) (GAMON; PEÑUELAS; FIELD, 1992).
- 2) Plant senescence reflectance index – PRSI (R680- R 500) / (R750) (MERZLYAK et al., 1999).
- 3) Normalized difference vegetation index- NDVI (R800- R680) / (R800+ R680) (ROUSE, HAAS, SCHELL & DEERING, 1974).
- 4) Water band index – WBI (R900 / R900) (PEÑUELAS et al., 1997).
- 5) Anthocyanin reflectance index – ARI 1 (1/ R550) – (1/ R700) (GITELSON; MERZLYAK; CHIVKUNOVA, 2001).
- 6) Structure- insensitive pigment index – SIPI (R 800 – R445) / (R800 + R680) (PEÑUELAS et al., 1995).
- 7) Flavonol reflectance index- FRI (1/ R410- 1/ R 460) * R800 (MERZLYAK et al., 2005).

A avaliação de trocas gasosas foi realizada utilizando-se o analisador de gás por infravermelho (LI-6400XT Portable Photosynthesis System, LI-COR, Lincoln, USA) em folhas completamente expandidas, no 3º ou 4º pares de folhas. As características avaliadas foram: taxa fotossintética líquida (A (Photo)- $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), condutância estomática (gs (Cond) - $\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) e transpiração (E (Trmmol) - $\text{mmolH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). A eficiência instantânea do uso da água (EUA) foi obtida pela relação A/E. Todas as avaliações foram realizadas entre 9 e 11 horas (horário solar) com

utilização de fonte artificial de radiação fotossinteticamente ativa (PAR), em câmara fechada fixada 1500 μmol de fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Blue + Red LED LI-6400-02B, LI-COR, Lincoln, USA).

A taxa de assimilação de CO_2 na câmara foi medida com a concentração ambiente de CO_2 . As variáveis foram analisadas através da estatística multivariada de correlação canônica pelo programa R (R Core, 2015) e o teste de média no programa sisvar 4.3 (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados experimentais estão apresentados nas Figura 1 e Tabela 1. De acordo com a Figura 1, referente ao mês de setembro de 2018, as duas primeiras variáveis canônicas explicaram 79% da variabilidade das respostas. De acordo com a Can 1, observou-se que o índice de antocianina (ARI1) e o potencial hídrico (MPa) foram as mais representativas, apresentaram elevados scores, enquanto foram negativamente correlacionados com a umidade (U) (Figura 1 A). Quando se analisou os scores dos tratamentos (Figura 1 B), foi observado que os cafeeiros sob monocultivo (Mono) e consorciado com o mogno em menor espaçamento (MoE1), apresentaram os maiores scores de ARI1 e MPa (menores valores de potencial hídrico e maiores valores de ARI1) e menores valores de umidade (U). Por outro lado os cafeeiros em consórcio com o acrocarpo e teca no menor espaçamento (AcE1 e TeE1) tiveram maiores scores para a U e menores para o MPa e ARI1 (maiores valores de potencial hídrico e menores de ARI1).

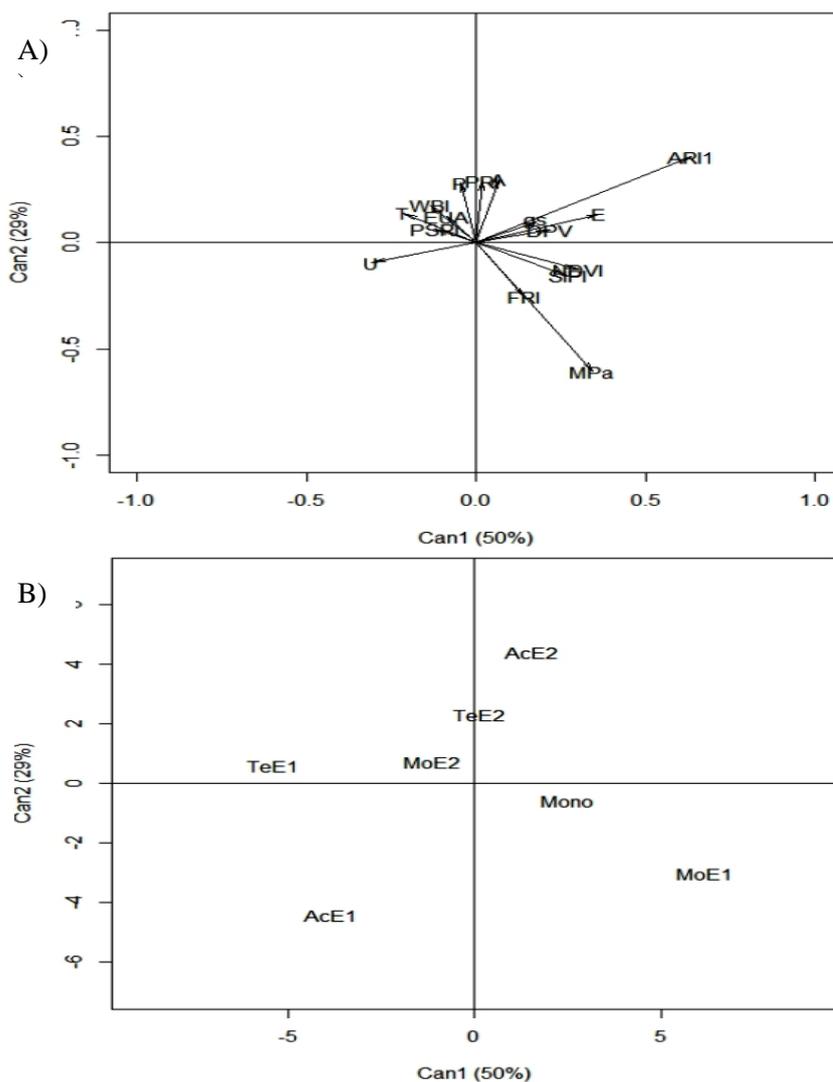


Fig. 1. Biplot para os dois primeiros eixos da análise de componentes principais para os dados dos sete tratamentos em função dos parâmetros fisiológicos avaliados no mês de setembro. (A) Os coeficientes de correlação para todos os parâmetros foram apresentados pelos vetores. (B) A segregação dos sete tratamentos estudados baseada nos parâmetros fisiológicos avaliados. MoE1= Mogno (9X13,6); MoE2= Mogno (18X13,6); TeE1= Teca (9X13,6); TeE2= Teca (18X13,6); AcE1= Acrocarpo (9X13,6); AcE2= (18X13,6) Mono= monocultivo.

Segundo o Lettz et al. (2008), o parâmetro ARI1 está relacionado ao índice de reflectância das antocianinas, assim, os maiores valores encontrados em cafeeiros podem estar relacionado ao aumento da concentração desses pigmentos foliares em resposta ao estresse, aumentando a produção de metabólitos secundários. O progresso rápido do estresse leva à alterações nos parâmetros fotoquímicos para proteger as folhas dos danos, afirma Pompeli et al. (2010) e preveni a formação de radicais livres (MURCHIE; LAWSON, 2013). É importante mencionar que este ano de 2018, foi o ano de carga alta (bienalidade do café), com produtividade muito alta, principalmente, no cafeeiro em consórcio com o MoE1, ficando mais sensível e vulnerável a quaisquer condição edafoclimáticas.

E, em relação ao cafeeiro em consórcio com o acrocarpo no menor espaçamento (AcE1) apresentou maior umidade, ou seja, os sistemas agrofloretais mantem maior umidade e com isso diminuem o déficit de pressão de vapor (COELHO et al., 2010). Principalmente quando em consórcio com a espécie acrocarpo, de crescimento rápido e grande porte, Souza et al. (2010), bem como, intensificando a umidade pelo seu menor espaçamento (9x 13,6m).

Embora na análise multivariada, o potencial hídrico tenha sido verificado como uma variável importante para compor a canônica 1, quando se considera a análise univariada, não houve diferenciação entre os tratamentos (Figura 2). Isso ocorre porque na canônica o potencial hídrico é representativo quando combinado linearmente com as outras variáveis, como por exemplo o déficit de pressão de vapor e ARI1.

Corroborando com este trabalho, Silveira et al. (2016), estudando o cafeeiro em consórcio com madeireiras também não observaram alterações do potencial hídrico nos diferentes consórcios e em monocultivo no mês de setembro. Em relação ao índice de antocianina, observa-se que os cafeeiros em consórcio com as espécies teca e acrocarpo no espaçamento curto (9x13,6), tiveram os menores valores de antocianinas (Tabela 1), o que também é exposto na figura 1. Diversos fatores interferem na estabilidade das antocianinas (Lopes et al., 2007), que tem a função de medir o grau de estresse da planta, como por exemplo, radiações e temperaturas. Pode-se afirmar perante a figura 1, que o cafeeiro em consórcio com as espécies teca e acrocarpo no menor espaçamento, as arbóreas tendem a proporcionar maior umidade relativa do ar que contribui para manutenção do potencial hídrico do cafeeiro na época seca.

Tab. 1. Potencial hídrico antemanhã (MPa) e índices de antocianinas (ARI1) de cafeeiros entre espécies arbóreas plantadas em dois espaçamentos (1) acrescido de uma testemunha sob monocultivo no mês de setembro.

Tratamentos	Potencial hídrico (MPa)	Índice de antocianina (ARI1)
MoE1	-0,61 A	0,062 A
MoE2	-0,51 A	0,061 A
TeE1	-0,43 A	0,057 B
TeE2	-0,36 A	0,062 A
AcE1	-0,61 A	0,054 B
AcE2	-0,46 A	0,063 A
Mono	-0,53 A	0,064 A
Média Geral	-0,50	5,73
CV (%)	-----31,07-----	-----0,060-----

(1) MoE1= (9X13,6); MoE2= Mogno (18X13,6); TeE1= Teca (9X13,6); TeE2= Teca (18X13,6); AcE1= Acrocarpo (9X13,8); AcE2= Acrocarpo (18X13,6), Mono= monocultivo.

As médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

CONCLUSÕES

1 - As análises ecofisiológicas indicaram que o aumento da umidade ocasionadas pelo consórcio do cafeeiro com o acrocarpo e a teca em menor espaçamento melhoram o potencial hídrico na época seca.

AGRADECIMENTOS

Ao Consórcio Pesquisa Café, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a Fazenda da Lagoa- MG pertencente à NKG (Grupp Kaffee Neumann), ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café - INCT/Café e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, E.P. et al. Economic analysis of a coffee-banana system of a family-based agriculture at the atlantic forest zone, Brazil. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, 3(39): 232-239, 2015.

MOREIRA, C. F. Caracterização de sistemas de café orgânico sombreado e a pleno sol no sul de Minas Gerais. *Dissertação* (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”,

Universidade de São Paulo, Piracicaba, 78p. 2004.

CARVALHO, G.L., MARIA, C.I., SÁ, M.E., ALVES, F.R.B., SCHIAVON, L.V., SENA, O.T., 2016. *Agricultural and Forest Meteorology*. Disponível: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.05.001>>. Acesso: 15 nov. 2018.

Coelho, R. A.; Matsumoto, S. N.; Lemos, C. L.; Souza, F. A. Nivel de sombreamento, umidade do solo e morfologia do cafeeiro em sistemas agroflorestais. Ver. *Ceres*, Viçosa, 1(57):95-102, 2010.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, 6(35):1039-1042, 2011.

GAMON, J. A.; PEÑUELAS, J.; FIELD, C. B. A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. *Remote Sensing of Environment*, (41): 35– 44, 1992.

GITELSON, A. A.; MERZLYAK, M. N.; CHIVKUNOVA, O. B. Optical properties and nondestructive estimation of anthocyanin content in plant leaves. *Photochemistry and Photobiology*, 1(74): 38–45, 2001.

IPCC –Intergovernmental Panel On Climate Change: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Field, C. et al. (Eds.). Genebra: IPCC, 2014.

LETTS, M. G.; PHELAN, C. A., JOHNSON, D. R. E.; ROOD, S. B. Seasonal photosynthetic gas exchange and leaf reflectance characteristics of male and female cottonwoods in a riparian woodland. *Tree Physiology*, (28): 1037–1, 2008.

LOPES, T. J.; XAVIAER, M. F.; QUADRI, M. G. Antocianinas: uma breve revisão das características estruturais e da estabilidade. R. Bras. Agrocência, Pelotas, v. 13, n. 3, p. 291-297, 2007.

MANCUSO, M.A.C.; SORATTO, R.P.; PERDONÁ, M.J. Produção de café sombreado. *Colloquium Agrariae Presidente Prudente*, 1(9): 31–44, 2013.

MERZLYAK, M. N.; GITELSON, A. A.; CHIVKUNOVA, O. B.; RAKITIN, V. Y. Non-destructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening. *Physiologia Plantarum*, (106), p. 135– 141, 1999.

MERZLYAK, M. N.; SOLOVCHENKO, A. E.; SMAGIN, A. I.; GITELSON, A. A. Apple flavonols during fruit adaptation to solar radiation: spectral features and technique for non-destructive assessment. *Journal of Plant Physiology*, (162) : 151-160, 2005.

MURCHIE, E. H.; LAWSON, T. Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, 13(64): 3983- 3998, 2013.

NETO, J. N. P.; ALVARENGA, M. I. N.; CORREA, M. P.; OLIVEIRA, C. C. Efeito das variáveis ambientais na produção de café em sistema agroflorestal. *Coffea Science*, Lavras, 2(9): 187-195, 2014.

PEÑUELAS, J.; BARET, F.; FILELLA, I. Semi-empirical indices to assess carotenoids/chlorophyll a ratio from leaf spectral reflectance. *Photosynthetica*, (31): 221– 230, 1995.

PEÑUELAS, J.; PINOL, J.; OGAYA, R.; FILELLA, I. Estimation of plant water concentration by the reflectance water index WI (R900/R970). *Int. J. Remote Sensing*, 13(18): 2869–2875, 1997.

POMPELLI, M. F. et al. Photosynthesis and photoprotection in coffee leaves is affected by nitrogen and light availabilities in winter conditions. *Journal of Plant Physiology*, Jena, 13(167):1052-1060, 2010.

R CORE TEAM R 2015. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: < <http://www.R-project.org/>> Acesso: 10 jun 2019.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Proceedings, Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. Greenbelt: NASA SP-351, p. 301-317, 1974.

SHARMA, N., BOHRA, B., PRAGYA, N., CIANNELLA, R., DOBIE, P., LEHMANN, S., 2016. Bioenergy from agroforestry can lead to improved food security, climate change, soil quality, and rural development. *Food and Energy Security* 5. Disponível em:< <http://10.1002/fes3.87>> Acesso: 12 dez. 2018.

SOARES, M. M. et al. Estresse hídrico e salino em sementes de soja classificadas em diferentes tamanhos. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, 4(45): 370-378, 2015.

SILVEIRA, H. R. O.; SANTOS, M. O.; SILVA, V. A.; VENTURIN, R. P.; VOLPATO, M. M. L.; DANTAS, M. F.; CARVALHO, G. R.; SETOTAW, T. A.; MOREIRA, F. C.; BARBOSA, J. P. R. A. D.; RESENDE, M. L. V. Impactos da deficiência hídrica nas respostas ecofisiológicas e espectrais do cafeeiro consorciado com espécies madeireiras. *Coffee Science*, Lavras, 3(11): 318-329, 2016.

SOUZA, J. C. A. V. de; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. de A. Cedro australiano (Toona ciliata). (Programa Rio Rural. Manual técnico, 21), Niterói, **Rio Rural**, 14 p. 2010