

LAÍS MARIA RODRIGUES SILVA

**UREIA DE LIBERAÇÃO CONTROLADA,
SOMBREAMENTO E PEGADA HÍDRICA NA
CAFEICULTURA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

S586u
2018 Silva, Lais Maria Rodrigues, 1990-
Ureia de liberação controlada, sombreamento e pegada
hídrica na cafeicultura / Lais Maria Rodrigues Silva. – Viçosa,
MG, 2018.
ix, 70 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Raphael Bragança Alves Fernandes.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Café - Nutrição. 2. Balanço hidrológico. 3. Fertilizantes nitrogenados. 4. Mudanças climáticas. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Solos. Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. II. Título.

CDD 22. ed. 633.7384

LAÍS MARIA RODRIGUES SILVA

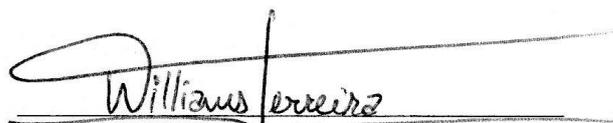
**UREIA DE LIBERAÇÃO CONTROLADA, SOMBREAMENTO E
PEGADA HÍDRICA NA CAFEICULTURA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Aprovada em: 31 de agosto de 2018.



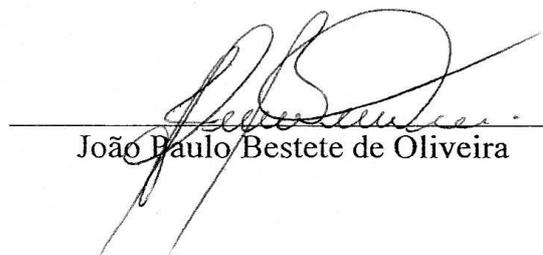
Edson Marcio Mattiello



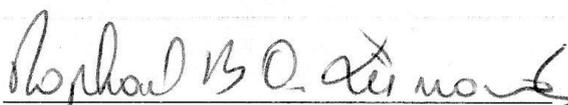
Williams Pinto Marques Ferreira
(Coorientador)



Marcelo de Freitas Ribeiro



João Paulo Bestete de Oliveira



Raphael Bragança Alves Fernandes
(Orientador)

*“Gosto de ser gente porque, inacabado,
Sei que sou um ser condicionado, mas,
Consciente do inacabamento, sei que posso ir mais além dele.
Esta é a diferença profunda entre o ser condicionado e o ser inacabado”.*

Paulo Freire (Pedagogia da Autonomia, 1997)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço aos meus pais Luiz Henrique e Maria Aparecida e irmãos Luís Henrique e Laio, que além do apoio, força e exemplo, em momentos foram até estagiários;

À Universidade Federal de Viçosa, que por dez anos foi minha casa, por todas as oportunidades e vivência ofertadas;

Ao Octávio, pelo amor, companheirismo e amizade;

Ao Departamento de Solos, minha segunda casa em Viçosa, pelas oportunidades de estagiária, bolsista, mestranda e doutoranda;

Ao professor Raphael, que por 9 anos me orientou, fazendo papel muito maior que o de orientador;

Aos servidores do DPS, principalmente ao Cláudio, Seu Sebastião, Carlos Fonseca, Júlio, Paulo, Carol, Nayan, Rosi, Zélia, Beto, Carina, pela ajuda, aprendizado e apoio;

Aos amigos, que sempre tinham um ombro amigo e dispostos a tomar uma cervejinha pós expediente para “espairecer”;

Aos professores Genelício, Igor, pela coorientação no projeto;

Ao pesquisador Williams P. M. Ferreira da Embrapa Café pela coorientação;

Ao pesquisador Marcelo de Freitas Ribeiro da EPAMIG pela concessão da área experimental e participação nas bancas de Qualificação e defesa de Tese;

Ao professor André do IFES-Campus de Alegre pela ajuda na análise estatística;

Ao professor do IFES-Campus Ibatiba João Paulo B. de Oliveira pelo auxílio e participação na banca de defesa de Tese;

À CAPES e CNPq pela concessão da bolsa de estudos;

À EPAMIG pelo suporte técnico ao longo do experimento;

À FAPEMIG pelo financiamento do projeto;

E, à todos que de alguma forma, seja com um abraço ou sorriso, ou uma “mãozinha”, foram parte essencial para a confecção desse estudo, MUITO OBRIGADA!!!

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS	4
CAPÍTULO 1	6
LIXIVIAÇÃO DE NITROGÊNIO EM RESPOSTA AO USO DE UREIA DE LIBERAÇÃO CONTROLADA NA CULTURA DO CAFEIEIRO	6
RESUMO.....	7
INTRODUÇÃO.....	8
MATERIAL E MÉTODOS.....	10
RESULTADOS	13
Diferenças entre as formas de aplicação	18
Teores foliares.....	19
DISCUSSÃO	19
CONCLUSÕES	21
REFERÊNCIAS	21
CAPÍTULO 2	23
EFEITO DO MANEJO DE SOMBRA SOBRE A EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM CAFEIEIRO E A DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO NO CONTEXTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS	23
RESUMO.....	24
INTRODUÇÃO.....	26
MATERIAL E MÉTODOS.....	28
Descrição da área experimental	28
Instalação e calibração dos sensores de solo.....	29
Caracterização dos solos	32
Análises dos teores foliares e da produção do cafeeiro	33
Balanço de água no solo e evapotranspiração real.....	36
Análises estatísticas	36
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
Temperatura do ar e evapotranspiração real da cultura (ETr)	37
Dinâmica térmica e hídrica do solo	42
Análise de tecido vegetal e produtividade	51
CONCLUSÕES	53

REFERÊNCIAS	53
CAPÍTULO 3	58
PEGADA HÍDRICA DO CAFÉ ARÁBICA DAS “MATAS DE MINAS” SOB MANEJO DE SOMBRA	58
RESUMO.....	59
INTRODUÇÃO.....	60
MATERIAL E MÉTODOS.....	61
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
CONCLUSÃO.....	66
REFERÊNCIAS	67
CONSIDERAÇÕES FINAIS	69

RESUMO

SILVA, Laís Maria Rodrigues, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2018. **Ureia de liberação controlada, sombreamento e pegada hídrica na cafeicultura.** Orientador: Raphael Bragança Alves Fernandes. Coorientadores: Genelício Crusoé Rocha, Igor Rodrigues de Assis e Williams Pinto Marques Ferreira.

O setor do agronegócio nacional é um dos grandes responsáveis pelos superávits da balança comercial brasileira. Esse setor enfrenta vários desafios, dentre os que estão por vir, destacam-se os efeitos das modificações climáticas devidas a causas naturais ou antropogênicas e previstas por vários pesquisadores. Essas potenciais mudanças do clima têm requerido o incremento de estudos em diversos setores da economia, mas encontra especial importância no setor agropecuário, visto que a atividade é direta e severamente afetada por alterações no regime climático. Um dos produtos de destaque nas exportações brasileiras é o café. A cultura apresenta grande susceptibilidade ao aumento das temperaturas e modificações no padrão das precipitações, além de requerer para a alta produção grande investimento na aquisição de insumos agrícolas. Diante deste cenário, dois experimentos foram conduzidos visando avaliar as perdas de fertilizantes nitrogenados e formas de sua redução, bem como avaliar a dinâmica termo-hídrica do solo na cultura cafeeira em um cenário que o sombreamento possa ser utilizado como medida mitigadora dos efeitos das mudanças climáticas. Ambos os experimentos foram realizados na mesorregião da Zona da Mata, importante região cafeeira de Minas Gerais. Especificamente no primeiro experimento objetivou-se avaliar as perdas por lixiviação a partir da utilização de duas fontes de ureia (convencional e de liberação controlada), bem como duas formas de aplicação (parcelada e não parcelada). No segundo experimento, objetivou-se avaliar a dinâmica da umidade e do regime térmico de solo cultivado com duas variedades de cafeeiro, em duas condições de radiação (a pleno sol e com manejo de sombra). Adicionalmente neste experimento avaliou-se a pegada hídrica do café beneficiado. Os resultados indicaram que a ureia de liberação controlada em dose única (sem o parcelamento) é capaz de reduzir efetivamente a lixiviação de nitrogênio. Por outro lado, a utilização de ureia convencional em três aplicações também é eficiente na redução das perdas por lixiviação, embora implique em maior gasto de mão de obra. O manejo de sombra comprovou ser uma alternativa minimizante para os impactos proporcionados pelas mudanças climáticas, uma vez que levou a redução da temperatura e da evapotranspiração da cultura do cafeeiro de ambas as variedades avaliadas. Para uma das variedades de cafeeiro após dois anos do manejo de sombra implantado, entretanto, a sombra causou redução da produtividade. Mesmo com a redução da temperatura

e da evapotranspiração, a pegada hídrica foi maior no cultivo sombreado do que ao pleno sol, impulsionada pela redução na produtividade das plantas submetidas ao sombreamento.

ABSTRACT

SILVA, Laís Maria Rodrigues, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2018. **Controlled-release urea, shading and water footprint coffee crop.** Adviser: Raphael Bragança Alves Fernandes. Co-advisers: Genelício Crusoé Rocha, Igor Rodrigues de Assis and Williams Pinto Marques Ferreira.

The national agribusiness sector is one of the main responsible for Brazilian trade balance surplus. This sector faces several challenges, among which can be highlighted the effects of climate change due to natural or anthropogenic causes and predicted by several researchers. These potential changes in the climate have required the increase of studies in several sectors of the economy, but are particularly important in the agricultural sector, since the activity is directly and severely affected by changes in the climate regime. One of the outstanding products in Brazilian exports is coffee. The crop presents great susceptibility to rising temperatures and modifications in the standard precipitation, besides requiring for the high production great investment in the acquisition of agricultural inputs. Before this scenario, two experiments were conducted to evaluate the leaching of nitrogen fertilizers and their reduction, as well as to evaluate the thermohydric dynamics of the soil in the coffee crop in a scenario that the shading can be used as a mitigating measure of the effects of climate change. Both experiments were carried out in the mesoregion of Zona da Mata, an important coffee region of Minas Gerais. Specifically in the first experiment, the objective of this study was to evaluate leach losses from the use of two sources of urea (conventional and controlled release), as well as two forms of application (parceled and non-parceled). In the second experiment, the objective was to evaluate the moisture dynamics and the thermal regime of cultivated soil with two coffee varieties, under two conditions of radiation (full sun and shade management). Additionally, it was evaluated in this experiment, the water footprint of the beneficiated coffee. The results indicated that controlled release urea in a single dose (without splitting) is capable of effectively reducing nitrogen leaching. On the other hand, the use of conventional urea in three applications is also efficient in reducing leach losses, although it implies a higher labor cost. The management of shade proved to be an alternative to reduce the impacts caused by climate change, since it led to the temperature reduction and evapotranspiration of the coffee crop of both evaluated varieties. For one of the coffee varieties after two years of the shade management implemented, however, the shade caused a reduction in productivity. Even with the reduction of temperature

and evapotranspiration, the water footprint was higher in the shaded cultivation than in the full sun, driven by the reduction in the productivity of the plants under shading.

INTRODUÇÃO GERAL

A cafeicultura destaca-se no cenário agrícola nacional como um dos ramos promissores do agronegócio brasileiro. O café é um dos principais produtos de exportação, tendo obtido batidos sucessivos recordes de produção a cada ano. Relatos indicam sua chegada ao estado de São Paulo no século XVIII, mas seu cultivo espalhou rapidamente por quase todas as regiões do Brasil, incluindo as espécies *Coffea arabica* e *Coffea canephora*. O estado de Minas Gerais tem grande destaque no setor, tendo sido responsável por cerca de 58 % de toda receita do café nacional (CONAB, 2017).

A produtividade das culturas está diretamente relacionada ao suprimento adequado de nutrientes e água. Quando algum desses elementos não se encontra em seu ideal, potenciais são os riscos de prejuízo na produtividade. A água é reconhecidamente um recurso vital para todas as formas de vida, e no solo tem merecido um grande número de estudos. Ela é o meio condutor de nutrientes do solo para as plantas, de forma que o adequado balanço entre os água e nutrientes leva a condição de nutrição ideal para as plantas. Na região das Matas de Minas, normalmente o período de chuvas vai de outubro a março, seguido de um período seco, de abril a setembro. Como se trata de uma área em que a produção agrícola mantém forte presença, conhecer a dinâmica da água nessas áreas é importante para o melhor manejo desses solos e o uso racional desse recurso.

Assim como a água, o uso de fertilizantes é de imprescindível importância para a produtividade das culturas. A física do solo influencia diretamente na dinâmica da solução do solo no perfil, assim características físicas do solo, principalmente relacionadas à estrutura, são determinantes para a conservação e melhor utilização tanto da água, quanto dos fertilizantes. Atributos como taxa de infiltração, condutividade hidráulica e porosidade são extremamente dependentes da qualidade física do solo (SOUZA; ALVES, 2003) e guardam relação estreita com o armazenamento e movimentação de água no solo.

Outra característica importante que influencia na dinâmica da solução do solo é a temperatura do solo. As características associadas à temperatura do solo não têm merecido muita atenção nos solos tropicais. Como não se verifica o congelamento como em solos de clima temperado a frio, a temperatura e o fluxo de calor são muitas das vezes desprezados em nossos solos. A temperatura do solo pode ser influenciada por diversas variáveis, destacando-se a radiação solar que chega à superfície do solo, e a vegetação, capaz de amortizar a radiação

solar na superfície do solo. A temperatura do solo é uma importante variável, uma vez que ela afeta processos físicos e físico-químicos do solo (OLIVEIRA et al., 2001), como o armazenamento da água do solo, incrementando as perdas por evaporação.

A temperatura do solo pode ser um fator determinante para o maior ou menor armazenamento de água no perfil. O solo como um corpo tridimensional é capaz de transferir e armazenar calor, e a dinâmica da energia térmica correlaciona-se com o fluxo de água no solo, tornando assim ambas as propriedades essenciais para diversas culturas (PREVEDELLO, 2010). Assim avaliar a dinâmica térmico-hídrica do solo pode trazer informações importantes para o manejo.

Demonstrada a importância dos recursos água e fertilizantes, uma preocupação atual está relacionada acerca das mudanças climáticas globais. Disto resulta a necessidade de identificação e mensuração de possíveis impactos, especialmente nas atividades agrícolas que são altamente dependentes do clima. Igualmente importante é a necessidade da busca e da avaliação de práticas alternativas para a convivência ou mitigação desses efeitos, que podem vir a comprometer a produtividade e a produção de importantes commodities agrícolas em diferentes partes do mundo, especialmente o café.

Entretanto, as consequências das mudanças climáticas globais podem afetar todo esse desempenho. Segundo Camargo (2010), alguns cenários futuros previstos podem comprometer ou mesmo inviabilizar a produção de café na região Sudeste do Brasil, haja vista a sensibilidade da cultura à escassez de água e às altas temperatura. O autor comenta da necessidade de avaliação de práticas e, ou tecnologias que permitam continuar viabilizando a produção de café nessa região do país, local onde a cultura do cafeeiro é tradicional e importante fonte de renda.

No relatório sobre mudanças climáticas, apresentado no dia 31 de março de 2014 em Yokohama, no Japão (IPCC, 2014) , é citado o resultado do trabalho realizado por Camargo (2010) o qual foi baseado no aquecimento mais elevado previsto para 2100 (5,8 ° C, no cenário SRES A2), o qual prevê que a produção de café pode se tornar inviável em Minas Gerais e São Paulo (sudeste do Brasil) se nenhuma ação adaptativa for realizada.

Outro problema ambiental surge de uma prática comumente adotada por muitos cafeicultores brasileiros, que é a utilização de adubação nitrogenada acima dos teores recomendados, visando aumentar a produção. Aumento de produtividade foram encontrados por Reichardt et al. (2009) com o uso de doses superiores às recomendadas de N em algumas variedades de café arábica. No entanto, o mesmo autor relata que raramente pouco mais que 60 % do nitrogênio aplicado é realmente absorvido, devido a problemas relacionados as perdas por volatilização e lixiviação. Além de onerar o produtor, também podem causar problemas

ambientais, principalmente quando lixiviado, chegando a comprometer a qualidade da água do lençol freático.

Um dos efeitos dos eventos climáticos relacionados às mudanças climáticas, é a irregularidade nos períodos chuvosos. Considerando que o déficit hídrico é o fator que mais interfere no desenvolvimento das diferentes culturas, devido promover alterações morfológicas e fisiológicas, muitas das vezes irreversíveis a depender de sua duração, genótipo, severidade e do estágio de desenvolvimento da planta, resultando conseqüentemente, efeitos expressivos sobre a produtividade das culturas (BEZERRA et al., 1999; PETTRY et al., 2007). O estresse provocado por déficit hídrico tem sido considerado um dos fatores mais importantes que limitam o desempenho do café, especialmente em locais onde o cafezal não é irrigado. É de conhecimento que a seca tem efeito inibidor sobre a fotossíntese. Assim, o cafeeiro, como tantas outras culturas, também pode ter o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade afetados pelo clima, variedade, solo, disponibilidade de água, fertilidade do solo e práticas culturais.

Uma alternativa possível para a mitigação do aumento da temperatura nos cafezais brasileiros é conhecido como “manejo da sombra” (DAMATTA; RAMALHO, 2006). Os autores sugerem a utilização dos sistemas agroflorestais com um dos manejos possíveis da sombra, mas estudos devem ser realizados por variedade e espaçamento da cultura, bem como por altitude e clima de cada região, para se buscar avaliar os potenciais efeitos da prática. O sombreamento visa diminuir a temperatura do ambiente, e dessa forma influencia na dinâmica da água do solo, uma vez que com menores temperaturas, a evapotranspiração das plantas tende a ser menor.

Medidas mitigatórias aos cenários de aquecimento global, visando a diminuição da evapotranspiração das plantas, como o manejo de sombra, podem interferir tanto na fisiologia da planta, quanto na sua produtividade (JARAMILLO-BOTERO et al., 2010). A economia de água devido ao sombreamento da cultura interfere diretamente na quantidade de água utilizada pelas plantas, alterando também sua pegada hídrica.

Novos conceitos relacionados à sustentabilidade dos recursos naturais têm sido discutidos na atualidade, dentre os quais destaca-se o que se convencionou denominar pegada hídrica. O termo foi proposto por Hoekstra e Hung (2002) como um indicador da sustentabilidade de atividades, serviços e pessoas. A pegada hídrica pode ser definida como o volume de água gasto em todas as etapas produtivas, revelando a quantidade de água doce embutida dentro de um processo produtivo (CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2007). Como a atividade agropecuária é uma das maiores usuárias de água no mundo, a pegada hídrica tem se tornado uma referência de sustentabilidade em diferentes setores da atividade, pois revela o

volume gasto de água para a produção de uma quantidade determinada de mercadoria ($\text{m}^3 \text{t}^{-1}$). A pegada hídrica ainda é um termo novo e pouco conhecido, mas que tem se mostrado de grande importância nas discussões mundiais, com potencial de, em pouco tempo, estar no centro da discussão da sustentabilidade mundial, o que pode afetar diretamente as atividades do setor rural no Brasil, país reconhecidamente um dos maiores exportadores de produtos agrosilvopastoris do mundo.

Diante do exposto, a presente tese está organizada em três capítulos. O primeiro capítulo, intitulado “Lixiviação de nitrogênio em resposta ao uso de ureia de liberação controlada na cultura do cafeeiro”, avaliou a lixiviação de nitrogênio em uma lavoura de café a partir de duas fontes de ureia, aplicados de forma parcela (3 vezes) e não parcelado para a dose de 600 kg ha^{-1} . As perdas deste nutriente foram contabilizadas pelo fluxo de água, a partir de cápsulas coletores de solução do solo, e com utilização de sonda de nêutrons para monitoramento da umidade do solo.

O segundo capítulo, “Efeito da disponibilidade de água no solo sobre a evapotranspiração e o crescimento do café arábica no contexto das mudanças climáticas globais”, avaliou a dinâmica termo-hídrica de duas variedades de cafeeiro, sob duas condições de radiação, sendo a pleno sol e com manejo de sombra. O sombreamento foi proporcionado pela instalação de tela tipo “sombrite” em uma área do talhão de cada variedade.

O terceiro capítulo, “Pegada hídrica do café arábica nas Matas de Minas”, calculou os gastos de água virtual da produção cafeeira na fase de campo e beneficiamento sob os manejos ao sol e à sombra.

REFERÊNCIAS

BEZERRA, F. M. L.; ANGELOCCI, L. R.; MINAMI, K. Coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico para a cultura da batata nas condições edafoclimáticas da região de Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 3, p. 322–326, 1999.

CAMARGO, M. B. P. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 239–247, 2010.

CHAPAGAIN, A.K.; HOEKSTRA, A.Y. The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands. **Ecological Economics**, v. 64, n. 1, p. 109–118, 2007.

CONAB - COMPANHIA BRASILEIRA DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira - Café. **Levantamento Agrícola**, v. 4, n. 2, p. 104, 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_05_18_15_37_37_boletim_cafe_-_maio_2017.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2017.

DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. COCHICHO. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n. 1, p. 55–81, 2006.

HOEKSTRA, A Y; HUNG, P Q. A quantification of virtual water flows in relation to crop trade. Value of water research report series. **Institute for Water Education**, n. 11, p. 66, 2002.

IPCC, INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. CLIMATE CHANGE 2014: **Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Yokohama. 2014.

JARAMILLO-BOTERO, C. SANTOS, R. MARTINEZ, H. *et al.* Production and vegetative growth of coffee trees under fertilization and shade levels. **Scientia Agricola**, v. 67, n. 6, p. 639–645. 2010.

OLIVEIRA, J. C. M. ; TIMM, L.; TOMINAGA, T. *et al.* Soil temperature in a sugar-cane crop as a function of the management system. **Plant and Soil**. n. 230. p. 61-66, 2001.

PETTRY, M. T. ; ZIMMERMANN, F.; CARLESSO, R. *et al.* Disponibilidade de água do solo ao milho cultivado sob sistemas de semeadura direta e preparo convencional. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 531–539, 2007.

PREVEDELLO, C. L. Energia térmica do solo. In: VAN LIER, Q. J. (Org.). **Física do Solo**. Sociedade ed. Viçosa MG. p. 177-212. 2010. .

REICHARDT, K.; SILVA, A. L.; FENILLI, T. A. B. *et al.* Relation between nitrogen fertilization and water soil conditions for a coffee plantation from Piracicaba, SP. **Coffee Science**, v. 4, n. 1, p. 41–55, 2009.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M.C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, p. 18–23, 2003.

CAPÍTULO 1

LIXIVIAÇÃO DE NITROGÊNIO EM RESPOSTA AO USO DE UREIA DE LIBERAÇÃO CONTROLADA NA CULTURA DO CAFEIEIRO

LIXIVIAÇÃO DE NITROGÊNIO EM RESPOSTA AO USO DE UREIA DE LIBERAÇÃO CONTROLADA NA CULTURA DO CAFEIEIRO

RESUMO

O uso excessivo de fertilizantes nitrogenados por alguns produtores na cultura do café buscando aumento de produção vem tornando-se uma prática difundida no Brasil. O incremento da disponibilidade nem sempre é acompanhado por ganhos na absorção do nutriente, muito em decorrência das perdas de N. Dentre as perdas, destaca-se a lixiviação, que além de ser associado ao aumento do custo de produção, promove importante impacto ambiental. Visando minimizar essas perdas, uma tecnologia recente tem sido a produção de ureia revestida com polímeros e enxofre, visando reduzir sua solubilidade, com produtos conhecidos como fertilizantes de liberação controlada. A prática do parcelamento também pode ser utilizada visando a redução das perdas. Diante deste cenário, objetivou-se avaliar as perdas por lixiviação de nitrato na cultura do cafeeiro. O estudo avaliou a lixiviação de nitrato na cultura cafeeira decorrente da aplicação parcelada e não parcelada de ureia de liberação controlada em comparação ao uso da ureia convencional a partir da dose de 600 kg ha⁻¹, com quatro repetições em delineamento em blocos casualizados. O cálculo da lixiviação foi realizado pelo método do balanço de água no solo. O experimento foi conduzido no município de Teixeira, MG de setembro de 2016 a agosto de 2017. Mesmo o solo da área experimental se tratando de um Latossolo argiloso, o uso da ureia convencional proporcionou perdas superiores a 35%, quando não parcelado. A ureia de liberação controlada reduziu as perdas de N por lixiviação para 7% em aplicação única. A não verificação de diferenças entre as formas de aplicação nos teores lixiviados indicam a potencialidade de aplicação da ureia de liberação controlada em dose única. Embora o parcelamento da adubação tenha reduzido as perdas de nitrato, independente se foi utilizada a ureia convencional (12,97 % de perda) ou a ureia de liberação controlada (11,28 % de perda), o uso do produto de liberação mais lenta em dose única pode ser mais interessante por fornecer à cultura teores ideais de nutrientes no tempo correto.

Palavras-chave: Lixiviação, Física do Solo, Fertilidade, Balanço Hídrico.

INTRODUÇÃO

O cultivo de cafeeiro no Brasil é prática de destaque no cenário do agronegócio nacional. Atualmente a área ocupada no país com a cultura do café é de 2,23 milhões de hectares, com produção de 47,51 milhões de sacas beneficiadas. O estado de Minas Gerais responde por mais que 50% da área nacional plantada, com 1,22 milhão de hectares e uma produção de 25,7 milhões de sacas em 2017 (CONAB, 2017).

A produtividade das culturas está diretamente relacionada ao suprimento adequado de nutrientes e disponibilidade de água. Quando algum desses elementos não se encontra em seu ideal, potenciais são os riscos de prejuízo na produtividade. Dos nutrientes exigidos pelas plantas, o nitrogênio destaca-se como o mais requerido (MESQUITA et al., 2016). Segundo as recomendações de adubação, as doses de N são estipuladas de acordo com a produtividade esperada e, no caso da cultura do cafeeiro, podem chegar a 450 kg ha⁻¹ por ano para altas produtividades (GUIMARÃES et al., 1999). Entretanto, alguns produtores utilizam doses ainda maiores visando aumento de produção. Diversos estudos comentam taxas que variam de 400 e 800 kg ha⁻¹ são comumente usadas por agricultores, mais especificamente em áreas do Oeste da Bahia, com a utilização de fertirrigação em solos arenosos (BRUNO et al., 2011; BORTOLOTTI et al., 2013; BRUNO et al., 2015). No entanto, assume-se que raramente mais que do que 60% do N aplicado realmente é aproveitado pela cultura (REICHARDT et al., 2009). As perdas desse nutriente podem se dar por volatilização, desnitrificação e lixiviação, com potenciais prejuízos econômicos e ambientais (PINTO;et al. 2017).

As perdas de nitrogênio levam à baixa recuperação deste nutriente pelas plantas, com consequentes prejuízos na produção. Em relação a perdas por volatilização, Lara Cabezas et al., (1997) encontraram perdas que variavam entre 17 % a 78 % de nitrogênio quando a fonte utilizada foi ureia em formas diferentes de manejo e aplicação. As maiores perdas ocorreram em sistema plantio direto (SPD) sob palhada, sem revolvimento, e os menores quando aplicada sob superfície do solo em plantio convencional (SPC).

A lixiviação constitui na perda de nutrientes pelo fluxo descendente de água no solo. A solubilidade da fonte de fertilizante e o regime hídrico interferem neste fenômeno. A alta intensidade de chuvas, comuns em algumas regiões do país, manejos e formas de aplicação utilizadas, contribuem para que haja considerável perda por lixiviação. Além de prejuízos econômicos, podem haver também ambientais, como a eutrofização de águas superficiais e a contaminação de águas subsuperficiais (ARAÚJO et al., 2004). Um dos malefícios de concentrações mais altas desse nutriente na água é devido ao seu potencial carcinogênico

(SAVCI, 2012), além de eutrofização das águas e comprometimento da fauna aquática. No Brasil, a intensificação da agricultura leva ao aumento das doses de N, a contaminação de águas subterrâneas por nitrato é uma realidade preocupante (PINTO et al., 2017).

O gasto com fertilizantes na safra de café 2017-2018 para algumas regiões do estado de Minas Gerais gira em torno de 20% dos custos totais da produção (CONAB, 2017). Este dispêndio onera o produtor, situação agravada quanto esse fertilizante sequer chega a ser aproveitado pela planta. Respostas positivas de produtividade foram obtidas por Reichardt et al. (2009) com o uso de doses superiores às recomendadas de N em algumas variedades de café arábica. No entanto, no estudo de Amaral et al. (2011) enquanto as variedades de *C. arabica* responderam positivamente ao aumento da dose do nutriente, uma variedade híbrida de *C. arabica* e *C. canephora* teve sua produção reduzida, o que foi associado à contribuição da espécie robusta desse cruzamento. No entanto Pinto et al. (2017) não obtiveram perda de produtividade mesmo com a redução da dose anual de N de 600 para 400 kg ha⁻¹ para as condições do Cerrado baiano.

As perdas de N por lixiviação giram em torno de 20 a 30% do total aplicado, (BRUNO et al., 2015; PINTO et al., 2017; REICHARDT et al., 2009; SOUZA, 2012), podendo ainda ser maior em função das características do solo, intensidade e volume de precipitação e dose.. A lixiviação está diretamente relacionada com a concentração e intensidade do fluxo de água no solo. Este fluxo pode ser mensurado por meio do cálculo do balanço hídrico, que considera as entradas e saídas de água no solo. A partir disto e com as estimativas da concentração de N na solução do solo, pode-se calcular as perdas por lixiviação (BORTOLOTTI et al., 2013).

Quando há excesso de água no solo a drenagem pode ocorrer e, com ela, a movimentação de nutrientes no perfil. Essa perda vertical pode carregar nutrientes até grande profundidade ou mesmo até o lençol freático, não estando mais disponíveis para as plantas. No caso do cafeeiro adulto estima-se que em torno de 60% das raízes estejam entre 0 e 0,3 m de profundidade (REICHARDT et al., 2009) e 95% estejam até 1,0 m de profundidade (PINTO; BRUNO; LIER, 2017). Diante disto, existe um consenso que considera que nutrientes encontrados na solução do solo a partir da profundidade de 1,0 m não sejam mais significativamente ou facilmente disponíveis para a cultura do café.

Uma alternativa para se reduzir as perdas de N e aumentar a produção é o parcelamento da adubação nitrogenada, muito embora tal prática contribua com o aumento dos custos da produção. Neste sentido, mais recentemente também tem sido frequente e crescente o interesse pela pesquisa por fertilizantes considerados mais eficientes. Uma das linhas de atuação desta proposta tecnológica é o revestimento da ureia convencional com polímeros orgânicos e enxofre

elementar, objetivando maior proteção contra perdas por volatilização e lixiviação e fornecimento por tempo mais prolongado do N a partir de uma única aplicação no solo. Esses produtos têm sido denominados de fertilizantes de liberação lenta ou de liberação controlada e visam sobremaneira a economia na mão de obra e o melhor e maior aproveitamento pelas plantas (PAIVA et al., 2013).

Diante do exposto, o presente estudo objetivou avaliar a eficiência de um fertilizante nitrogenado de liberação controlada na redução das perdas de lixiviação de N na cultura do cafeeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma propriedade cafeeira localizada no município de Teixeira, Minas Gerais, com sede localizada nas coordenadas geográficas 20° 41' S e 42° 48' O e altitude média de 580 m. O relevo da região é ondulado e a cultura foi implantada sobre terraços artificiais construídos há 11 anos. O cafezal é formado pelo cultivar Catuaí Vermelho (IAC 44), com idade de nove anos, plantado em espaçamento de 0,4 x 3,5 m, totalizando em torno de 7 mil plantas ha⁻¹, portanto, um sistema adensado. A profundidade média do sistema radicular dessa variedade é em torno de 0,65 m, oscilando de acordo com a resistência a penetração do solo. A produtividade média da propriedade é de 28 sacas ha⁻¹. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cwb, com verões quentes e úmidos e inverno seco. O solo predominante na área é um Latossolo Vermelho, textura argilosa, com teor de argila superior a 50,0 % (Quadro 1).

Quadro 1: Caracterização física do solo da área experimental

Profundidade (m)	Areia grossa	Areia fina	Argila	Silte	Classe
	dag/kg				Textural
0 - 0,2	20,2	13,38	51,88	14,54	Argilosa
0,2 - 0,4	19,68	12,77	53,44	14,11	Argilosa
0,4 - 0,6	19,07	12,08	55,05	13,80	Argilosa
0,6 - 0,8	18,57	12,55	54,85	14,03	Argilosa
0,8 - 1,0	18,64	13,11	53,9	14,35	Argilosa

Fonte: SOUZA (2012).

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial $(2 \times 2) + 1$, representando dois tipos de ureia, dois tipos de parcelamento mais o tratamento controle, com quatro repetições. Os dois tipos de ureia foram: convencional (44% de N) e a outra de liberação controlada Polyblen[®] “Montanha” (39% de N). Os dois tipos de parcelamento foram a ausência do parcelamento e o parcelamento em três aplicações, com intervalo de um mês entre cada adubação. O tratamento adicional foi composto pela ausência do fertilizante nitrogenado. Nos tratamentos que receberam a adubação nitrogenada, a dose aplicada foi de 600 kg ha⁻¹ de N. Cada bloco foi formado por 18 plantas divididas em três linhas de plantio, sendo seis plantas por linha. A área útil de cada bloco foi formada por duas plantas da linha central, ficando as demais linhas e plantas consideradas como bordadura. Entre as duas plantas centrais foram instalados um tubo de acesso destinada ao uso da sonda de nêutrons, para a realização de leitura de umidade do solo, e uma cápsula porosa visando a coleta de solução do solo. A profundidade do tubo de acesso foi de 1,2 m, para permitir leituras a 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 e 1,0 m de profundidade. A cápsula foi instalada a 1,0 m de profundidade.

As leituras de umidade do solo foram iniciadas ao final do período seco (setembro/2016). A aplicação dos tratamentos iniciou-se após estabelecimento da estação chuvosa (dezembro/2016). Uma coleta de solução do solo foi efetuada antes da imposição dos tratamentos para se avaliar possível efeito residual de adubações anteriores. No dia 12/12/16 foram aplicadas as doses correspondentes aos tratamentos de dose total de N (sem parcelamento) e do primeiro parcelamento. A segunda e terceira aplicação nos tratamentos com parcelamento foram efetuadas em 10/01/17 e 08/02/17.

As coletas de solução do solo foram efetuadas sempre que a umidade do solo atingisse a capacidade de campo. Para isto, foram realizadas checagens de duas a três vezes por semana

in loco, ou no dia seguinte à precipitação. Para a obtenção da solução do solo procurava-se manter no interior da cápsula porosa um vácuo de 33 kPa, buscando simular o potencial matricial associado à umidade na capacidade campo do solo. O período de coleta de solução do solo para essa determinação foi de 21/12/2016 a 17/01/2017, que coincidiu com o maior o período de maior volume de chuvas.

As soluções do solo foram congeladas até análise posterior. Quando da determinação, os teores de N Kjeldahl foram obtidos segundo método descrito por Galvani & Gaertner (2006) com adaptações. As concentrações de N obtidas nas soluções coletadas foram convertidas para kg ha⁻¹. Para o cálculo, foi realizado o balanço de água do solo, obtendo o volume de fluxo de água abaixo da camada de 1,0 m, conforme a equação:

$$\pm\Delta h = P + I - ETa + AC - DREN - R,$$

onde: $\pm\Delta h$ = mudanças no armazenamento de água do solo no perfil de um metro de profundidade; P = precipitação (mm); I = irrigação (mm); ETa = evapotranspiração atual da cultura (mm); AC = ascensão capilar (mm); $DREN$ = drenagem abaixo da camada de um metro (mm) e R = *runoff* ou deflúvio superficial (mm).

Nos cálculos não foram consideradas entradas via irrigação, por se tratar de uma cultura de sequeiro. O deflúvio superficial também foi desconsiderado, uma vez que os terraços foram construídos com declive para seu interior, o que é capaz de eliminar a possibilidade de *runoff*. Para obtenção dos dados climáticos, uma estação meteorológica foi instalada para coletar os dados de temperatura e precipitação.

Com os dados de temperatura foi calculada a evapotranspiração (ETr) diária para a cultura segundo o método de Hargreaves & Samani (HARGREAVES; ALLEN, 2003). A curva de retenção de água no solo foi elaborada segundo modelo de van Genuchten, (1980) com o software SWRC (DOURADO-NETO et al., 2001) . O armazenamento de água no solo foi calculado pela regra do Trapézio e o fluxo de água no solo não saturado (K_{θ}) foi calculada pela equação de Darcy-Buchingham, na direção vertical com as profundidades de 0,8 e 1,0 m, obtendo-se assim a ascensão capilar (AC) ou a drenagem abaixo da camada de 1,0 m (DREN). O potencial total da água no solo foi obtido pela soma dos potenciais mátrico ou de pressão e gravitacional ($\psi_m + \psi_g$) ou ($\psi_p + \psi_g$). Tais profundidades foram escolhidas por se localizarem abaixo da zona radicular efetiva estimada para a variedade Catuaí (0,65m) (BARRETO et al., 2006) objetivando quantificar as perdas de N por lixiviação.

A umidade do solo foi monitorada utilizando-se equipamento de sonda de nêutrons, após prévia calibração do equipamento. Para a produção da curva de calibração relacionando a contagem relativa fornecida e a umidade do solo obtida pelo método termogravimétrico foram

coletadas amostras de solo próximo aos tubos de acesso em diversas datas e nas profundidades de leitura.

O monitoramento da umidade do solo foi efetuado com certa regularidade entre setembro de 2016 e setembro de 2017. A solução do solo foi coletada somente quando disponível nas cápsulas porosas. Ao todo, o experimento teve a duração de 355 dias.

Para a caracterização do solo e obtenção de dados para o balanço de água no solo, ainda foram efetuadas amostragens de solo para a determinação da composição granulométrica, densidade do solo e de partículas, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e condutividade hidráulica de solo saturado. Todos os procedimentos foram realizados conforme descrito em Donagemma et al. (2011).

Amostras de folhas foram coletadas para análise dos teores de N do tecido vegetal. As coletas foram efetuadas ao final do experimento e seguiram as recomendações de época e folhas diagnósticas indicadas por (MARTINEZ et al. 1999) para a cultura do cafeeiro.

Os resultados dos teores de N lixiviado foram submetidos à análise de variância, após a checagem das pressuposições do teste. Os tratamentos foram comparados pelo teste de média de Tukey para avaliar o efeito dos tratamentos tipo de ureia e tipo de parcelamento. Quando a interação desses dois fatores foi significativa, promoveu-se o desdobramento dos efeitos. Os teores de N do tecido foliar também foram comparados pelo teste de Tukey. O software utilizado em todos os procedimentos estatísticos foi o R (versão 3.4), a 5% de significância.

RESULTADOS

Durante o período de avaliação (setembro de 2016 a setembro de 2017) foi verificado uma precipitação total de 821 mm, correspondendo a 60 % da média histórica para a região, que gira em torno de 1350 mm ao ano (GUIMARÃES; et al. 2010). O intervalo com maior volume de precipitação entre os meses de novembro e dezembro, seguido de um período de estiagem entre 27/12/2016 e 10/01/2017 (Figura 2).

Os volumes de precipitação e de drenagem ou ascensão capilar durante o período de coleta são apresentados na Figura 1. Os dados mostram que houve poucos momentos onde prevaleceu a drenagem, explicando a baixa quantidade de coletas realizadas de solução do solo para o cálculo de N perdido via lixiviação. No total do ano avaliado, foram drenados cerca de 190,6 mm, compreendidos entre novembro e dezembro 2016,. Porém, durante o período avaliado, prevaleceu o déficit hídrico. O mês de janeiro, normalmente chuvoso na região, apresentou uma severa estiagem (35 mm), com altas temperaturas que somados levaram a uma alta demanda

evapotranspirativa das plantas (138,3 mm no mês) (Figura 3), tornando-se o mês onde houve a maior perda de água (-103 mm). Somando todas as perdas por evapotranspiração dentro do período analisado, no total o solo apresentou déficit hídrico de 262 mm

Os teores médios e total de N perdido por lixiviação nos diferentes tratamentos é apresentado na Figura 4. Os teores de N verificados no dia 25/11/2016 são baixos e estatisticamente iguais, por ser essa coleta anterior ao início dos tratamentos (iniciada em 12/12/2016), sendo uma referência para se avaliar os teores residuais de N presentes no solo (Quadro 4).

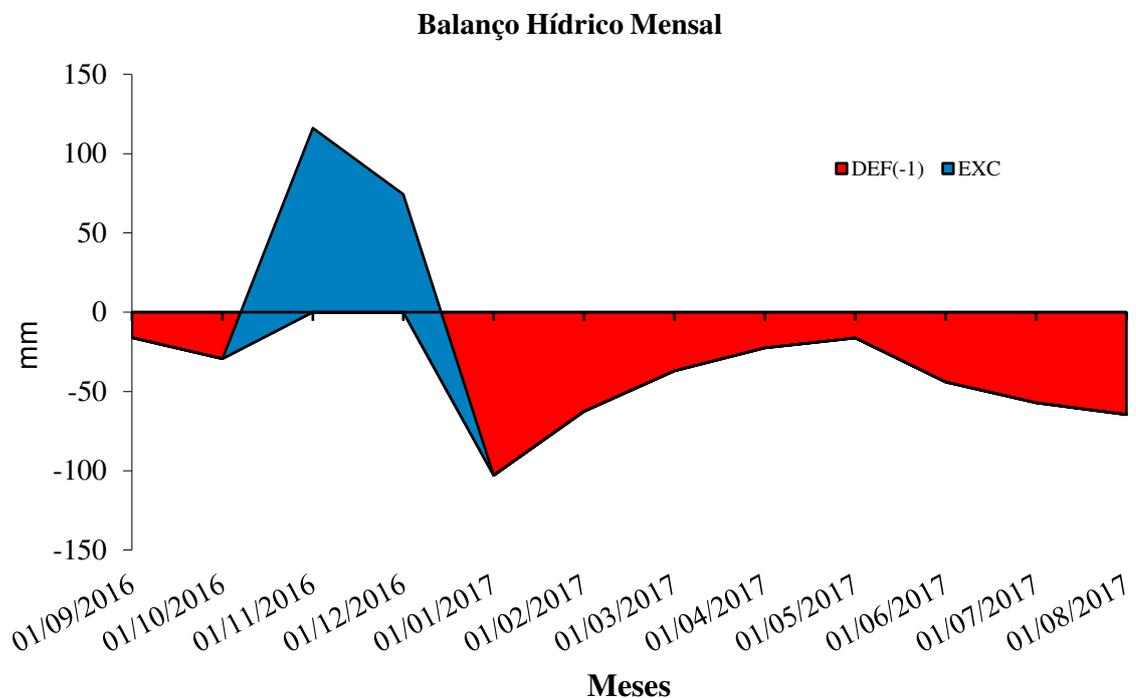


Figura 1: Gráfico do balanço de água no solo da área de estudo. DEF é a deficiência de água no solo, ou seja, déficit hídrico; EXC é o excedente de água ou drenagem, já descontado a evapotranspiração real das plantas. Período entre setembro de 2016 a agosto de 2017.

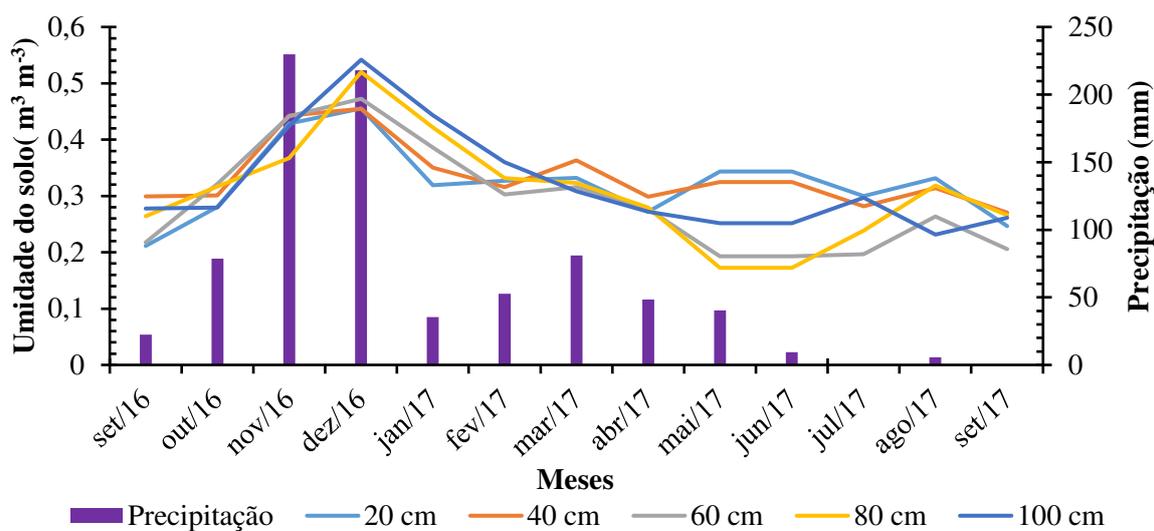


Figura 2: Curvas de umidade do solo por camada analisada e precipitação mensal acumulada correspondente ao período de condução do experimento.

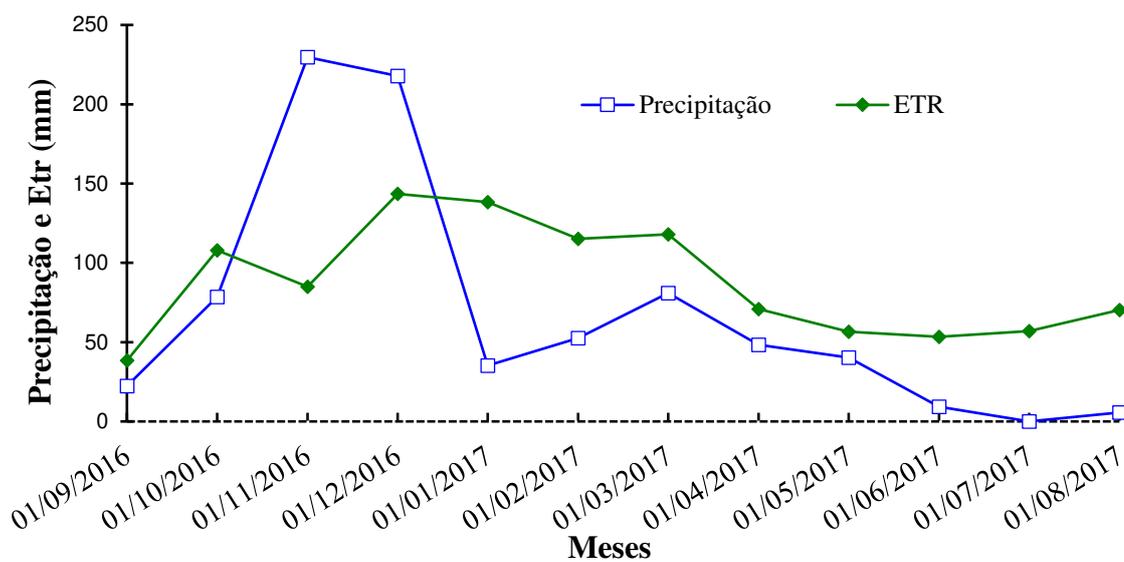


Figura 3: Precipitação e evapotranspiração real (ETr) mensal acumulada correspondente ao período de avaliação do experimento.

Diferenças de perdas de N entre as formas de ureia

Diferenças entre as perdas de N obtidas com as duas fontes de ureia aplicadas em dose única foram verificadas na primeira coleta realizada nove dias após a imposição dos tratamentos (21/12/2016) (Quadro 4). A ureia convencional (UC) quando aplicada sem parcelamento apresentou perda equivalente a 152 kg ha^{-1} , ou seja, 25,3 % do total aplicado foi perdido com pouco mais de uma semana via lixiviação. Já a ureia de liberação controlada (ULC) apresentou perda no mesmo período de $16,14 \text{ kg ha}^{-1}$, representando 7 % do total aplicado (Quadro 3). Na coleta seguinte (05/01/2017), a diferença entre as duas formas de ureia em termos de perdas de N continua favorável à ULC. Neste dia as perdas de N foram reduzidas para $16,64 \text{ kg ha}^{-1}$ com a UC e para $3,97 \text{ kg ha}^{-1}$ com a ULC. Nas duas avaliações seguintes (10 e 17/01/2017), não se verificaram diferenças estatísticas entre os tratamentos. No caso específico do dia 10/01/2017, o alto coeficiente de variação tanto da UC quanto da ULC contribuiu para a não diferenciação estatística, não sendo possível verificar diferenças entre as perdas de $50,96 \text{ kg ha}^{-1}$ com UC e $19,43 \text{ kg ha}^{-1}$ com ULC. Na última avaliação (17/01/2017), as perdas foram muito baixas e semelhantes.

As perdas totais de N com as duas formas de ureia aplicadas em dose única foram de 220,11 com a UC e $42,46 \text{ kg ha}^{-1}$ com a ULC, o que equivale, respectivamente, a perdas de 36,68 e 7,07 % do aplicado.

Com a utilização de adubação parcelada em três aplicações não se verificaram diferenças de perdas de N a 1,0 m de profundidade em cafezal adubado com as duas fontes de ureia. A exceção a essa tendência foi a coleta efetuada em 17/01/2017, quando as perdas com o uso de UC superaram as perdas com ULC. Entretanto os baixos valores encontrados ($3,45 \text{ kg ha}^{-1}$ para UC e $0,0 \text{ kg ha}^{-1}$ para ULC), menores inclusive do que o residual medido antes da imposição dos tratamentos, sugerem ser essa uma diferença sem grande importância prática.

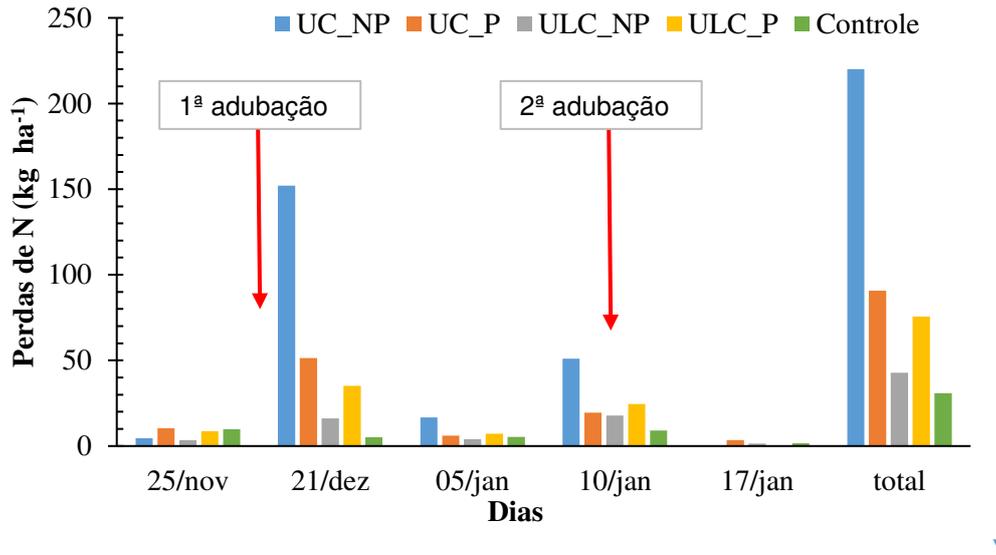


Figura 4. Perdas de nitrogênio (N), em kg ha⁻¹, a 1,0 m de profundidade na cultura do cafeeiro submetida à aplicação de ureia convencional (UC) e de liberação controlada (ULC), de forma parcela (P) e não parcelada (NP).

Quadro 4: Perdas de nitrogênio (N), em kg ha⁻¹, a 1,0 m de profundidade na cultura do cafeeiro submetida aos tratamentos com ureia convencional e de liberação controlada aplicadas na forma parcela e não parcelada

Data de avaliação	Aplicação	Ureia convencional	Ureia de liberação controlada
25/11/2016(*)	Não Parcelado	4,64 A a (162.91 %)**	3,51 A a (203.57 %)
	Parcelado	10,32 A a (600.89 %)	8,63 A a (52.75 %)
	Controle	9.81 (65 %)	
21/12/2016	Não Parcelado	152,01 A a (62.83 %)	16,14 B a (124.92 %)
	Parcelado	51,36 A b (65.83 %)	35,08 A a (68.09 %)
	Controle	5.13 (63 %)	
05/01/2017	Não Parcelado	16,64 A a (54.92 %)	3,97 B a (65.68%)
	Parcelado	6,09 A b (69.97 %)	7,20 A a (19.02%)
	Controle	5.3 (64 %)	
10/01/2017	Não Parcelado	50,96 A a (78.23 %)	19,43 A a (75.17 %)
	Parcelado	17,72 A a (53.49 %)	24,60 A a (16.35 %)
	Controle	8.97 (122 %)	
17/01/2017	Não Parcelado	0,00 A b (0 %)	1,44 A a (117.72 %)
	Parcelado	3,45 A a (123.26 %)	0,00 B a (0 %)
	Controle	1.63 (90 %)	
N-Total	Não Parcelado	220,11 A a (60.41 %)	42,46 B a (79.21 %)
	Parcelado	77,83 A b (22.37 %)	67,69 A a (34.82 %)
	Controle	30.84 (84 %)	

(*) antes da imposição dos tratamentos.

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste Tukey ($p < 0,05$). Em parênteses são colocados os coeficientes de variação (CV).

Diferenças entre as formas de aplicação

A forma de aplicação do fertilizante afetou as perdas de N quando se utilizou a UC. Maiores perdas de N foram verificadas com a utilização dessa ureia quando aplicada em dose única nas duas primeiras coletas após a imposição dos tratamentos (21/12/2016 e 05/01/2017). No dia 10/01/2017 não se verificaram diferenças entre formas de parcelamento, associado aos altos valores de coeficiente de variação (Quadro 4). Por sua vez, no dia 17/01/2017, as perdas com a aplicação parcelada superaram as perdas com o uso da dose única. Na avaliação das perdas totais de N, maiores perdas foram associadas com a aplicação única.

Nas avaliações efetuadas não se verificaram diferenças entre forma de aplicação do fertilizante quando a ULC foi utilizada.

Teores foliares

O uso das diferentes ureias nas duas formas de aplicação avaliadas não proporcionou alterações nos teores foliares de N da cultura do cafeeiro. Independentemente do resultado obtido para os tratamentos adubados e do controle, todos os teores foliares de N obtidos superaram o recomendado para a região de Viçosa-MG, que seria entre 26,4 e 30,8 g kg⁻¹ (GUIMARÃES et al., 1999).

DISCUSSÃO

As maiores perdas totais de N foram associadas com a utilização da ureia convencional não parcelada, alcançando 220,11 kg ha⁻¹. Felizmente essa não é uma prática usual, uma vez que a maior parte dos agricultores parcela, pelo menos, em duas aplicações. A alta intensidade de precipitação verificada no início do experimento proporcionou expressivas perdas de N na primeira avaliação da solução do solo após a aplicação do fertilizante. Na segunda avaliação associado à estiagem em janeiro de 2017, não favoreceu a lixiviação de N, reduzindo as perdas.

O parcelamento da ureia convencional em três aplicações reduziu praticamente em um terço os teores totais de N perdidos com a lixiviação. Em experimento na mesma região e utilizando a mesma dose de 600 kg ha⁻¹, dividida em três aplicações, Souza (2012) verificou teores totais lixiviados de 105,85 kg ha⁻¹ de N na cultura do cafeeiro que recebeu o mesmo tipo de ureia. O valor encontrado pelo autor supera o observado no presente estudo (77,83 kg ha⁻¹) e pode ser associado à menor precipitação aqui verificada em comparação com a da época do estudo citado.

Os teores de N perdidos por lixiviação obtidos com o uso de adubos nitrogenados são preocupantes, seja pelos custos envolvidos na aquisição de fertilizantes que acabam não sendo aproveitados pelas plantas e convertidos em produção, mas também e, principalmente, pelo potencial impacto ambiental da chegada do N aos lençóis freáticos e, eventualmente, nos cursos d'água. A preocupação ambiental é tema frequente na atualidade e o uso racional de fertilizantes nitrogenados encontra-se no rol das boas práticas na agricultura. A preocupação com o nitrogênio é justificável, pelo seu elevado potencial poluidor dos recursos hídricos (ARAÚJO et al., 2004).

Neste cenário, a fertirrigação desponta como uma estratégia que, embora seja alicerçada em alto investimento financeiro e tecnológico, reduz os impactos negativos na esfera ambiental no que tange as perdas de N, além de proporcionar aumento do potencial produtivo das culturas. Neste sentido, trabalhos como o de Bruno et al. (2015) indicam perdas de N quando da adoção

de fertirrigação da ordem de 45,6 kg ha⁻¹, correspondendo a 7,6 % do total aplicado. Obviamente que outros fatores que não somente o manejo da adubação na cultura devam ser considerados e podem afetar a magnitude das perdas. Por este motivo, perdas mesmo com a utilização da fertirrigação podem ser maiores. Exemplo disto é o estudo de Pinto et al. (2015) que, para a mesma dose aplicada neste estudo obteve mais de 20% de perdas de N. Eventuais benefícios potenciais da adubação via fertirrigação na redução das perdas por lixiviação, quando presentes, são associados ao uso de menores concentrações em cada aplicação e distribuição parcelada do nutriente ao longo do tempo, o que favorece a possibilidade de absorção do nutriente pelas raízes.

Quando a fertirrigação não é uma possibilidade acessível ao agricultor, o parcelamento da adubação tem sido muito recomendado visando a redução das perdas de N por lixiviação. Primavesi et al. (2006) chegam a recomendar parcelamentos em cinco vezes para doses até 500 kg ha⁻¹. Entretanto, os parcelamentos aumentam os custos de produção e, muitas vezes, verificam-se aplicações fora das épocas de maior demanda da cultura.

Outra opção mais recente à disposição dos agricultores visando melhor aproveitamento dos fertilizantes nitrogenados e menores perdas de N é a tecnologia associada ao produto ureia revestida, também conhecida como ureia de liberação controlada. A solubilização do produto se dá por difusão, sendo controlada pela umidade e temperatura do solo (BLAYLOCK, 2007). Com esta opção a adubação pode ser efetuada em apenas um momento, sendo liberados no solo teores que poderão ser aproveitados por mais tempo pelas culturas.

A ureia de liberação controlada reduziu as perdas de N por lixiviação. A não verificação de diferenças entre a aplicação em dose única ou parcelada em três vezes nos teores lixiviados indicam a potencialidade de aplicação integral do produto em apenas um momento. Embora o parcelamento da adubação por si só tenha reduzido as perdas de N, independente se foi utilizada a ureia convencional (12,97 % de perda) ou a ureia de liberação controlada (11,28 % de perda), o uso do produto de liberação mais lenta em dose única pode ser mais interessante pela economia de mão de obra com sua aplicação e fornecer à cultura teores ideais de nutrientes no tempo correto, visto que Bruno et al. (2011) observou que a cultura do café necessita de maiores teores desse nutriente na fase de enchimento de grão, podendo coincidir com períodos chuvosos, favorecendo a lixiviação. Duas outras características são interessantes com a utilização da ureia de liberação controlada. A primeira refere-se ao fato de o produto não apresentar empedramento, o que facilita sua distribuição sobre a superfície do solo e, o segundo, é associado ao fornecimento adicional de enxofre, nutriente presente na composição do produto (12,43% de S).

CONCLUSÕES

1- O uso do parcelamento da adubação com ureia convencional em três aplicações é capaz de reduzir as perdas de N via lixiviação na cultura do cafeeiro.

2 – O uso de ureia de liberação controlada em única aplicação é comparável em perdas por lixiviação de N com o parcelamento da ureia convencional, constituindo-se em alternativa interessante pela redução da mão de obra envolvida na sua aplicação no campo.

REFERÊNCIAS

AMARAL, J. F. T. et al. Productivity and efficiency of nutrient use in coffee crops. **Coffee Science**, v. 6, n. 1, p. 65–74, 2011.

ARAÚJO, A. R. DE et al. Movimentação de nitrato e amônio em colunas de solo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 3, p. 537–541, jun. 2004.

BARRETO, C. V. G. et al. Distribuição espacial do sistema radicular do cafeeiro fertirrigado por gotejamento em Campinas. **Bragantia**, v. 65, n. 4, p. 641–647, 2006.

BLAYLOCK, A. **Novos fertilizantes nitrogenados: o futuro dos fertilizantes nitrogenados de liberação controlada**. Disponível em: <<http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/A7269B36407D8D6283257AA1005E5365/%24FILE/Parte8-10-120.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2017.

BORTOLOTTI, R. P. et al. Nitrate leaching through climatologic water balance in a fertigated coffee plantation. v. 60, n. 6, p. 785–792, 2013a.

BORTOLOTTI, R. P. et al. Nitrate leaching through climatologic water balance in a fertigated coffee plantation. **Revista Ceres**, v. 60, n. 6, p. 785–792, dez. 2013b.

BRUNO, I. P. et al. Fertilizer nitrogen in fertigated coffee crop: Absorption changes in plant compartments over time. **Field Crops Research**, v. 124, n. 3, p. 369–377, dez. 2011.

BRUNO, I. P. et al. Nitrogen balance and fertigation use efficiency in a field coffee crop. **Journal of Plant Nutrition**, v. 38, n. 13, p. 2055–2076, 2015.

CONAB - COMPANHIA BRASILEIRA DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira - Café. **Levantamento Agrícola**, v. 4, n. 2, p. 104, 2017.

CONAB COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Custos de produção - Culturas Perenes 2017 - 2018**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1556&t=2&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 12 jul. 2017.

DONAGEMMA, G. K. et al. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2 revisada ed. Rio de Janeiro: [s.n.].

DOURADO-NETO, D. et al. **Soil Water Retention Curve-SWRC**Piracicaba SP, 2001.

GALVANI, F.; GAERTNER, E. Adequação da Metodologia Kjeldahl para determinação de Nitrogênio Total e Proteína Bruta. **Circular Técnica - Embrapa**, v. 63, n. ISSN 1517-1965, p. 9, 2006.

GUIMARÃES, D. P.; REIS, R. L.; LANDAU, E. C. Índices pluviométricos em Minas Gerais. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, v. 30, p. 90, 2010.

GUIMARÃES, P. T. G. ; GARCIA, A. W. R. ALVAREZ, V. H. V. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. V. (Eds.). . **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Comissão de Fertilidade do Estado de Minas Gerais. p. 289-302. 1999.

HARGREAVES, G. H.; ALLEN, R. G. History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 129, n. 1, p. 53–63, 2003.

LARA CABEZAS, W. A. . R.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-Nh₃ na cultura de milho : II . Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 3, p. 489–496, 1997.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose Foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V, V. H. (Eds.). . **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Comissão de Fertilidade do Estado de Minas Gerais. p. 183-168. 1999.

MESQUITA, C. M. ; REZENDE, J.; CARVALHO, J. et al. **Manual do café. Manejo de Cafezais em Produção**. 1 ed. BELO HORIZONTE: Emater, 2016.

PAIVA, R. F.; MAURI, R.; PRADA NETO, I. et al. Fertilizante de liberação lenta e controlada (Polyblen®) de cafeeiros Coffea arabica em produção em duas safras (2011 / 2012 E 2012 / 2013) no Sul de Minas Gerais. **Congresso Brasileiro de Pesquisa Cafeeira**, 2013.

PINTO, V. M. ; REICHARDT, K.; van DAN, J. et al. Deep drainage modeling for a fertigated coffee plantation in the Brazilian savanna. **Agricultural Water Management**, v. 148, p. 130–140, jan. 2015.

PINTO, V. M.; BRUNO, I. P.; van LIER, Q. J. et al. Environmental benefits of reducing N rates for coffee in the Cerrado. **Soil & Tillage Research**, v. 166, p. 76–83, 2017.

PINTO, V. M.; BRUNO, I. P.; LIER, Q. D. J. VAN. Excessive use of nitrogen causes monetary loss for coffee growers in the Cerrado. **Coffee Science**, v. 12, n. 2, p. 176–186, 2017.

PRIMAVESI, O. et al. Lixiviação de nitrato em pastagem de coastcross adubada com nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 3, p. 683–690, 2006.

REICHARDT, K.; SILVA, A. L. FENILLI, T. A. B. et al. Relation between nitrogen fertilization and water soil conditions for a coffee plantation from Piracicaba, SP | Relação entre a adubação nitrogenada e as condições hídricas do solo para um cafezal de Piracicaba, SP. **Coffee Science**, v. 4, n. 1, p. 41–55, 2009.

SAVCI, S. Investigation of Effect of Chemical Fertilizers on Environment. **APCBEE Procedia**, v. 1, p. 287–292, 2012.

SOUZA, J. A. **Lixiviação de nitrato e volatilização de amônia em um Latossolo cultivado com café sob diferentes fontes de nitrogênio**. Universidade Federal de Viçosa (Dissertação de Mestrado), Viçosa, MG, 2012.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **oil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 892–898, 1980.

CAPÍTULO 2

EFEITO DO MANEJO DE SOMBRA SOBRE A EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM CAFEIEIRO E A DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO NO CONTEXTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS

EFEITO DO MANEJO DE SOMBRA SOBRE A EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM CAFEIRO E A DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO NO CONTEXTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS

RESUMO

O Brasil é reconhecido no mundo como grande produtor agrícola, sendo o maior produtor e exportador de café, uma das commodities mais consumidas no mundo. No entanto, no contexto atual de modificação dos padrões climáticos atribuídos as mudanças climáticas, ações para mitigação dos efeitos do fenômeno devem ser estudadas, uma vez que países como o Brasil com sua matriz econômica pautada no agronegócio poderão sofrer severas crises. Para o presente estudo, foi selecionada uma propriedade produtora de café no município de Paula Cândido – MG. Nesta, foram selecionados dois talhões com as variedades Acauã e IAC – 125 RN, ambas pertencentes a espécie *Coffea arabica*. Em cada talhão foi demarcada uma parcela de em torno de 160 m², que foi dividida em duas situações de radiação: a pleno sol e sombreado a partir da instalação de uma tela tipo “sombrite”, com interceptação em torno de 38 – 40 % de radiação. Em cada manejo (ao sol e sombra) de cada variedade de cafeeiro, foi aberta uma trincheira e instalados sensores de umidade do solo a 20 cm, 50 cm e 100 cm e de temperatura do solo a 40 cm, acoplados a um *datalogger* e uma bateria para coleta de dados. Foi também instalado em uma estação meteorológica abaixo e fora da tela sombrite para medir a precipitação e sensores de temperatura do ar. Amostras do solo foram coletadas para a caracterização física e química. Coletou-se também amostras das folhas de cafeeiro um ano após a instalação do sombrite. A produtividade do café também foi analisada. O experimento foi realizado entre setembro de 2016 a outubro de 2017. A partir dos dados das estações meteorológicas e dos sensores de temperatura do ar, foi calculada a ETr. Após a calibração dos sensores de umidade do solo, foram obtidas a dinâmica de umidade do solo de cada variedade de cafeeiro sob cada condição de radiação. Foi também calculado o armazenamento de água no perfil de 1 m de solo, e juntamente com os dados de temperatura do solo foram submetidos ao teste de Wilcoxon a 5 %. Os teores de nutrição foliar e produtividade de cafeeiro foram submetidos a teste de Tukey a 5 %. Houve diminuição da temperatura abaixo da tela sombrite, proporcionando menor ETr nas duas variedades de cafeeiro. Houve também interceptação de chuva (13 %) pelo sombrite. No entanto, os valores de economia na ETr foram superiores ao interceptado. O sombreamento também proporcionou redução na temperatura do solo. A camada de 100 cm foi a predominante em teor de umidade, independente do manejo e da

variedade. Na variedade Acauã, a camada de 20 cm manteve umidade maior que a mesma camada ao sol, demonstrando menor perda de água por evaporação. Já na variedade IAC – 125 RN, durante a maior parte do ano, a camada superficial foi a mais seca de todas as três camadas avaliadas. Entretanto, esta camada à sombra apresentou maior umidade que a mesma ao sol. Não foi observada diferença na nutrição foliar em nenhuma das variedades em relação ao manejo. Em relação a produtividade, a variedade Acauã apresentou queda na produção quando submetida ao sombreamento, fato não verificado para o IAC – 125 RN que se mantiveram iguais. Concluiu-se que O manejo da sombra é capaz de reduzir a temperatura do ar, do solo e a evapotranspiração real da cultura do cafeeiro, revelando seu potencial como prática mitigadora dos efeitos das mudanças climáticas. O sombreamento não afeta o estado nutricional das plantas do cafeeiro, mas pode reduzir a produtividade de certas variedades. Disto resulta a importância da avaliação de genótipos quando se pretende utilizar o sombreamento como prática na cultura do cafeeiro.

Palavras-chave: Balanço Hídrico, Aquecimento Global, Física do Solo, Temperatura do Solo.

INTRODUÇÃO

É corrente no cenário atual o aparente consenso acerca da tendência de aumento da temperatura global associada às mudanças climáticas globais. Disto resulta a necessidade de identificação e mensuração de possíveis impactos, em especial nas atividades agrícolas que são altamente dependentes do clima. Igualmente importante é a necessidade da busca e da avaliação de práticas alternativas para a convivência ou mitigação dos efeitos decorrentes das mudanças do clima, que podem vir a comprometer a produtividade e a produção de importantes commodities agrícolas em diferentes partes do mundo, em particular a cafeicultura.

A produção de café destaca-se no cenário agrícola nacional sendo esse o quinto produto mais exportado no país. Todavia, o Brasil ocupa a posição de maior produtor e exportador mundial desse grão (MAPA, 2017). Entretanto, as consequências das mudanças climáticas globais podem afetar todo esse desempenho. Segundo Camargo (2010), alguns cenários futuros previstos podem comprometer ou mesmo inviabilizar a produção de café na região Sudeste do Brasil, devido a sensibilidade da cultura à maior escassez de água e ao aumento das temperatura atmosféricas. O autor comenta acerca da necessidade de avaliação de práticas e, ou, tecnologias que assegurem a continuidade da produção de café nessa região do país, onde a cultura do cafeeiro é tradicional e importante fonte de renda.

No relatório do IPCC, apresentado no dia 31 de março de 2014, em Yokohama, no Japão (IPCC, 2014), é citado o resultado do estudo de Camargo (2010), o qual foi baseado no aquecimento mais elevado previsto para 2100, equivalente a 5,8 °C no cenário SRES A2. Sob este cenário, é previsto que a produção de café possa vir no futuro próximo a se tornar inviável nos estados de Minas Gerais e São Paulo (sudeste do Brasil) caso nenhuma ação adaptativa for realizada.

Entre os eventos climáticos mais comuns os períodos mais prolongados de seca e irregularidade nas estações, têm sido associados as mudanças climáticas. Esses eventos são importantes para a produção agrícola pois o déficit hídrico, juntamente com o aumento da temperatura são os fatores que mais interferem no desenvolvimento das diferentes culturas, devido promover alterações morfológicas e fisiológicas, muitas vezes irreversíveis a depender de sua duração, genótipo, severidade e do estágio de desenvolvimento da planta, provocando conseqüentemente, efeitos expressivos sobre a produtividade das culturas (BEZERRA; et al., 1999; PETTRY et al., 2007).

Na cafeicultura não é diferente, pois o estresse provocado por déficit hídrico prolongado tem sido considerado um dos fatores mais importantes que limitam o desempenho do café, especialmente em locais onde o cafezal não é irrigado (RONCHI et al., 2015). É de conhecimento que a seca tem tipicamente um efeito inibidor sobre a fotossíntese (ARAÚJO; DEMINICIS, 2009). Assim, o cafeeiro, como tantas outras culturas, também pode ter o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade afetados pela variabilidade do clima, variedade, solo, disponibilidade de água, fertilidade do solo e práticas culturais.

Além da modificação no padrão de chuvas, outro ponto que afeta a disponibilidade de água para as culturas é o aumento da temperatura do ar, uma vez que aumenta a taxa de evapotranspiração das plantas. São diversos cenários propostos para o aumento da temperatura global, alguns menos alarmistas propondo aumento de 1 °C a 4 °C (SERS B2), e outros mais alarmistas propondo aumentos de 2 °C a 6 °C (SRES A2) até o ano de 2100 (IPCC, 2014). Sansigolo e Kayano, (2010) observaram que a região Sudeste do país teve acréscimo de 0,5 °C a 0,6 °C por década durante o século XX, corroborando a necessidade de práticas que minimizem os efeitos do aumento da temperatura para a manutenção da cultura. Uma alternativa possível para a compensação do aumento da temperatura atmosférica no interior dos cafezais brasileiros é conhecido como “manejo da sombra” (DAMATTA; RAMALHO, 2006). Os autores sugerem a utilização dos sistemas agroflorestais com um dos manejos possíveis para produção de sombra, mas é recomendado que estudos devem ser realizados para diferentes variedade e espaçamento da cultura, bem como para diferentes altitude e clima de cada região produtora, com objetivo de avaliar os potenciais efeitos desta prática de manejo, bem como a necessidade de radiação solar da cultura. A hipótese é que com sombreamento contribuindo para a redução da temperatura do ambiente, ocorre influência na dinâmica da água do solo, uma vez que com menores temperaturas a evapotranspiração das plantas tende a ser menor.

Diante do exposto, com o presente trabalho objetivou-se avaliar o efeito do sombreamento como prática mitigadora e de adaptação às mudanças climáticas globais na cultura de *Coffea arabica*. Como objetivos específicos procurou-se avaliar como o manejo de sombra interfere no regime hídrico e da temperatura do solo e a interferência da sombra na evapotranspiração da cultura do cafeeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área experimental

O experimento foi instalado na propriedade rural Boa Safra cultivada com diferentes variedades de *Coffea arabica*, no município de Paula Cândido, Minas Gerais (Figura 1). A sede do município de Paula Cândido encontra-se nas coordenadas geográficas 20° 52' 26" S e 42° 58' 48" O. O município pertence à Microrregião de Viçosa e à Mesorregião da Zona da Mata, região reconhecida pela cafeicultura como Matas de Minas.

Para o estudo foram selecionados dois talhões (Figura 2), um com a variedade IAC-125, com plantas de idade 5,5 anos, e outro com a variedade Acauã, com idade de 6,5 anos (Figura 2). O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa. O clima da região é considerado como do tipo Cwb, ou seja, clima tropical de altitude, segundo a classificação de Köppen (KÖPPEN; GEIGER, 1928) e a altitude do local é de 760 m. O espaçamento entre as plantas de café das variedades selecionadas é de 0,7 m por 2,8 m, com densidade em torno de 5102 plantas por hectare. O solo é sempre mantido coberto na propriedade, pelo frequente manejo da vegetação espontânea. O experimento teve início em setembro de 2016.

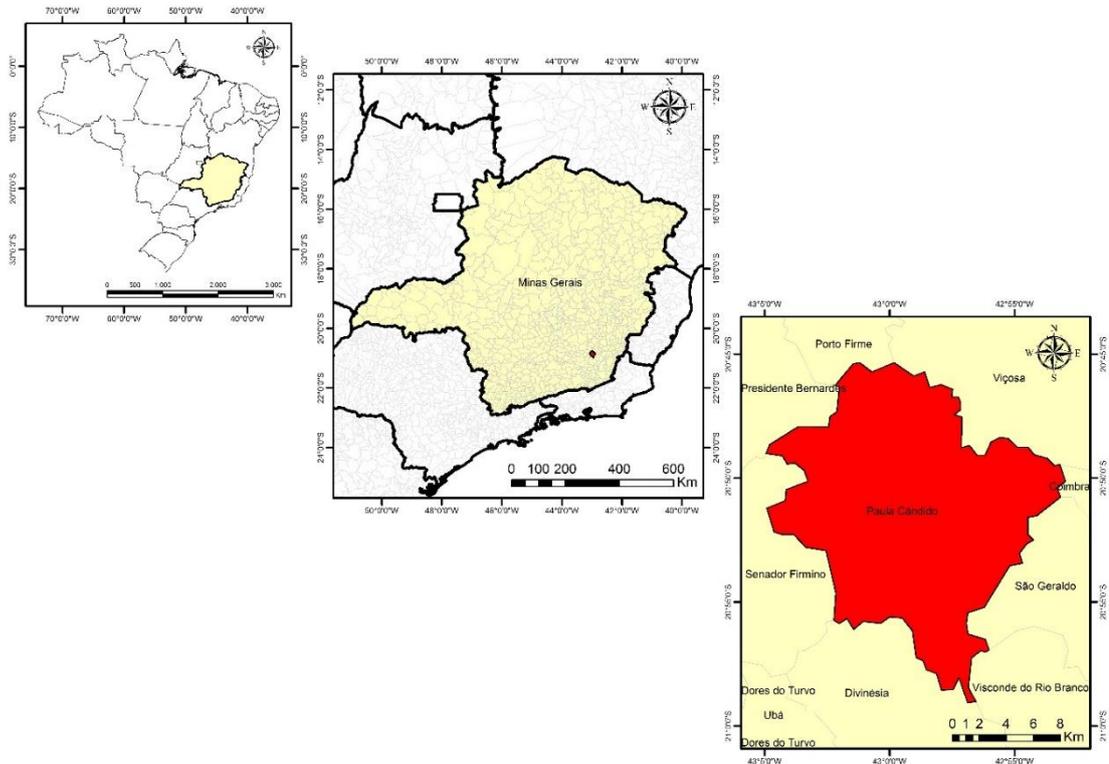


Figura 1 – Imagem da localização do município de Paula Cândido-MG. Fonte: João Paulo B. de Oliveira.

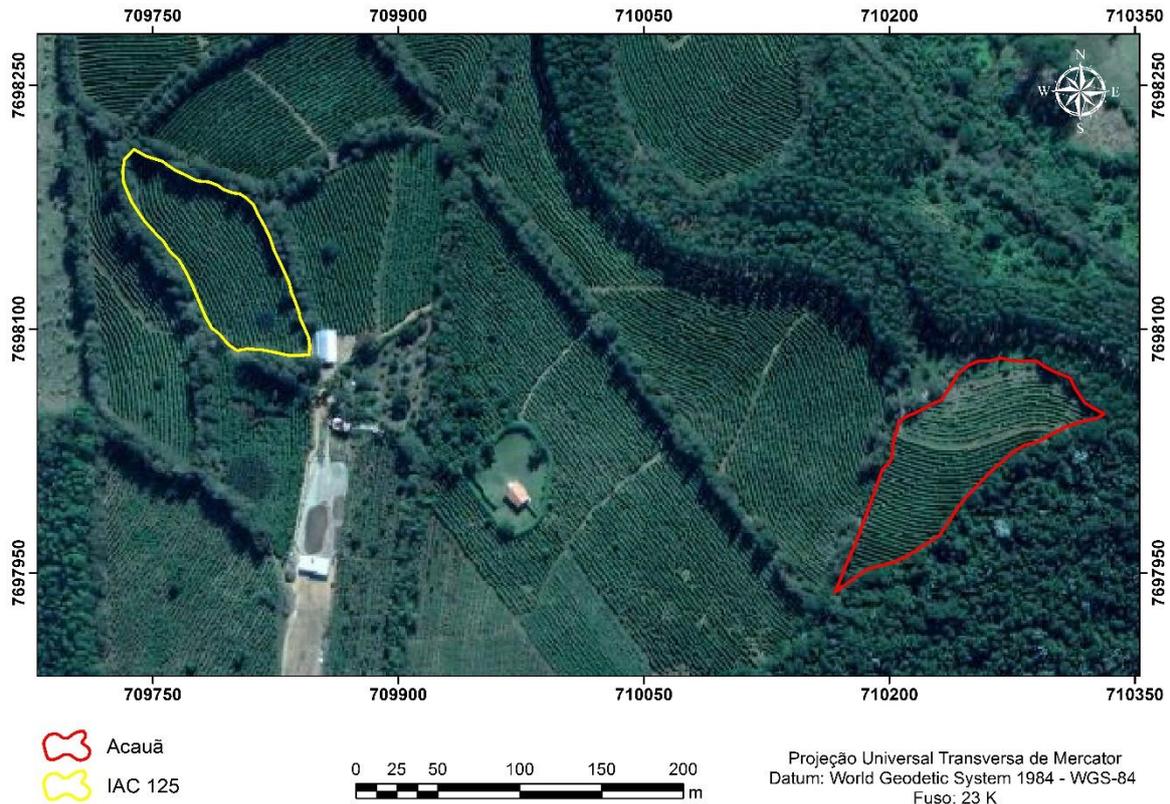


Figura 2 – Imagem da propriedade rural com identificação dos talhões de café com a variedade Acauã (polígono vermelho) e IAC-125 (polígono amarelo) no município de Paula Cândido-MG. Fonte: João Paulo B. de Oliveira.

Instalação e calibração dos sensores de solo

No interior de cada talhão foi definida uma área de trabalho de 160 m². Esta foi dividida em duas parcelas: uma metade recebendo a instalação de uma tela tipo sombrite, promovendo sombreamento em torno de 38 - 40 % para simular o efeito do sombreamento na cultura (Figura 3), enquanto a outra metade foi mantida a pleno sol. A tela sombrite foi opção para o estudo, uma vez que muitos pesquisadores não conseguem discernir os efeitos da sombra com os demais benefícios ambientais promovidos pelos sistemas agroflorestais (SAF's).

No centro de cada uma das quatro áreas, foi aberta uma trincheira a fim de se efetuar a avaliação e classificação do perfil de solo (Figura 4) e instalar os sensores de umidade e temperatura do solo (Figura 5).

Os sensores de umidade foram instalados nas profundidades de 20, 50 e 100 cm, e os de temperatura do solo, na profundidade de 40 cm. Os sensores de umidade e temperatura foram acoplados a um *datalogger* para o armazenamento dos dados, e a uma bateria como fonte de energia (Figura 6).



Figura 3 – Parcela avaliada com o detalhe da tela “sombrite” instalada no talhão de café para simular o sombreamento.



Figura 4 – Perfil da trincheira aberta para coleta de amostras de solo, classificação e instalação dos sensores.



Figura 5 - Detalhe da instalação dos sensores de umidade e temperatura (tipo TDR) no interior da trincheira.



Figura 6 - Conjunto de sensores acoplados ao datalogger e à bateria para o armazenamento dos dados.

Na parte central de cada parcela, foram ainda instalados um sensor de temperatura do ar e uma estação meteorológica, visando a obtenção dos dados meteorológicos.

A calibração dos sensores de umidade do solo utilizados em campo foi efetuada em uma amostra de solo indeformada coletada na área experimental, com o auxílio de um tubo de PVC de 10 cm de diâmetro e 40 cm de comprimento. De cada profundidade avaliada com os sensores foi retirada uma amostra para a calibração das leituras dos sensores.

Para a calibração, cada tubo foi inicialmente submetido à saturação e, posteriormente, receberam os mesmos sensores de campo para o monitoramento da perda da umidade com o passar do tempo. O processo de tomada de dados era efetuado após 2 h de leitura da umidade. Finalizada a leitura, já estabilizada ao final dessas duas horas, os tubos eram pesados e então encaminhados para uma estufa mantida a 60° C para a secagem das amostras. A cada 12 h os tubos eram retirados da estufa e recebiam os sensores que monitoravam por novas 2 h a umidade. Ao final deste tempo a umidade era registrada e o tubo era pesado. O procedimento durou 22 dias e os dados de umidade e massa do tubo foram utilizados para a confecção da curva de calibração, sendo que os dados de umidade obtidos em base gravimétrica (kg kg^{-1}) foram transformados em base volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$).

O monitoramento térmico e hídrico do solo e da evapotranspiração foi conduzido entre 21 de setembro de 2016 e 21 de outubro de 2017, totalizando um pouco mais de um ano de avaliação.

Caracterização dos solos

Amostras de solo foram coletadas para a caracterização física e química do solo. As análises físicas realizadas foram: análise granulométrica, porosidade total (PT), macroporosidade (MA), microporosidade (MI), densidade do solo (DS) e de partículas (DP), condutividade hidráulica do solo saturado e curva de retenção de água no solo (CRA). As amostras foram retiradas nas profundidades de 0 a 10 cm, 10 a 30 cm, 40 a 60 cm e 90 a 110 cm. A amostra mais superficial foi destinada à caracterização do solo dos cafezais, sendo correspondente à região mais adubada durante o cultivo. As demais três camadas amostradas (10-30 cm, 40-60 cm e 90-110 cm) foram destinadas a caracterização da região monitorada pelos sensores de umidade do solo, os quais foram instalados no perfil dos solos nas profundidades de 20, 50 e 100 cm de profundidade.

Todas essas análises físicas foram realizadas de acordo com Donagemma et al. (2011) sendo que a CRA foi elaborada segundo modelo de van Genuchten, (1980) com auxílio do *software* SWRC (DOURADO-NETO et al., 2001).

Os resultados obtidos na análise granulométrica indicam a prevalência da fração argila sobre as demais (Tabela 1), sendo todas as amostras pertencentes à classe textural Muito Argilosa. Os teores similares de areia, silte e argila são indicativos da similaridade dos solos nas duas áreas contíguas avaliadas, onde as duas variedades foram comparadas.

A estrutura do solo nas áreas das duas variedades e em todas as profundidades avaliadas indicam não haver problemas de compactação (Tabela 1). Os valores de densidade do solo, condutividade hidráulica do solo saturado, porosidade e água disponível (diferença entre os valores de umidade na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente) são compatíveis com solos sem restrição ao crescimento vegetal.

As análises químicas de rotina realizadas (Tabela 2) foram: pH em água e em KCl, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), acidez trocável (Al^{3+}), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC potencial (T), saturação por bases (V%) e fósforo remanescente (P-rem). Sendo todas essas realizadas segundo Defelipo e Ribeiro (1997).

As profundidades de amostragem para a caracterização química foram as mesmas utilizadas na caracterização física das amostras de solos.

Os dados químicos obtidos indicam a boa fertilidade das áreas das duas variedades (Tabela 2) na camada mais superficial avaliada, justamente a que recebe os corretivos e fertilizantes utilizados na manutenção da cultura do cafeeiro. Merecem destaque os altos valores de pH e teores de P disponível e de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis. Como esperado, nas camadas mais profundas a fertilidade foi reduzida. De todos os modos os atributos químicos nas primeiras profundidades são considerados adequados para o desenvolvimento do cafeeiro, que tem concentração da maior parte das raízes até 10 a 20 cm de profundidade.

Análises dos teores foliares e da produção do cafeeiro

Com o objetivo de se avaliar o efeito do sombreamento sobre a nutrição das plantas dos cafeeiros, amostras de tecido vegetal foram coletadas em novembro de 2017 para a análise dos teores foliares. A coleta, preparo e interpretação dos resultados foram efetuadas de acordo com o recomendado por Martinez et al.(1999).

Tabela 1 – Caracterização física do solo da área experimental em cada profundidade e variedade de café avaliada

Variedade	Prof. cm	Areia -----	Silte kg kg ⁻¹	Argila -----	MI ---- m ³ m ⁻³ ----	MA -----	PT -----	DP g cm ⁻³ -----	DS -----	K ₀ cm s ⁻¹	PMP ----- m ³ m ⁻³ -----	CC -----	m	n	α
IAC-125	0-10	Nd	nd	nd	0,43	0,16	0,59	2,45	1,00	0,00224	0,22	0,36	0,5150	2,0620	0,3030
	10-30	0,31	0,02	0,67	0,42	0,19	0,61	2,51	0,98	0,00252	0,24	0,35	0,3274	1,4867	1,2501
	40-60	0,33	0,02	0,65	0,39	0,20	0,59	2,34	0,94	0,01408	0,22	0,37	0,3306	0,494	0,6545
	90-110	0,28	0,02	0,70	0,41	0,18	0,59	2,46	1,01	0,00541	0,21	0,36	0,3861	1,5063	0,6632
Acauã	0-10	Nd	nd	nd	0,38	0,20	0,58	2,35	0,98	0,01385	0,18	0,37	0,4510	1,8210	0,4040
	10-30	0,34	0,06	0,60	0,41	0,17	0,58	2,29	0,95	0,01272	0,20	0,35	0,2868	1,4022	0,9774
	40-60	0,25	0,02	0,73	0,36	0,26	0,62	2,36	0,91	0,02396	0,21	0,33	0,3450	1,5268	0,999
	90-110	0,28	0,02	0,70	0,40	0,20	0,60	2,38	0,96	0,00330	0,23	0,36	0,3647	1,5742	0,5478

nd: não disponível, porosidade total (PT), macroporosidade (MA), microporosidade (MI), densidade do solo (DS) e de partículas (DP), condutividade hidráulica em meio saturado (K₀); PMP (ponto de murcha permanente) e CC (capacidade de campo), e parâmetros da equação de van Genuchten: m (restrição de Mualen), e os ajustes da curva “n” e “α”.

Tabela 2 – Caracterização química do solo da área experimental em cada profundidade e variedade de café avaliada

Variedade	Prof. cm	pH	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	P-rem
		H ₂ O	KCl	mg dm ⁻³		----- cmol _c dm ⁻³ -----					%	mg L ⁻¹		
IAC-125	0-10	6,57	6,12	9,8	206	5,16	1,56	0	2,6	7,25	7,25	9,85	73,6	21,2
	10-30	6,94	6,41	1,0	206	2,73	0,59	0	1,4	3,85	3,85	5,25	73,3	11,4
	40-60	5,01	4,23	0,7	196	0,54	0,12	0,88	8,5	1,16	2,04	9,66	12,0	11,3
	90-110	4,90	4,35	0,9	139	0,75	0,20	0,59	6,9	1,31	1,90	8,21	16,0	13,3
Acauã	0-10	6,89	nd	19,0	126	10,73	1,40	0	2,6	12,45	12,45	15,05	82,7	24,8
	10-30	4,94	4,94	2,4	172	4,12	0,88	0	7,1	5,44	5,44	12,54	43,4	17,9
	40-60	4,30	4,30	1,0	106	1,11	0,30	0,49	8,2	1,68	2,17	9,88	17,0	13,2
	90-110	4,94	4,27	0,2	28	0,31	0,14	0,49	6,0	1,01	1,01	6,52	8,0	10,9

Nd: não disponível; P e K disponíveis extraídos com solução Mehlich-1; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ extraídos com KCl 1 mol L⁻¹; H+Al extraído com solução de acetato de cálcio a pH 7,0; SB: soma de bases, t: CTC efetiva, T: CTC potencial a pH 7,0, V: saturação de bases; P-rem: fósforo remanescente.

Dados de produção também foram coletados no período da colheita do ano 2017. Para isto, duas plantas representativas e posicionadas no centro das áreas demarcadas (sombreada e a pleno sol) tiveram os frutos colhidos em separado do restante da lavoura, e o peso fresco foi mensurado. A massa do café colhido foi quantificada em kg ha⁻¹ e convertida posteriormente em sc ha⁻¹.

Balanco de água no solo e evapotranspiração real

O efeito dos tratamentos impostos sobre a dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera durante pouco mais de um ano de avaliação (21/09/2016 a 21/10/2017) foi avaliado pelo método do balanço hídrico (LIBARDI, 2005) para as duas variedades de café nas duas condições avaliadas com relação a exposição das plantas a incidência de radiação solar. O armazenamento da água no solo foi calculado a partir da regra do trapézio e os dados de drenagem profunda e, ou, ascensão capilar foram estimadas a partir da equação de Darcy-Buckingham definida por Buckingham (1907). Apenas os fluxos verticais da água no solo foram considerados neste estudo, uma vez que toda a área é terraceada em nível. Desta forma, o deflúvio superficial foi desprezado, dada a suavidade do terreno nas linhas de plantio, bem como também as análises físicas terem indicado alta capacidade de infiltração de água no solo.

O armazenamento da água no solo foi calculado a partir da equação:

$$\pm\Delta h = P - E_{Tr} + AC - DREN,$$

em que: $\pm\Delta h$: mudanças no armazenamento de água do solo no perfil de 1 m de profundidade; P: precipitação (mm); E_{Tr} : evapotranspiração real da cultura (mm); AC: ascensão capilar (mm); e DREN: drenagem abaixo da camada de 1 metro (mm).

Não foi possível a obtenção da evapotranspiração (E_{Tr}) pelo método padrão FAO-Penman-Monteith. Desta forma, a E_{Tr} foi calculada utilizando-se o método de Hargreaves e Samani (HARGREAVES; ALLEN, 2003). Apesar do método citado apresentar melhor correlação em regiões semi-áridas, o período experimental apresentou um acumulado de chuvas muito inferior ao normal para a área, com comportamento semelhante à região do semi-árido brasileiro.

Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas com o uso do *software* R Cran[®] (R Development Core Team, 2017). Quando as variáveis seguiram a distribuição normal, a comparação entre tratamentos foi realizada pelo teste Tukey a 5 % de significância, caso

contrário, a comparação de médias entre tratamentos foi realizada com o teste não paramétrico de Wilcoxon a 5 % de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo é um grande compartimento dinâmico de água, com entradas e saídas, podendo ser fonte de água para culturas ou exercer o papel de armazenador em casos de excesso. Vários fatores determinam essa dinâmica da água no solo e para fazer frente a potenciais incrementos de temperatura, decorrente das mudanças climáticas globais, o sombreamento nas plantas de café foi testado como prática mitigadora, buscando simular efeito, por exemplo, de sistemas agroflorestais que possam a vir a ser implantados na cultura do cafeeiro.

Temperatura do ar e evapotranspiração real da cultura (ETr)

Esperava-se que o sombreamento reduzisse a temperatura do ar ao nível do dossel das lavouras, proporcionando diminuição da evapotranspiração das plantas (ETr) e afetando o regime térmico e hídrico do solo em diferentes profundidades. Tal expectativa foi confirmada para a temperatura do ar (Figura 7) durante todo o período avaliado. As temperaturas médias na área de café a pleno sol foram sempre superiores às da área sombreada com a variedade Acauã, com redução da temperatura do ar na parcela sombreada variando de 0,08 a 1,83 °C, e com média das reduções diárias de 0,85 °C.

Na variedade IAC-125 RN, ainda que em algumas poucas oportunidades, a temperatura do ar tenha sido maior na parcela sombreada, em termos gerais predominou reduções na temperatura com o sombreamento com valores médios de 0,41 °C. Na mesma variedade, o máximo de redução na temperatura com o sombreamento foi de 5,7 °C.. Em geral, a redução das temperaturas médias foi devido à diminuição das temperaturas máximas no manejo sombreado. As temperaturas mínimas foram pouco afetadas em ambos os manejos. Notou-se que em alguns momentos para o manejo IAC, quando havia queda brusca de temperatura (provável chegada de frente fria) para o manejo a pleno sol, as temperaturas médias diárias no manejo sombreado foram superiores às do manejo ao sol. E ainda, cabe a observação de que a temperatura média do ar ao longo do ano, independente do manejo está dentro da faixa considerada ideal para a cultura do café arábica, que é de 18 a 22 °C (DAMATTA; RAMALHO, 2006; CAMARGO, 2010).

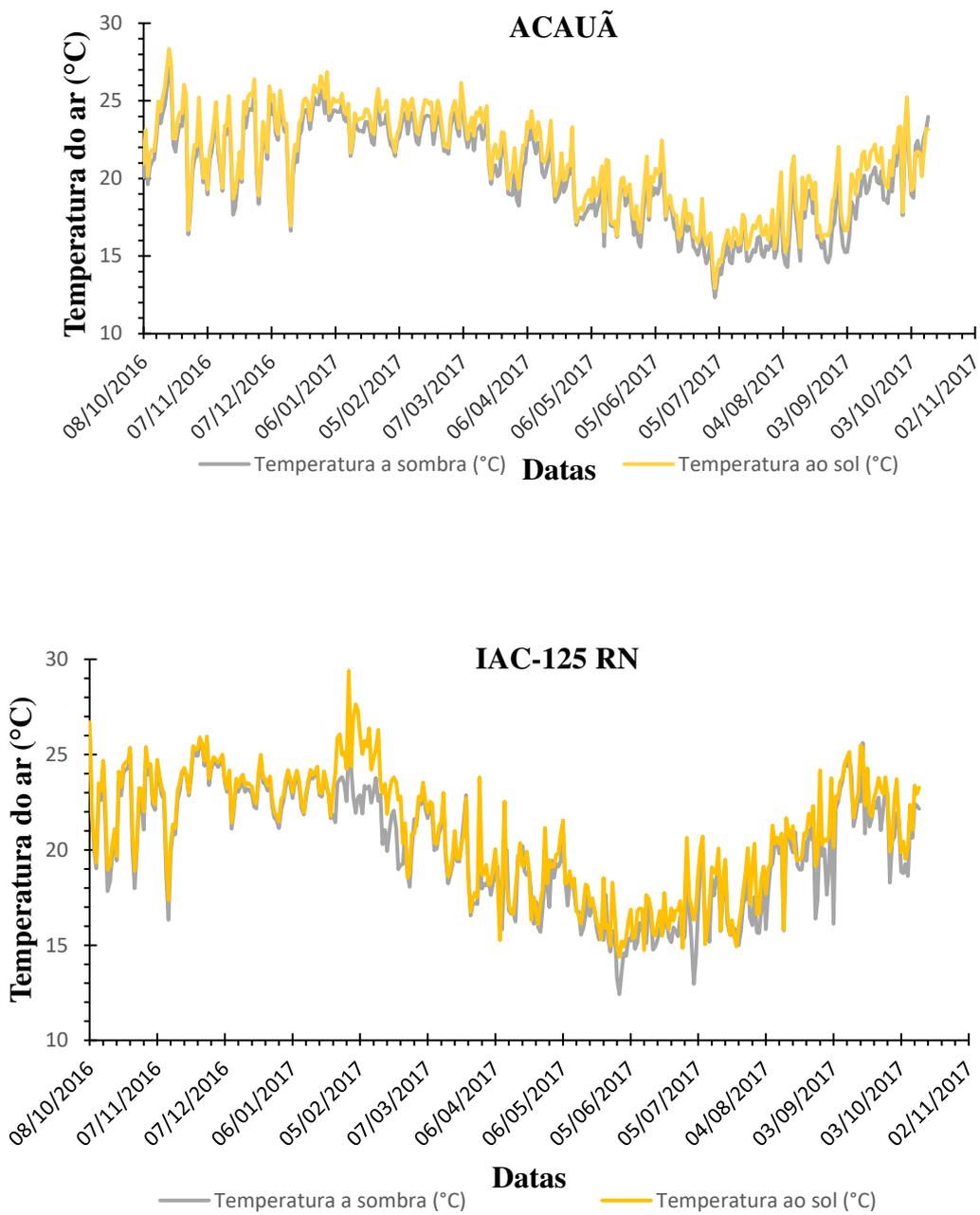


Figura 7 – Variação da temperatura do ar no interior do dossel das lavouras de café, a pleno sol e à sombra, das variedades “Acauã” e “IAC-125 RN” ao longo do período de análise na propriedade Boa Safra no município de Paula Cândido-MG.

Segundo levantamentos realizados por Damatta et al., (2018), a temperatura média mundial aumentou cerca de 0,85°C desde o século XVIII, já Sansigolo e Kayano, (2010) observaram que para a região Sudeste do Brasil a segunda metade século XX e o início do século XXI, apresentaram aumento que pode chegar até a 0,6 °C por década. Dessa forma, a contribuição da tela sombrite foi efetiva na redução da temperatura, de forma a minimizar em partes o reflexo das mudanças globais. A temperatura do ar pode ser limitante ao crescimento, desenvolvimento e qualidade dos frutos de café. Um levantamento realizado por alguns pesquisadores indicam que a média anual deve estar entre os 18 e 22 °C (DAMATTA; RAMALHO, 2006; CAMARGO, 2010). Longos períodos de exposição com temperaturas superiores a 23 °C, já são suficientes para a degradação da qualidade do fruto, e temperaturas acima de 30 °C são prejudiciais para o desenvolvimento do fruto (DAMATTA; RAMALHO, 2006; CAMARGO, 2010).

Resultados utilizando manejo de sombra como mitigador do aumento da temperatura na cultura tem sido obtido por alguns pesquisadores, seja com a utilização de tela sombrite, (JARAMILLO-BOTERO et al., 2010) ou de sistemas agroflorestais (SAF's) em consórcio com outras culturas (CAMPANHA et al., 2005; MOREIRA et al., 2018).

Também como esperado, o sombreamento reduziu a evapotranspiração real da cultura do cafeeiro em todos os dias avaliados (Figura 8). Na variedade Acauã a média das reduções diárias da ETr foi de 0,53 mm dia⁻¹, com valores de redução variando de 0,03 a 1,06 mm dia⁻¹. Na variedade IAC-125 o sombreamento reduziu a ETr em 0,51 mm dia⁻¹, com valores de redução variando de 0,015 a 1,42 mm dia⁻¹. Em termos percentuais a presença da sombra na lavoura proporcionou redução na evapotranspiração de 10 % e 8 % respectivamente nas variedades Acauã e IAC-125, quando comparado a lavoura cultivada a pleno sol. A utilização de sombrite manteve a mesma redução de radiação que chegava às plantas ao longo do ano. No entanto, é importante ressaltar, que é mais comum a utilização de manejos agroflorestais (SAF's) para o sombreamento do cafeeiro. Entre as principais vantagens que o SAF tem sobre a tela, estão os serviços ambientais, como aumento da infiltração de água (MEYLAN et al., 2017) e ainda a diminuição do sombreamento em momentos críticos para a cultura, com consequente aumento da taxa fotossintética (COELHO et al., 2010). Outro fator, que tem sido deixado de lado em pesquisas relacionadas à cafeicultura, deve-se ao fato da refletância devido à cor do sombrite. A cor mais utilizada nos trabalhos é a preta, devido à facilidade de ser encontrada e os custos. No entanto, pesquisas relacionadas à horticultura vem dando destaque a implicação da cor utilizada para o manejo de sombra. Li et al. (2017) notaram que houve

aumento na produção de hortaliças com maior demanda de luz no inverno quando a tela sombrite usada foi de cor vermelha.

Em um cenário atual de tendência ao aumento da temperatura global, juntamente com a diminuição de chuvas, assim como a imprevisibilidade das mesmas, faz-se necessário além da redução da temperatura (com a utilização da sombra, já discutido) a redução também do consumo e perda de água na cultura (MOAT et al., 2017). A ETr é reflexo da demanda por água da planta em função da temperatura do ar. Maiores temperaturas exigem maior consumo de água pelas plantas, de forma que a diminuição da temperatura proporciona a redução da ETr da cultura. LIN (2010) encontrou valores de redução da ETr sob diferentes quantidades de sombra em SAF, sendo que a partir dos 50 % de sombreamento, a redução da ETr passa a ser insignificante, podendo também afetar a sanidade e produtividade do cafeeiro.

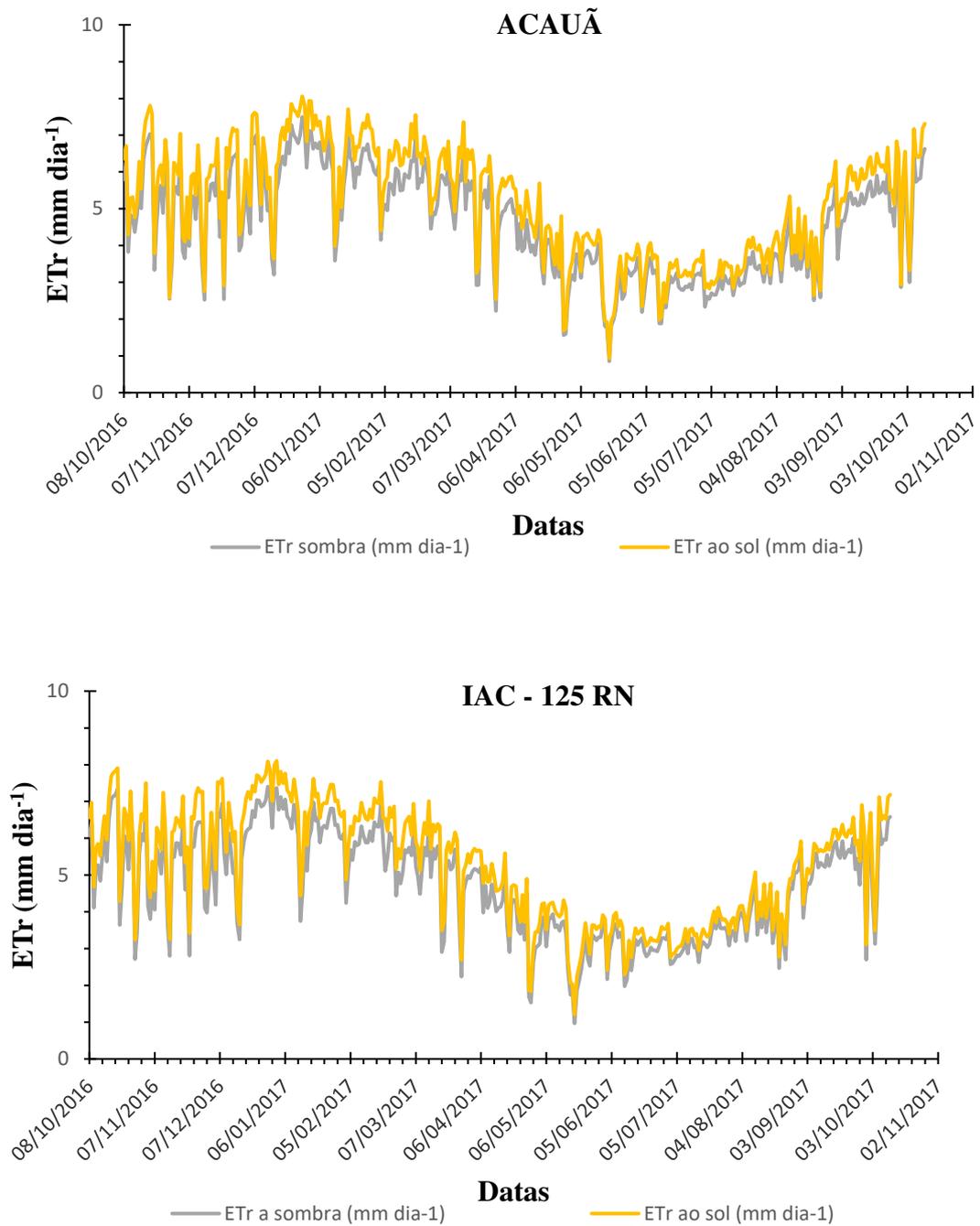


Figura 8 – Variação da evapotranspiração real (ETr) nas lavouras de café, a pleno sol e à sombra, das variedades “Acauã” e “IAC-125 RN” ao longo do período de análise na propriedade Boa Safra no município de Paula Cândido-MG.

Como pode ser observado na Figura 8, a evapotranspiração real (ETr) das plantas de café foi afetada pela radiação incidente nas duas variedades avaliadas. Em média nas duas variedades estudadas, a sombra reduziu em 9 % a ETr, o que foi determinante para a menor demanda de água pelas plantas das duas variedades de cafeeiro avaliadas (Tabela 3). O efeito da menor disponibilidade de radiação incidente que contribui para a redução da ETr também foi verificada por Lin (2010), que observou que tal redução crescia a medida que se aumentava o sombreamento, até chegar em torno de 50 %, e a partir deste ponto, a redução na ETr não seria mais significativa.. Este tipo de redução é importante em cenários de menor disponibilidade hídrica, como aqueles previstos no contexto das mudanças climáticas globais. Embora o valor da redução na ETr, que em média é 9 % (8% para IAC-125 RN e 10 % para Acauã), possa parecer pouco expressivo, na verdade representa, em nível global, relevante economia de água no sistema solo-planta-atmosfera, com potenciais impactos na sustentabilidade da cultura do café frente a cenários futuros menos favoráveis.

A redução nos valores de ETr são também associadas às menores temperaturas do solo e do ar verificados no manejo com sombra (Tabela 3). Menores temperaturas reduzem a demanda evapotranspirativa das plantas.

Os menores valores de ETr no manejo com sombra compensaram a menor precipitação efetiva abaixo do sombrite. As menores ETr também implicaram na menor ascensão capilar da água no perfil do solo nos tratamentos com sombra (Tabela 3). Essa água que ascendeu por capilaridade visou atender a demanda evapotranspirativa da cultura do cafeeiro e deixou de abastecer o lençol freático.

Dinâmica térmica e hídrica do solo

Os efeitos do sombreamento também puderam ser verificados na temperatura do solo, mesmo medida a 40 cm de profundidade (Figura 9). A média das reduções diárias da temperatura do solo com o sombreamento foram de 1,24 °C e 0,45 °C nos solos das áreas com as variedades Acauã e IAC-125 RN, respectivamente. A maior redução da temperatura com o sombreamento foi de 7,57 °C na variedade Acauã, verificada no dia 09/10/2016, e de 1,19 °C na variedade IAC-125 RN, no dia 03/10/2017, ambos menos de um mês após a instalação, e portanto, coincidindo com a fase de acomodação do solo após a perfuração. Para a variedade Acauã entre os dias 11 a 19/10/2016, a temperatura do solo à sombra foi superior à do sol. Porém no restante do período este fato não se repetiu. Já na variedade IAC – 125 RN, em todos os momentos, a temperatura do solo foi inferior em relação ao manejo com sombra. Com exceção dos oito dias de outubro de 2016, os resultados corroboram com os encontrados por Moraes et al., (2006) que

utilizou o sombreamento através de SAF. As reduções encontradas no presente trabalho foram devidas à interceptação da radiação que chegava à superfície do solo pela tela sombrite, e não pelo acúmulo de palhada, comum em SAF's.

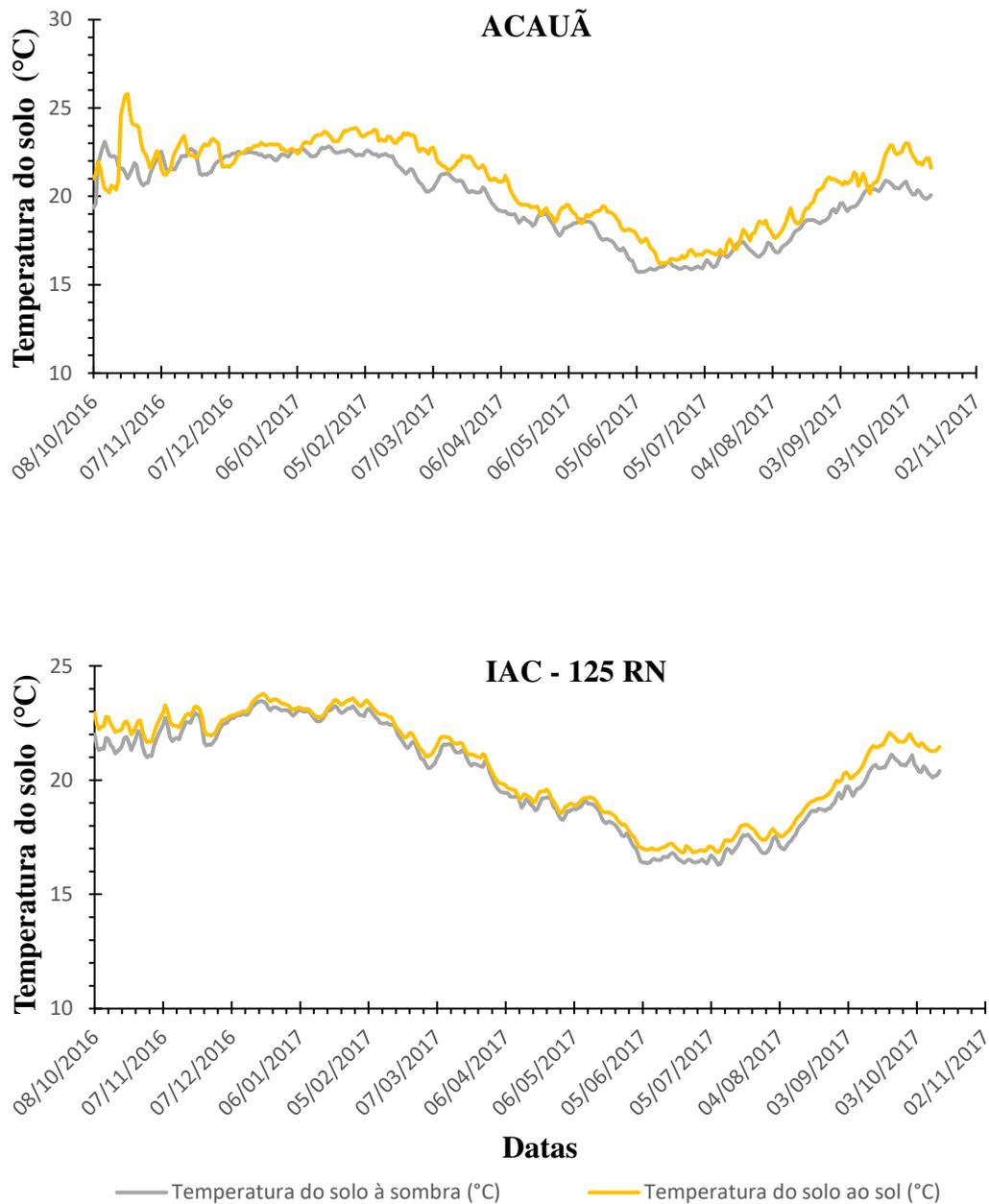


Figura 9 – Variação da temperatura do solo a 40 cm de profundidade nas lavouras de café, a pleno sol e à sombra, das variedades “Acauã” e “IAC-125 RN” ao longo do período de análise na propriedade Boa Safra no município de Paula Cândido-MG.

Durante o período de avaliação (setembro - 2016 a outubro - 2017) a precipitação ocorreu abaixo do esperado para a região de Viçosa-MG, onde segundo Guimarães et al., (2010), a média histórica encontra-se em torno de 1.350 mm ano⁻¹. O município de Paula Cândido-MG, onde o experimento foi realizado é vizinho a Viçosa-MG, e fica localizado a distância de 16 km, em linha reta. Portanto, de acordo com a representatividade das estações meteorológicas considerada pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), é razoável a utilização dos dados históricos do município de Viçosa, devido as cidades se encontrarem à distância inferior a 50 km, sendo, portanto possível o uso dos dados como referência para toda a microrregião.

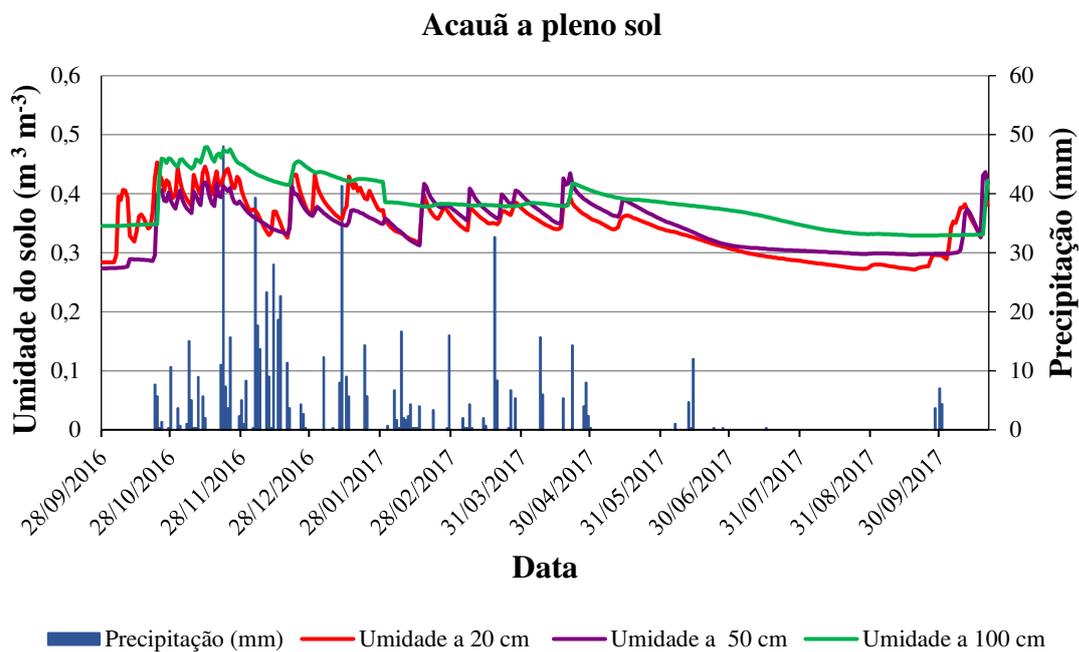
Enquanto a precipitação acumulada na área da lavoura com manejo a pleno sol foi de 677 mm, representando 50,15 % da média histórica anual; na área do manejo com sombra o volume foi de 588,7 mm, ou seja, de 43,6 % da média histórica. A menor precipitação na área sombreada era esperada, tendo em vista a interceptação pela tela sombrite, fato que também ocorre em um sistema agroflorestal implantado.

O café arábica é exigente em umidade, sendo sua região de origem, com médias de precipitação superiores a 1600 mm ano⁻¹ (DAMATTA; RAMALHO, 2006; MOAT et al., 2017). Essa drástica redução da precipitação na região de Viçosa, e aliado à tendência de aumento de temperatura possui grande potencial de prejuízos à cafeicultura na região. Segundo Damatta et al., (2018), a seca é considerada o pior problema ambiental para o café, e aliada a altas temperaturas, tornam-se severos limitantes da atividade.

As observações de campo não indicaram qualquer tipo de déficit hídrico das plantas de café nas duas variedades e condições de radiação avaliadas. Segundo Damatta e Ramalho, (2006) os efeitos da seca não são visualizados imediatamente, desenvolvendo-se lentamente, aumentando a intensidade conforme a continuidade do estresse hídrico. Entretanto, em situação de eventual déficit hídrico, as plantas sob sombra apresentarão melhores condições para seu desenvolvimento, tendo em vista a menor demanda de água verificada nessas condições. Outro fator que merece destaque na preservação da água no solo, é o manejo adotado na propriedade. O controle de vegetação espontânea é realizado somente pela roça, mantendo os restos culturais no campo, minimizando as perdas por evaporação do solo. Tal prática vem sendo adotada com sucesso em regiões que apresentam déficit hídrico em parte do ano (SANTOS et al.,; 2008)

A dinâmica da umidade do solo em resposta à precipitação diária em cada área com as duas variedades de cafeeiro e as duas condições de exposição à radiação solar, nas profundidades avaliadas, podem ser observados nas Figuras 10 e 11.

(a)



(b)

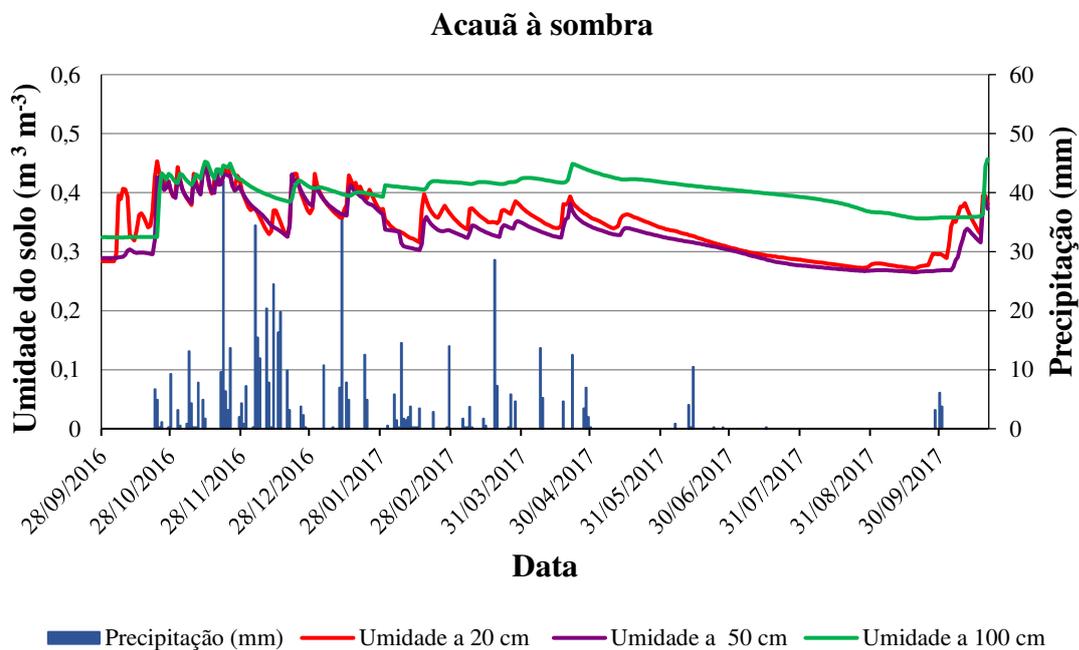
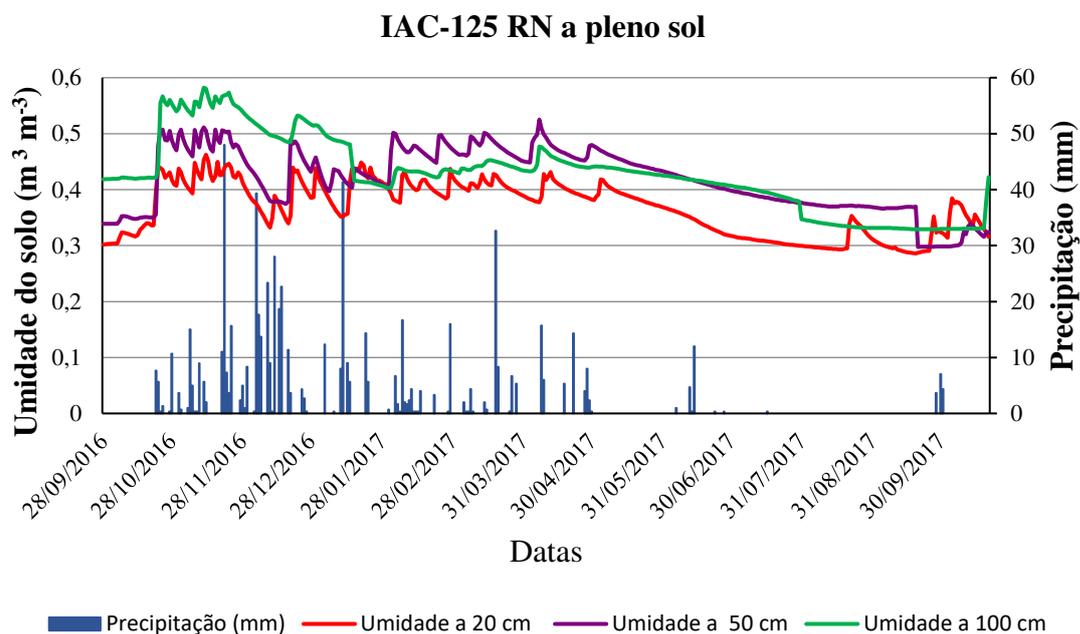


Figura 10 – Variação da umidade do solo nas profundidades de 20 cm, 50 cm e 100 cm e precipitação (mm) ao longo do período de análise para a variedade Acauã manejada a pleno sol (a) e à sombra (b) na propriedade Boa Safra no município de Paula Cândido-MG.

a



b

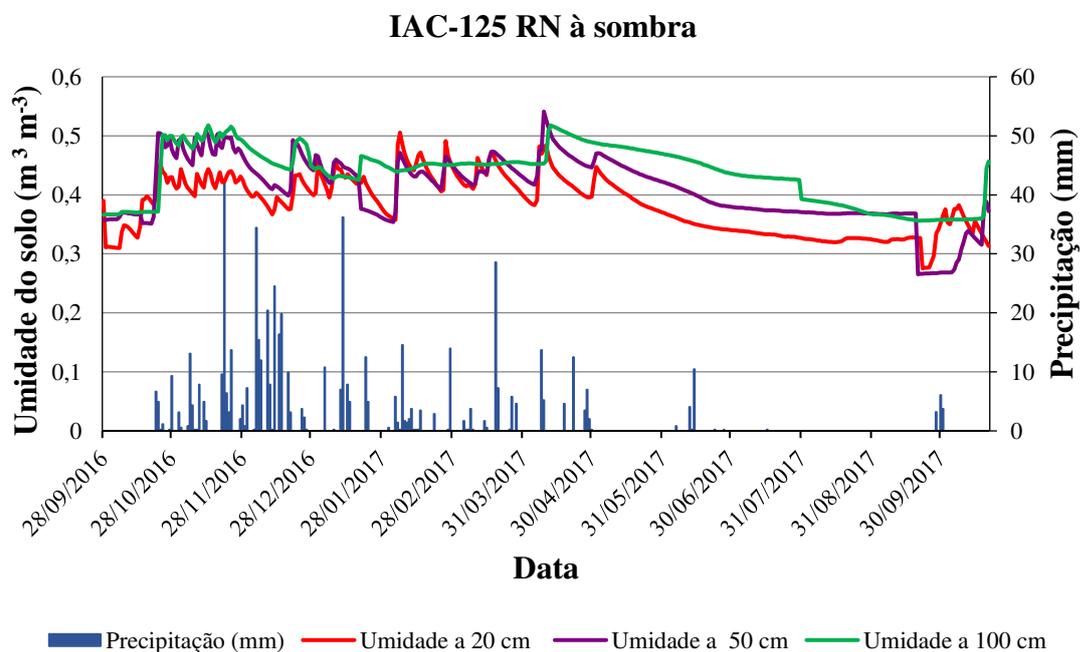


Figura 11 – Variação da umidade do solo medidas a profundidades de 20 cm, 50 cm e 100 cm e precipitação (mm) ao longo do período de análise para a variedade IAC-125 manejada a pleno sol (a) e à sombra (b) na propriedade Boa Safra no município de Paula Cândido-MG.

Na variedade Acauã, independente do manejo utilizado (Figuras 10a e 10b), a profundidade de 100 cm manteve-se mais úmida que a 20 e 50 cm praticamente ao longo de todo o período observado. A diferença em relação ao manejo foi observada nas profundidades mais superficiais. Quando analisado o comportamento da umidade do solo a 20 cm (Figura 10a), esta foi maior no manejo a pleno sol do que a 50 cm entre no período compreendido entre 28/09/2016 a 30/01/2017, que coincide com o período de maior precipitação, demonstrando que parte do volume de chuvas ficou retido mais à superfície, e não infiltrou até as camadas mais profundas. Em torno do dia 18/02/2017 até 03/10/2017 (período seco), a profundidade a 20 cm tornou-se a mais seca, demonstrando maior perda de água. Já no manejo à sombra (Figura 10b), o período de tempo em que a profundidade de 20 cm esteve mais úmida do que a 50 cm em teor de umidade foi maior, sendo de 06/10/2016 a 23/10/2016, seguido por um período onde os valores de umidade entre as duas profundidades foi semelhante até 14/02/2017. A partir daí até o último dia de observações a camada de 20 cm voltou a apresentar maior umidade. Vale ressaltar que, na profundidade de 100 cm, o manejo a sombra apresentou maior umidade do que a pleno sol a partir do dia 28/01/2017 até o final do período de análise (Figuras 10a e 10b). Este fato pode ser um indicativo de menor demanda de água nas camadas superficiais, reduzindo a ascensão capilar.. Já na profundidade mais superficial, a dinâmica diferente ocorrida entre os tipos de manejo pode ser explicada pelo tamponamento exercido pelas menores temperaturas do ar à sombra, contribuindo para a menores ETr e evaporação da água do solo, semelhante ao esperado em um sistema com preservação de serapilheira. Em estudos realizados por Neves et al., (2007) e Coelho et al., (2010), o comportamento da camada superficial sombreada durante o verão foi semelhante ao encontrado no presente trabalho, com a umidade maior na camada superficial com manejo de sombra. Porém durante a estação seca, observaram que a camada superficial ao sol se tornou mais úmida que à sombra. Entretanto, ambos utilizaram o sombreamento proporcionado por espécies arbóreas em SAF's. A menor umidade encontrada por estes autores na camada sombreada é um reflexo da demanda de água do cafeeiro e das árvores, demandando mais água no sistema sombreado.

Na variedade IAC – 125 RN a pleno sol (Figura 11a), a camada de 100 cm se manteve a mais úmida por um menor período de tempo quando comparado ao IAC – 125 RN a sombra (Figura 11b). Do início do experimento até 15/01/2017, entre 25/06/2017 a 30/07/2017 e após o dia 19/10/2017 até o último dia de experimento foram os momentos onde a camada mais profunda apresentou os maiores teores de umidade. Entre os dias 28/09/2017 a 20/10/2017 a camada com maior umidade foi a de 20 cm. No início do período de estiagem, a camada de 50 cm apresentou maior umidade entre 04/02/2017 a 01/06/2017 e 30/07 a 19/09. Nos demais

períodos, a camada de 100 cm foi a predominante em umidade. Quando analisada a parcela submetida ao sombreamento (Figura 11b), foi observado que a camada de 100 cm foi a predominante em teores de umidade, com alguns dias de exceção entre o intervalo de 31/01/2017 a 28/03/2017. Já a camada mais superficial foi também a mais seca durante a maior parte do período de avaliação, com alguns dias de exceção entre o mês de fevereiro a março e os últimos dias de avaliação. No geral, na parcela com a variedade IAC – 125 a camada mais seca foi a de 20 cm, independente do manejo utilizado. Mas é importante destacar, que os teores de umidade nessa camada sombreada foram superiores ao da área a pleno sol, demonstrando uma proteção à perda dessa água por evaporação devido à sombra. Estes resultados se diferem de Moreira et al., (2018), que encontrou maior umidade para a camada superficial a sombra e ao sol durante a estação seca, também na região de Viçosa (MG).

Maior umidade em camadas mais profundas é indicativo de que a água está chegando a camadas mais profundas podendo haver reabastecimento da água subterrânea. Pode-se relacionar o fato da camada de 100 cm se manter mais úmida no manejo a sombra devido ao menor requerimento de água pelas plantas (ETr) e menor evaporação da água no solo que no manejo a pleno sol.

A grande quantidade de dados (mensuração diária) expressa nas Figuras 10 e 11 torna difícil a avaliação da dinâmica da água no solo. Desta forma, a integração dos dados na forma de armazenamento da água no perfil até 1 metro de profundidade facilita mais a comparação das variedades e das condições de exposição das plantas à radiação solar avaliadas. Nesta avaliação, o armazenamento de água no solo dentro de cada variedade apresentou discreta diferenciação quanto ao manejo adotado (Figura 12). A entrada de água via precipitação nas áreas das duas variedades foi apenas afetada pelo uso do sombrite, sendo de 677 mm no manejo a pleno sol, e de 588,7 mm no manejo à sombra. A redução de precipitação com o sombrite foi de cerca de 13 % (78,3 mm) do total precipitado, interceptação essa que pode ocorrer em sistemas agroflorestais manejados com a intenção de mitigar efeitos das mudanças climáticas sobre a cultura do cafeeiro. No entanto, apesar da tela ter sido responsável pela redução da precipitação que chegava ao cafeeiro, ela também proporcionou redução da ETr, fazendo com que houvesse economia de água superior ao total interceptado de 10 % (198 mm) e 8% (191 mm), economizando cerca de 120 e 113 mm para as variedades Acauã e IAC – 125 RN, respectivamente.

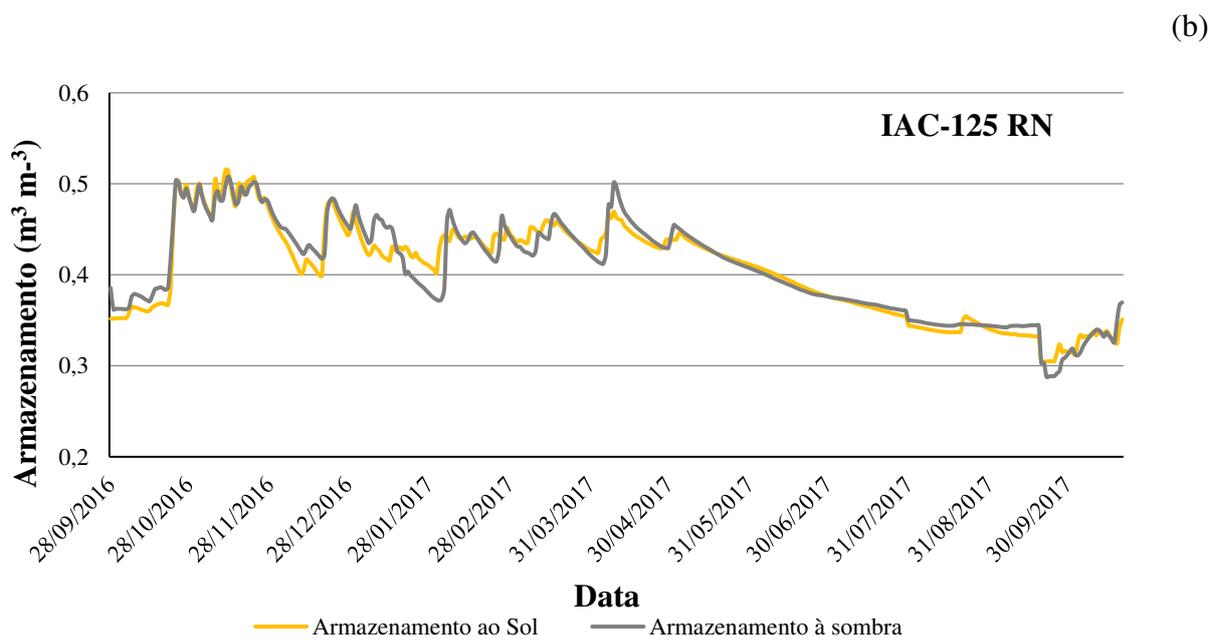
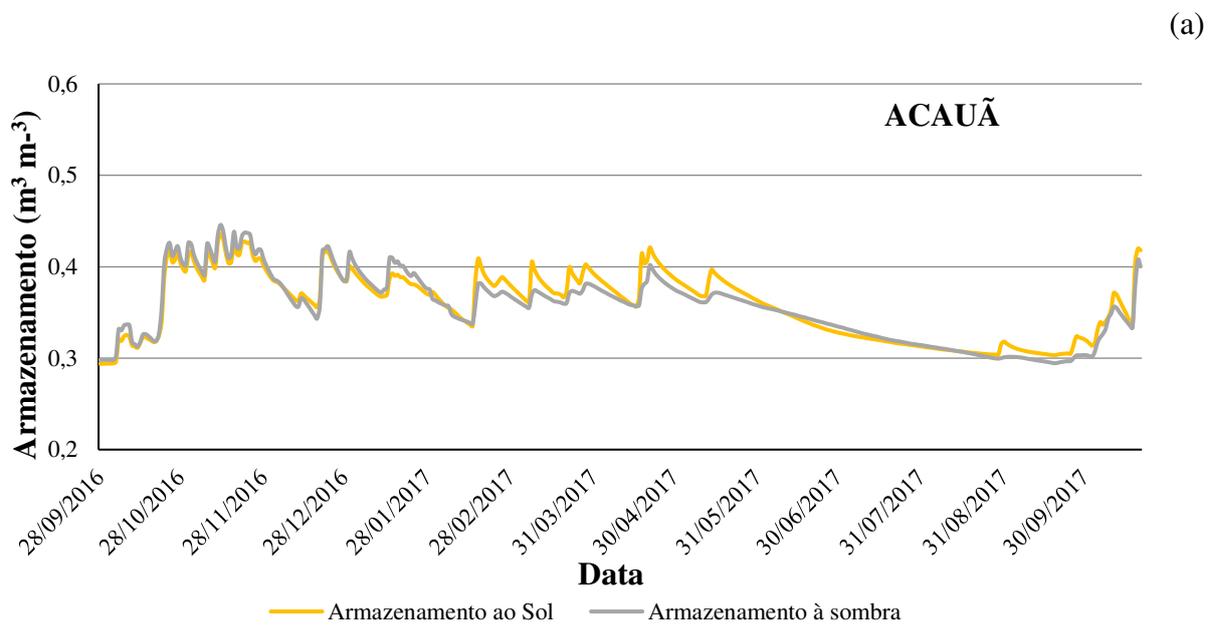


Figura 12 – Variação do armazenamento de água no solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) desde a superfície até 1 m de profundidade ao longo do período de análise para as variedades de cafeeiro Acauã (a) e IAC-125 RN (b) nos manejos a pleno sol e à sombra, na propriedade Boa Safra no município de Paula Cândido-MG.

Outro ponto de observação nas Figuras 10b e 11b, é que há uma maior homogeneidade da umidade ao longo do tempo que se comparadas com as Figuras 10a e 11a. A maior homogeneidade ocorre em ambas as variedades quando receberam o sombreamento, demonstrando melhor suprimento de água à cultura nos períodos secos do ano. Na variedade Acauã houve diferença no armazenamento de água para os dois manejos (Tabela 3). A parcela sob sombreamento apresentou maior valor de armazenamento ao longo do ano que a parcela ao sol. Para o IAC – 125 RN, não houve diferença quanto ao armazenamento

Diante do exposto, atribui-se às diferenças de exposição das plantas a radiação solar (pleno sol e sombreado) aos efeitos verificados na evapotranspiração real das duas variedades de cafeeiro e no balanço entre o armazenamento da água no solo e na drenagem profunda.

A comparação entre os valores diários ao longo do ano no armazenamento de água no solo (Δh) entre as áreas manejadas a pleno sol e à sombra indicou não haver diferenças na variedade IAC-125 (Tabela 3). Por sua vez, no manejo com sombra da variedade Acauã o solo apresentou maior armazenamento de água do que no cultivo a pleno sol.

Na comparação entre as duas variedades, foi observado maior armazenamento de água no solo na área cultivada com a variedade IAC-125. Segundo a ficha técnica, a variedade Acauã esta variedade é mais tolerante ao estresse hídrico (CONSÓRCIO PESQUISA CAFÉ, 2011), e esta pode ser a razão pelo menor armazenamento de água nesta área. Em sendo mais tolerante à seca, a variedade pode ser mais eficiente no uso da água, sendo capaz de acessar mais umidade do solo do que a IAC-125 RN.

Um fator relevante para essa dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera é a temperatura do solo. O manejo da cultura do cafeeiro à sombra em ambas as variedades avaliadas proporcionou menor temperatura do solo ao longo do ano (Tabela 3). A condução de calor no solo depende do seu conteúdo de água (PREVEDELLO, 2010) , sendo que quanto maior a umidade, maior a inércia do solo em manter a temperatura. Dessa forma os menores valores de temperatura do solo a 40 cm de profundidade na área sombreada podem ser explicados pela menor radiação incidente e pelos maiores teores de água mantidos no perfil deste solo com este manejo.

Tabela 3 - Variáveis do balanço de água no solo, armazenamento e temperatura média do ar e do solo ao longo do período experimental em áreas com as variedades de cafeeiro “Acauã” e “IAC-125” nos manejos a pleno sol e à sombra, na propriedade Boa Safra no município de Paula Cândido-MG

Variedade	Manejo	Balanço		Δh m ³ m ⁻³	Temperatura	
		ETr ----- mm -----	DREN e AC -----		do ar (°C)	do solo (°C) ⁽¹⁾
Acauã	Sombra	1325,8	703	0,357 a	20,23 a	19,82 b
	Pleno sol	1213	786,8	0,350 b	21,05 b	20,81 a
IAC-125	Sombra	1224,6	636,2	0,415 a	20,31 b	20,18 b
	Pleno sol	1365	677	0,414 a	20,91 a	20,67 a

Médias seguidas de mesma letra dentro da mesma variedade de café não diferem entre si pelo teste não-paramétricos de Wilcoxon a 5 % de significância.

ETr: evapotranspiração real da cultura; Balanço DREN e AC: resultante da diferença total no período considerado entre drenagem (DREN) e ascensão capilar (AC), sendo que dados positivos indicam AC e negativos DREN; Δh : valores médios do armazenamento diário de água no solo ao longo do período avaliado.

⁽¹⁾ Temperatura medida a 40 cm de profundidade

Análise de tecido vegetal e produtividade

Em avaliações do efeito de manejos que alteram a quantidade de radiação incidente sobre culturas, sempre é necessário avaliar os possíveis efeitos de tais práticas sobre o estado nutricional das plantas e sobre a produtividade da lavoura.

As análises dos teores foliares dos cafeeiros das duas variedades e condições de radiação avaliadas não revelou diferenças significativas entre os manejos (Tabela 4). Desta forma, a imposição do sombreamento não proporcionou perda do status nutricional da cultura do cafeeiro para as duas variedades avaliadas. Todos os teores foliares obtidos (Tabela 4) encontram-se dentro da faixa ideal, de acordo com Martinez et al. (1999), para que a cultura de café manejado com o sombreamento possa alcançar alta produtividade. Foi realizada um teste de médias Tukey a 5 % de significância e não foi constatado nenhum efeito do manejo (sol ou sombra) sobre os teores foliares. Campanha et al., (2005) no entanto, encontrou menores valores de N P e K no tecido vegetal de plantas que receberam sombreamento, porém ainda se mantinham como aceitáveis dentro da classe de fertilidade citada como parâmetro acima.

Tabela 4 - Avaliação do estado nutricional de folhas de cafeeiro em áreas com as variedades “Acauã” e “IAC-125” nos manejos a pleno sol e à sombra, na propriedade Boa Safra no município de Paula Cândido-MG

Variedade	Manejo	N	S	g kg ⁻¹			
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	P	K
IAC-125	Sombra	31,2	10,7	27,8	3,7	3,9	21,5
	Sol	35,2	11,9	27,2	4,3	3,6	21,3
Acauã	Sombra	32,0	8,7	21,0	2,5	3,2	22,0
	Sol	31,4	12,7	28,8	2,6	3,7	20,9

Alguns estudos que indicam que há uma modificação na fisiologia do cafeeiro a partir do sombreamento. Casos de aumento de área foliar com adoção do sombreamento são relatados por Campanha et al. (2005), Jaramillo-Botero et al. (2010), Meylan et al. (2017). Estes autores relatam que as modificações na planta começam a surgir a partir de três anos de experimento, com diminuição da produtividade no sistema sombreado. Também relatam que sob o manejo sombreado verifica-se redução da bienalidade do cafeeiro, podendo ser esse um fator compensatório.

Não foi verificada diferença na produção da variedade IAC-125 RN nos dois manejos avaliados. Enquanto no manejo a pleno sol a produtividade foi de 78,2 sc ha⁻¹, no manejo sombreado foi de 78,95 sc ha⁻¹. Para a variedade Acauã, o sombreamento reduziu a produtividade do cafezal de 32,2 sc ha⁻¹, no manejo a pleno sol, para 24,3 sc ha⁻¹, no manejo sombreado. Meylan et al. (2017) e Moreira et al. (2018) não observaram diminuição da produtividade de cafeeiros no manejo sombreado sob SAF. No entanto, Campanha et al. (2005) e Jaramillo-Botero et al. (2010) observaram a diminuição da produtividade com o aumento do sombreamento. Tais divergências em resultados podem ser devidos à variedade estudada, idade da planta, fatores climáticos, bienalidade da produção e espécies arbóreas utilizadas no sombreamento.

Uma observação de campo que merece destaque foi a observação de frutos de café na área manejada sob sombra requerendo maior tempo para o amadurecimento e consequente maior proporção de frutos verdes na colheita. Todavia, tal característica não foi objeto de investigação no presente estudo.

CONCLUSÕES

O manejo da sombra é capaz de reduzir a temperatura do ar, do solo e a evapotranspiração real da cultura do cafeeiro, revelando seu potencial como prática mitigadora dos efeitos das mudanças climáticas.

O sombreamento não afeta o estado nutricional das plantas do cafeeiro, mas pode reduzir a produtividade de certas variedades. Disto resulta a importância da avaliação de genótipos quando se pretende utilizar o sombreamento como prática na cultura do cafeeiro.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, S. A. C. E.; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 7, n. 4, p. 463–472, 2009.
- BEZERRA, F. M. L.; ANGELOCCI, L. R.; MINAMI, K. Coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico para a cultura da batata nas condições edafoclimáticas da região de Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 3, p. 322–326, 1999.
- BUCKINGHAM, E. **Studies on the movement of soil moisture**. Washington, DC: Bureau of Soils, , USDA, 1907. v. 38
- CAMARGO, M. B. P.. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 239–247, 2010.
- CAMPANHA, M. M. SANTOS, R.; FREITAS, G. et al. Growth and yield of coffee plants in agroforestry and monoculture systems in Minas Gerais, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 63, n. 1, p. 75–82, 2005.
- COELHO, A. NAOMI, S. LEMOS, L. et al. Nível de sombreamento , umidade do solo e morfologia do cafeeiro em sistemas agroflorestais. **Revista Ceres**, v. 57, n. 1, p. 95–102, 2010.
- CONSÓRCIO PESQUISA CAFÉ. **Acauã**. 2011. Disponível em: <<http://www.consorcioquesquisacafe.com.br/index.php/tecnologias/cultivares/490-acaua>>. Acesso em: 30 nov. 2018.
- DAMATTA, F. M.; AVILA, R.; CARDOSO, A. et al. Physiological and Agronomic Performance of the Coffee Crop in the Context of Climate Change and Global Warming: A Review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, p. acs.jafc.7b04537, 2018.
- DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n. 1, p. 55–81, mar. 2006.
- DEFELIPO, B. V.; RIBEIRO, A. C. **Metodologia de análise química do solo**. 2. ed. Viçosa MG: Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D.V.B.; CALDERANO, S. et al. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2 revisada ed. Embrapa. 203p. 2011.
- DOURADO-NETO, D. et al. **Soil Water Retention Curve-SWRC**. Piracicaba SP, 2001.

- GUIMARÃES, D. P.; REIS, R. L.; LANDAU, E. C. Índices pluviométricos em Minas Gerais. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, v. 30, p. 90, 2010.
- HARGREAVES, G. H.; ALLEN, R. G. History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 129, n. 1, p. 53–63, 2003.
- IPCC, INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Working Group II Contribution to the IPCC 5th Assessment Report. Volume II: Regional Aspects. Yokohama: 2014
- JARAMILLO-BOTERO, C. et al. Production and vegetative growth of coffee trees under fertilization and shade levels. **Scientia Agricola**, v. 67, n. 6, p. 639–645, dez. 2010.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. **Verlag Justus Perthes**, 1928.
- LI, T.; BI, G. LeCOMPTE, J. et al. Effect of Colored Shadecloth on the Quality and Yield of Lettuce and Snapdragon. **HortTechnology**, v. 27, n. 6, p. 860–867. 2017.
- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da Água no Solo**. 2. ed. Piracicaba: EdUsp, 2005.
- LIN, B. B. The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 150, n. 4, p. 510–518, 2010.
- MAPA, M. DA A. P. E A. **Café no Brasil — Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira>>. Acesso em: 29 abr. 2017.
- MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose Foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V, V. H. (Eds.). . **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Comissão de Fertilidade do Estado de Minas Gerais. p. 183-168. 1999.
- MEYLAN, L.; GARY, C. ALINNE, C. et al. Evaluating the effect of shade trees on provision of ecosystem services in intensively managed coffee plantations. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 245, n. March, p. 32–42, 2017.
- MOAT, J. WILLIAMS, J. BAENA, S. et al. Resilience potential of the Ethiopian coffee sector under climate change. **Nature Plants**, v. 3, 2017.
- MORAIS, H.; CARAMORI, P.; RIBEIRO, A. et al. Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeon pea in Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 5, p. 763–770, maio 2006.
- MOREIRA, S. L. S.; PIRES, C.; MARCATTI, G. et al. Intercropping of coffee with the palm tree, macauba, can mitigate climate change effects. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 256–257, n. March, p. 379–390, 2018.
- NEVES, Y. P.; MARTINEZ, H.; SOUZA, C. et al. Teor de água e fertilidade do solo com cafeeiros cultivados em sistemas agroflorestais. v. 31, n. 4, p. 575–588, 2007.
- PETTRY, M. T. ; ZIMMERMMAN, F.; CARLESSO, R. *et al.* Disponibilidade de água do solo ao milho cultivado sob sistemas de semeadura direta e preparo convencional. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 531–539, 2007.

- PREVEDELLO, C. L. Energia térmica do solo. In: VAN LIER, Q. J. (Org.). **Física do Solo**. Sociedade ed. Viçosa MG. p. 177-212. 2010. .
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R Foundation for Statistical Computing**, 2017.
- RONCHI, C. P. SOUSA JUNIOR, L.; ALMEIDA, W. et al. Respostas ecofisiológicas de cafeeiros submetidos ao déficit hídrico para concentração da florada no Cerrado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 50, n. 1, p. 24–32, 2015.
- SANSIGOLO, C. A.; KAYANO, M. T. Trends of seasonal maximum and minimum temperatures and precipitation Southern Brazil for the 1913–2006 period. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 101, n. 1–2, p. 209–216, 2010.
- SANTOS, J. C. F.; MARCHI, G.; MARCHI, E. C. S. **Cobertura do Solo no Controle de Plantas Daninhas do Café**. Planaltina DF: Embrapa Cerrados, 2008.
- VAN GENUCHTEN, M. T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **oil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 892–898, 1980.
- ARAÚJO, S. A. C. E.; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 7, n. 4, p. 463–472, 2009.
- BEZERRA, F. M. L.; ANGELOCCI, L. R.; MINAMI, K. Coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico para a cultura da batata nas condições edafoclimáticas da região de Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 3, p. 322–326, 1999.
- BUCKINGHAM, E. **Studies on the movement of soil moisture**. Washington, DC: Bureau of Soils, , USDA, 1907. v. 38
- CAMARGO, M. B. P.. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 239–247, 2010.
- CAMPANHA, M. M. SANTOS, R.; FREITAS, G. et al. Growth and yield of coffee plants in agroforestry and monoculture systems in Minas Gerais, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 63, n. 1, p. 75–82, 2005.
- COELHO, A. NAOMI, S. LEMOS, L. et al. Nível de sombreamento , umidade do solo e morfologia do cafeeiro em sistemas agroflorestais. **Revista Ceres**, v. 57, n. 1, p. 95–102, 2010.
- CONSÓRCIO PESQUISA CAFÉ. **Acauã**. 2011. Disponível em: <<http://www.consorcioquesquisacafe.com.br/index.php/tecnologias/cultivares/490-acaua>>. Acesso em: 30 nov. 2018.
- DAMATTA, F. M.; AVILA, R.; CARDOSO, A. et al. Physiological and Agronomic Performance of the Coffee Crop in the Context of Climate Change and Global Warming: A Review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, p. acs.jafc.7b04537, 2018.
- DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n. 1, p. 55–81, mar. 2006.
- DEFELIPO, B. V.; RIBEIRO, A. C. **Metodologia de análise química do solo**. 2. ed. Viçosa MG: Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D.V.B.; CALDERANO, S. et al. **Manual de Métodos de**

Análise de Solo. 2 revisada ed. Embrapa. 203p. 2011.

DOURADO-NETO, D. et al. **Soil Water Retention Curve-SWRC**. Piracicaba SP, 2001.

GUIMARÃES, D. P.; REIS, R. L.; LANDAU, E. C. Índices pluviométricos em Minas Gerais. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, v. 30, p. 90, 2010.

HARGREAVES, G. H.; ALLEN, R. G. History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 129, n. 1, p. 53–63, 2003.

IPCC, INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Working Group II Contribution to the IPCC 5th Assessment Report. Volume II: Regional Aspects. Yokohama: 2014

JARAMILLO-BOTERO, C. et al. Production and vegetative growth of coffee trees under fertilization and shade levels. **Scientia Agricola**, v. 67, n. 6, p. 639–645, dez. 2010.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. **Verlag Justus Perthes**, 1928.

LI, T.; BI, G. LeCOMPTE, J. et al. Effect of Colored Shadecloth on the Quality and Yield of Lettuce and Snapdragon. **HortTechnology**, v. 27, n. 6, p. 860–867. 2017.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da Água no Solo**. 2. ed. Piracicaba: EdUsp, 2005.

LIN, B. B. The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 150, n. 4, p. 510–518, 2010.

MAPA, M. DA A. P. E A. **Café no Brasil — Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira>>. Acesso em: 29 abr. 2017.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose Foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V, V. H. (Eds.). . **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Comissão de Fertilidade do Estado de Minas Gerais. p. 183-168. 1999.

MEYLAN, L.; GARY, C. ALINNE, C. et al. Evaluating the effect of shade trees on provision of ecosystem services in intensively managed coffee plantations. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 245, n. March, p. 32–42, 2017.

MOAT, J. WILLIAMS, J. BAENA, S. et al. Resilience potential of the Ethiopian coffee sector under climate change. **Nature Plants**, v. 3, 2017.

MORAIS, H.; CARAMORI, P.; RIBEIRO, A. et al. Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeon pea in Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 5, p. 763–770, maio 2006.

MOREIRA, S. L. S.; PIRES, C.; MARCATTI, G. et al. Intercropping of coffee with the palm tree, macauba, can mitigate climate change effects. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 256–257, n. March, p. 379–390, 2018.

NEVES, Y. P.; MARTINEZ, H.; SOUZA, C. et al. Teor de água e fertilidade do solo com cafeeiros cultivados em sistemas agroflorestais. v. 31, n. 4, p. 575–588, 2007.

PETTRY, M. T. ; ZIMMERMMAN, F.; CARLESSO, R. *et al.* Disponibilidade de água do solo ao milho cultivado sob sistemas de semeadura direta e preparo convencional. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 531–539, 2007.

PREVEDELLO, C. L. Energia térmica do solo. In: VAN LIER, Q. J. (Org.). **Física do Solo**. Sociedade ed. Viçosa MG. p. 177-212. 2010. .

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R Foundation for Statistical Computing**, 2017.

RONCHI, C. P. SOUSA JUNIOR, L.; ALMEIDA, W. et al. Respostas ecofisiológicas de cafeeiros submetidos ao déficit hídrico para concentração da florada no Cerrado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 50, n. 1, p. 24–32, 2015.

SANSIGOLO, C. A.; KAYANO, M. T. Trends of seasonal maximum and minimum temperatures and precipitation Southern Brazil for the 1913-2006 period. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 101, n. 1–2, p. 209–216, 2010.

SANTOS, J. C. F.; MARCHI, G.; MARCHI, E. C. S. **Cobertura do Solo no Controle de Plantas Daninhas do Café**. Planaltina DF: Embrapa Cerrados, 2008.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **oil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 892–898, 1980.

CAPÍTULO 3

PEGADA HÍDRICA DO CAFÉ ARÁBICA DAS “MATAS DE MINAS” SOB MANEJO DE SOMBRA

PEGADA HÍDRICA DO CAFÉ ARÁBICA DAS “MATAS DE MINAS” SOB MANEJO DE SOMBRA

RESUMO

Estudos relacionados às mudanças climáticas e às cadeias de produção agrícola têm em comum a crescente preocupação com a conservação dos recursos hídricos. Neste cenário destaca-se o conceito da pegada hídrica, que se relaciona à mensuração da quantidade de água necessária para a produção de um determinado produto. Esse conceito vem ganhando espaço como importante indicador do consumo de água das atividades econômicas, em especial em setores de alto consumo de recursos hídricos, como é o caso da agropecuária que, destaca-se como importante componente da balança comercial no Brasil. Dentre as atividades agropecuárias brasileiras, a cafeicultura desponta como uma das mais importantes, muito embora a cultura seja sensível às potenciais mudanças climáticas, em especial ao aumento da temperatura e de períodos de seca. Uma alternativa mitigadora dos efeitos das mudanças climáticas é o chamado manejo de sombra, ainda pouco estudado no Brasil quanto à sua pegada hídrica. Diante do exposto, este estudo objetivou calcular a influência do sombreamento na pegada hídrica da atividade cafeeira na região das Matas de Minas. Com base em dados climatológicos e de produtividade da safra 2017/2018 de uma pequena propriedade de produção cafeeira que utiliza sistema de reuso da água no processamento do café. A pegada hídrica foi calculada para a fase de campo e de beneficiamento do produto. Apesar de reduzir a evapotranspiração do cafeeiro, o sombreamento proporcionou o aumento da pegada hídrica da cultura, uma vez que diminuiu a produtividade. Os dados de pegada hídrica obtidos são expressivos, estando entre os maiores indicados para o setor agropecuário e alcançando valor próximo a $17.000 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$, dos quais mais de 99,9% referem-se à pegada hídrica verde.

Palavras-chave: Sombreamento, Sustentabilidade, Recursos Hídricos.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem sido crescente a preocupação com as consequências ambientais das mudanças climáticas globais, em especial na agricultura, pecuária e silvicultura, que juntos formam um setor de reconhecido grande consumo de água e, portanto, sensível às alterações no meio ambiente.

Neste cenário mundial de preocupação com as questões ambientais, novos conceitos surgiram buscando indicadores para avaliação da sustentabilidade ambiental das atividades econômicas. Um desses conceitos é “Pegada Hídrica”, termo introduzido por Hoekstra e Hung (2002) dentro da perspectiva da utilização e comércio internacional da água por meio das cadeias produtivas. A pegada hídrica é definida como a quantidade de água doce embutida em todo o processo produtivo para a obtenção de um bem ou serviço individual ou até mesmo de um país, sendo também denominada de água virtual (CHAPAGAIN & HOEKSTRA, 2007).

A agricultura é uma atividade que demanda grande volume de água, entretanto, a utilização desse recurso natural não é considerada na composição do preço final dos produtos. Isto é especialmente preocupante para países como o Brasil – um dos grandes produtores mundiais de commodities, dentre as quais se destaca o café como um dos principais produtos agrícolas de exportação.

De modo geral, o cafeeiro exige boa disponibilidade de água no solo ao longo de seu cultivo. O requerimento de água da cultura em campo é conhecido como pegada hídrica verde, sendo obtido via precipitação ou mesmo via irrigação quando se busca explorar o potencial produtivo. Entretanto, o consumo de água da atividade cafeeira não se resume apenas ao seu cultivo, uma vez que para se chegar ao produto final o café ainda passa por outras etapas durante o beneficiamento (SILVA et al., 2014) que demandam consumo de água (pegada hídrica azul) e pode gerar águas residuárias (pegada hídrica cinza).

Nos tempos atuais, é relevante a avaliação da sustentabilidade ambiental da atividade cafeeira no que se refere ao uso de recursos hídricos. Para isto, o gasto total de água nas diferentes etapas da produção (do campo ao produto final), ou seja, todas as pegadas hídricas, devem ser consideradas para se compor a pegada hídrica total do café. Este valor é um referencial importante e que merece ser discutido como componente no custo final do produto, fato que ainda não é realidade no mercado internacional desta e de outras commodities. Isto é especialmente importante diante do agravamento da escassez hídrica

mundial, devendo ser avaliadas formas de se incorporar o valor agregado da água na produção das culturas agrícolas. Toda essa água virtual necessária para a produção de café torna o Brasil não somente um grande país exportador de alimentos, mas também um grande exportador de água.

Apesar de a cafeicultura ser uma das atividades mais desenvolvidas no Brasil, o rendimento da cultura pode ser severamente afetado em períodos de escassez prolongada de água, principalmente em áreas onde os cafeeiros não são irrigados (RONCHI et al., 2015). Estresses hídricos possuem efeito inibidor sobre a fotossíntese e, por conseguinte, afetam a sobrevivência e a produtividade da cultura (ARAÚJO & DEMINCIS, 2009).

Além do aumento de períodos de estiagem, às mudanças climáticas globais estão potencialmente associadas ao incremento da temperatura média do planeta. Neste sentido é relevante a busca por técnicas adaptativas ou mitigadoras desses efeitos em culturas de importância nacional como o cafeeiro, tendo merecido especial atenção o manejo da sombra na cafeicultura (CAMARGO, 2010). O manejo da sombra visa reduzir a temperatura na cultura do cafeeiro e, ao mesmo tempo, reduzir o consumo de água da cultura (DAMATTA & RAMALHO, 2006).

Diante do exposto, este trabalho parte da hipótese que o manejo da sombra é capaz de reduzir a demanda evapotranspirativa do cafeeiro e com isto reduzir a pegada hídrica da cultura. Neste sentido, o presente estudo objetivou avaliar a pegada hídrica total da produção de cafeeiros cultivados sob sombreamento em propriedade agrícola da região das Matas de Minas, em Minas Gerais, Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em uma propriedade rural com o cultivo de *Coffea arabica* situada nas coordenadas 20° 52' 26" S e 42° 58' 48" O, no município de Paula Cândido em Minas Gerais, na região conhecida como região das Matas de Minas, denominação de origem para cafés especiais produzidos em agricultura de montanha em 63 municípios, situada em área de Mata Atlântica, no Leste de Minas Gerais.

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa. A altitude local da propriedade é de 650 m, e o clima da região de estudo é do tipo Cwb, ou seja, clima tropical de altitude, segundo a classificação de Köppen.

Na área experimental foram selecionadas áreas com cafeeiros submetidos ao manejo a pleno sol e ao sombreamento proporcionado pelo uso de tela sombrite preta com

malha de 40 % de interceptação de radiação. Nas duas áreas, plantas da variedade IAC-125 de 5,5 anos de idade eram cultivadas em espaçamento de 2,8 m nas entrelinhas e de 0,7 m entre plantas, totalizando aproximadamente 5.100 plantas por hectare.

Para o cálculo da pegada hídrica foram utilizados dados de produtividade da safra 2017/2018, na qual foram obtidas 88 sc ha⁻¹ no manejo a pleno sol, e 66 sc ha⁻¹ no manejo com adoção de sombra.

O consumo médio de água nos lavadores e descascadores utilizados no beneficiamento dos grãos de café foi estimado. O lavador utilizado na propriedade é do tipo mecânico, que utiliza 0,3 L de água por dm³ de café lavado. O descascamento dos grãos é realizado por via úmida que apresenta consumo médio de 3 a 5 L de água por dm³ de café a ser descascado quando não ocorre o reúso da água (MATOS, 2008). Na propriedade adota-se o sistema de reúso da água dos lavadores, conhecido como SLAR - Sistema de limpeza de água residuária (SILVA et al., 2014). O dimensionamento do SLAR trabalha com aproximadamente 76 % de economia no uso da água na etapa de lavagem dos grãos, sendo o consumo total de água reduzindo para, aproximadamente, 0,6 a 1 L de água por dm³ de café produzido (SILVA et al., 2014; SOARES et al., 2013). Todos os efluentes do beneficiamento são recolhidos e aplicados na lavoura via fertirrigação.

Como na propriedade a água residuária (pegada hídrica cinza) é neutralizada pela adoção da prática da fertirrigação em talhão não utilizado no presente experimento, no cálculo da pegada hídrica final dos tratamentos em estudo foi considerado somente as pegadas hídricas verde e azul.

Para a estimativa da pegada hídrica verde foram utilizados os dados de uma estação meteorológica instalada no local e empregado o método de Hargreaves e Samani (HS) no cálculo da evapotranspiração (ETr) acumulada ao longo de um ano (ano safra 2017/2018). A opção por este método deveu-se à pouca disponibilidade de dados (temperatura do ar) e à adequação a condições de baixa umidade, uma vez que, de acordo Trajkovic & Kolakovic (2010) há relatos de superestimação da ETr quando usado em climas úmidos. Este método apresenta boa correlação com o método padrão (Penman-Monteith-FAO) quando o mesmo for utilizado para climas secos (HARGREAVES & ALLEN, 2003).

De acordo com o registro dos dados da estação meteorológica, a precipitação acumulada durante a safra foi de 677 mm no manejo a pleno sol e de 588,7 mm no manejo com sombra. Tal condição possibilita classificar o clima do período de avaliação como

seco, uma vez que a precipitação média da região gira em torno de 1.350 mm (GUIMARÃES et al., 2010).

Os resultados de ETr foram transformados para volume de água por hectare ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) e os cálculos foram realizados de acordo com a metodologia descrita em Chapagain e Hoekstra (2007), considerando-se as frações médias de rendimento do produto nas etapas de lavagem (0,9), despolpa ou descasca (0,44), degomagem (0,9) e secagem (0,506) para cafés produzidos no Brasil.

No cálculo da pegada hídrica azul foram utilizados apenas os consumos de água do lavador e descascador, uma vez que o talhão não é irrigado. Considerando a adoção de volume de café por volume de água utilizado no processo, os dados de produção foram transformados para a unidade de volume. No cálculo do volume de café foi utilizada a densidade de $0,7 \text{ g cm}^{-3}$ para o produto cru, conforme a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 1978). Desta forma, a produção de café cru em toneladas foi transformada para produção em metros cúbicos, com as posteriores transformações conforme os coeficientes médios de rendimento do produto já descritos (CHAPAGAIN & HOEKSTRA, 2007).

A partir dos dados obtidos, foi possível calcular o consumo de água de toda a cadeia produtiva do cafeeiro, do campo à fase de secagem. O cálculo da pegada hídrica, portanto, contemplou o volume gasto de água para a produção de uma tonelada de café beneficiado ($\text{m}^3 \text{t}^{-1}$). A pegada hídrica total considerou o somatório das pegadas hídricas verde e azul.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de café demanda alto gasto de recursos hídricos (Quadro 1). O manejo do cafeeiro a pleno sol, apesar de ter apresentado maior ETr, proporcionou menor pegada hídrica em relação ao manejo com sombra, uma vez que apresentou maior produtividade.

O efeito do sombreamento na redução da produtividade da cultura cafeeira também foi identificado em estudos no Brasil (CAMPANHA ET AL., 2005; JARAMILLO-BOTERO et al., 2010) e Costa Rica (VAAST et al., 2006). Por outro lado, esse efeito negativo não pode ser generalizado, como revelado pelos estudos realizados no estado do Paraná (MORAIS et al., 2009) e no México (SOTO-PINTO et al., 2000). O estudo brasileiro indicou ausência de efeito do sombreamento na produção e o mexicano incremento na produção com a sombra. Adicionalmente, não podem ser desconsiderados

outros potenciais efeitos positivos do sombreamento em cafeeiros, como a melhoria da qualidade do produto (MANCUSO et al., 2013; VAAST et al., 2006) e a produção de serviços ecossistêmicos (PERFECTO et al., 2005; SOUZA et al., 2012).

Quadro 1. Pegada Hídrica verde, azul e total para o café beneficiado, produtividade da cultura e evapotranspiração (ETr) sob dois diferentes tipos de manejo (a pleno sol e com manejo de sombra)

Manejo	Pegada Hídrica			Produtividade sc ha ⁻¹	Etr mm ano ⁻¹
	Verde	Azul ¹	Total		
	----- m ³ t ⁻¹ -----				
Pleno Sol	13.852,9	9,28	13.862,2	88	1.325,8
Sombra	16.886,1	9,28	16.895,4	66	1.213,7

Especificamente no que se refere à avaliação da pegada hídrica verde, os resultados obtidos são relacionados exclusivamente ao efeito do sombreamento e às suas consequências na cultura em campo. Isto pode ser assegurado, uma vez que a variedade IAC-125 RN nas duas situações avaliadas - a pleno sol e sombreada, encontrava-se em áreas pareadas e próximas, estando sujeitas às mesmas condições climáticas, classe de solo, posição na paisagem e exposição à radiação solar. Neste cenário, a demanda evapotranspirativa das plantas sombreadas foi afetada pela redução da radiação proporcionada unicamente pela restrição de luz proporcionada pelo sombrite. Entretanto, essa redução na evapotranspiração não se traduziu em redução na pegada hídrica como previamente hipotetizado, uma vez que o manejo de sombra reduziu a produtividade e, no conjunto dos efeitos demonstrou ser menos eficiente no uso da água por tonelada de café beneficiado. O uso da sombra aumentou em aproximadamente 18 % a pegada hídrica verde do cafeeiro.

O maior consumo de água da cadeia produtiva do café encontra-se na fase de campo (Quadro 1), causado primordialmente pela demanda evapotranspirativa da cultura. Este volume de água não é considerado nos custos de produção e não faz parte do valor final do produto. Essa constatação tem merecido a atenção de vários especialistas que discutem a sustentabilidade efetiva de processos produtivos, uma vez que a produção não ocorre sem que o requerimento dessa água seja atendido.

As etapas de pós-colheita do café consomem pouco volume de água quando comparadas com o período do cultivo em campo. Mesmo que todas as etapas de processamento pós-colheita do café fossem realizadas por via seca (sem utilização de

água), pequena redução na pegada hídrica total seria verificada, uma vez que a pegada hídrica azul quando o beneficiamento é feito por via úmida representa apenas 0,34% de toda a água requerida no cultivo da cultura (CHAPAGAIN & HOEKSTRA, 2007). Este dado médio indicado pelos autores que avaliaram a pegada hídrica do café que chega na Holanda de diferentes países produtores confirma os dados obtidos no presente estudo, no qual a pegada hídrica azul representou apenas 0,07 % e 0,06 % do requerimento de água, valores obtidos nos cafeeiros cultivados a pleno sol e com manejo de sombra, respectivamente. Os dados dos autores holandeses e os do presente estudo coincidem ao estabelecer que a etapa de cultivo em campo consome mais de 99 % da água requerida para a produção de café.

Apesar de a pegada hídrica azul pouco contribuir para a pegada hídrica total na cultura do café, não se pode desconsiderar a importância de tecnologias que visem a redução e, ou, racionalização do uso da água na cadeia produtiva, principalmente no cenário atual de grande déficit hídrico em grande parte do território brasileiro. Neste sentido, se consideramos a redução de 76 % no consumo de água no processo de lavagem do café com do sistema SLAR implica na economia de $29,4 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ de água.

Os valores de pegada hídrica obtidos para o cafeeiro produzido em ambos manejos (Quadro 1) são coerentes com dados encontrados na literatura. Na produção de café “tipo exportação”, Chapagain e Hoekstra (2007) indicam pegada hídrica de $16.844 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$, considerando atividades do campo até a fase da degomagem.

Como indicado, a menor pegada hídrica total no manejo a pleno sol deve-se primordialmente à maior produtividade média final alcançada neste tratamento, fator que compensou a maior evapotranspiração desta prática de manejo. Desta forma, a maior produtividade de $3,98 \text{ t ha}^{-1}$ no café cultivado a pleno sol reduziu o gasto de água por tonelada de café beneficiado. De todos modos, tanto a pegada hídrica no manejo a pleno solo ($13.862,2 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$) como no manejo sombreado ($16.895,4 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$) foram menores do que a indicada por Chapagain e Hoekstra (2007) para o café beneficiado brasileiro que chega à Holanda ($22.530 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$)

A pegada hídrica em cadeias vegetais normalmente é inferior a estimada para cadeias de produção animal (MEKONNEN & HOEKSTRA, 2010). No entanto, quando se compara a água virtual gasta na produção do cafeeiro, independente do manejo avaliado no presente estudo, supera-se a pegada hídrica da carne de frango ($4.474 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$) e a da carne suína ($7.208 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$). Dos valores encontrados na literatura para as cadeias produtivas brasileiras (agrícola e pecuária) somente a da carne bovina com estimativa de

19.500 m³ t⁻¹ supera a pegada hídrica do café (HOEKSTRA; HUNG, 2002b; MEKONNEN; HOEKSTRA, 2010).

Merece destaque que mais que 99 % da pegada hídrica do cafeeiro estimada no presente estudo tem origem na precipitação e, ou, ascensão capilar no solo, ambos processos dentro do ciclo hidrológico. Mesmo não sendo produto da irrigação, há de se considerar que é um consumo de água, que poderia ter outros destinos no perfil do solo. Ainda assim, os resultados obtidos indicam que o simples aumento da produtividade leva à redução da pegada hídrica verde, tornando mais eficiente o uso da água. Desta forma, práticas que visem aumento da produção, bem como o uso e manejo adequados do solo preservando sua boa qualidade física, e com isto incrementando a infiltração de água, devem ser sempre empregadas visando a reposição da água do solo que é utilizada pela cultura.

Uma das limitações do presente estudo foi a utilização dos dados de apenas uma propriedade rural e ao longo de uma única safra. A estimativa da evapotranspiração (ETr) depende do monitoramento das condições microclimáticas com equipamento especializado, o que dificulta a ampliação do número de observações. Ainda assim, considera-se que os valores obtidos são importante balizador para as discussões acerca da água virtual presente nas commodities brasileiras, revelando o quanto o Brasil exporta de água sem mensurar ou valorar este precioso recurso natural. A água é um insumo em escassez no mundo e a proposição de uma nova lógica no comércio mundial deveria ser fomentada por gestores públicos e privados do país, de forma a valorizar e monetarizar o valor agregado da água virtual presente nos produtos agropecuários exportados. A afirmação de que “a água requerida para se beber café na Holanda não é água holandesa” (CHAPAGAIN & HOEKSTRA, 2007) claramente estabelece que além de produtos agrícolas, o Brasil também exporta água, um outro produto de custo não visível e não remunerado no mercado internacional.

CONCLUSÃO

1. A pegada hídrica do cafeeiro concentra-se na fase de produção em campo.
2. A redução da pegada hídrica do cafeeiro pode ser conseguida com o aumento da produtividade.

3. Quando associada a perdas de produtividade, a redução da demanda evapotranspirativa do cafeeiro com o manejo da sombra não é capaz de reduzir a pegada hídrica da cultura.

REFERÊNCIAS

- ANVISA. **Resolução - CNNPA nº 12- Café Cru**. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/anvisa/legis/resol/12_78_cafe_cru.htm>. Acesso em: 25 jul. 2018.
- CAMARGO, M. B. P. DE. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 239–247, 2010.
- CAMPANHA, M. M. et al. Growth and yield of coffee plants in agroforestry and monoculture systems in Minas Gerais, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 63, n. 1, p. 75–82, 2005.
- CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands. **Ecological Economics**, v. 64, n. 1, p. 109–118. 2007.
- DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n. 1, p. 55–81. 2006.
- GUIMARÃES, D. P.; REIS, R. L.; LANDAU, E. C. Índices pluviométricos em Minas Gerais. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, v. 30, p. 90, 2010.
- HARGREAVES, G. H.; ALLEN, R. G. History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 129, n. 1, p. 53–63, 2003.
- HOEKSTRA, A. Y.; HUNG, P. Q. A quantification of virtual water flows in relation to crop trade. Value of water research report series. **Institute for Water Education**, n. 11, p. 66, 2002a.
- HOEKSTRA, A. Y.; HUNG, P. Q. **Virtual water trade Value of Water**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://waterfootprint.org/media/downloads/Report11.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2018b.
- JARAMILLO-BOTERO, C. et al. Production and vegetative growth of coffee trees under fertilization and shade levels. **Scientia Agricola**, v. 67, n. 6, p. 639–645. 2010.
- MANCUSO, M. A. C.; PERDONÁ, M. J.; SORATTO, R. P. Produção de café

sombreado. **Colloquium Agrariae**, v. 9, n. 1, p. 31–44, 2013.

MATOS, A. T. Tratamento de resíduos na pós-colheita do café. In: BOREM, F. M. (Ed.). **. Pós-colheita do Café**. Lavras: UFLA, 2008. p. 159–201.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. **Value of Water Research Report Series No. 48 Value of Water**. Netherlands: UNESCO-IHE Institute for Water Education, 2010.

MORAIS, H. et al. Sombreamento de cafeeiros durante o desenvolvimento das gemas florais e seus efeitos sobre a frutificação e produção. **Ciência Rural**, v. 39, n. 2, p. 400–406, 2009.

PERFECTO, I. et al. Biodiversity, yield, and shade coffee certification. **Ecological Economics**, v. 54, n. 4, p. 435–446, 2005.

RONCHI, C. P. et al. Respostas ecofisiológicas de cafeeiros submetidos ao déficit hídrico para concentração da florada no Cerrado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 50, n. 1, p. 24–32, 2015.

SILVA, J. S. et al. Lavadores e Sistema de Reúso da Água no Preparo do Café. **Circular Técnica - Embrapa**, v. 4, p. 12, 2014.

SOARES, S. F. et al. Reúso da Água na Produção de Café Cereja Descascado. **Embrapa Café**, v. 1, p. 1–8, 2012.

SOTO-PINTO, L. et al. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 80, n. 1–2, p. 61–69, 2000.

SOUZA, H. N. et al. Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the Atlantic Rainforest biome. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 146, n. 1, p. 179–196, 2012.

TRAJKOVIC, S.; KOLAKOVIC, S. Comparison of simplified pan-based equations for estimating reference evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 136, n. 2, p. 137–140, 2010.

VAAST, P. et al. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, n. 2, p. 197–204, 2006.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A concordância de grande parte da comunidade científica em relação às mudanças climáticas globais faz com que haja necessidade de se repensar o futuro da agricultura. Usos excessivos de insumos e volumes elevados de água demandados na cadeia produtiva indicam os desafios para a atividade econômica e para se alcançar a sustentabilidade por todos almejada.

O surgimento de tecnologias e práticas que racionalizem o uso de insumos e água na agricultura devem ser a tônica envolvida nas propostas que visem a manutenção e melhoria do sistema produtivo, principalmente em países como o Brasil, que se destacam no cenário internacional como grandes produtores de commodities ligadas ao agronegócio. Apesar de muitos estudos em andamento, a desarticulação entre as áreas do conhecimento pode não contribuir para com a solução ou mitigação dos impactos esperados no futuro.

A tecnologia associada ao uso de fertilizantes de liberação controlada é uma alternativa para a minimização de perdas, reduzindo assim as doses e possíveis contaminações de águas superficiais e subsuperficiais. O parcelamento também é uma alternativa para redução das perdas. O presente estudo validou a eficiência de uma única aplicação da ureia de liberação controlada na cultura do café, eficiência que pode ser obtida alternativamente pelo parcelamento em três aplicações do produto tradicional.

Com relação aos cenários de mudanças climáticas globais, manejos que favoreçam a redução de temperatura do ar e conseqüentemente do consumo de água pela cultura, têm sido avaliados em todo o mundo. Dentre esses, o manejo da sombra, sombreamento ou mesmo a arborização, tem-se destacado. Este manejo mostrou-se capaz de reduzir a temperatura do ar, do solo e conseqüentemente a evapotranspiração real da cultura do cafeeiro, reforçando seu potencial como prática mitigadora dos efeitos das mudanças climáticas em um cenário que se espera incrementos de temperatura, que podem alcançar níveis limitantes ou até restritivos para a cultura do cafeeiro. No presente estudo, embora o estado nutricional das plantas do cafeeiro não tenha sido afetado pelo sombreamento, a prática pode levar à redução da produtividade em certas variedades. Disto resulta a importância da avaliação e seleção de genótipos mais adequados para o uso do sombreamento como prática na cultura do cafeeiro.

O conceito da pegada hídrica apresenta uma nova alternativa de mensurar o

consumo dos recursos hídricos na atividade produtiva. A água embutida no processo produtivo e beneficiamento do café deve ser considerada como insumo e seu valor merece ser contabilizado. O presente estudo confirmou que é a fase produtiva de campo a responsável pela maior pegada hídrica do cafeeiro e que incrementos de produtividade reduzem a pegada hídrica da cultura. Como o sombreamento impactou na produtividade, este manejo levou ao aumento da pegada hídrica. Esse conceito da pegada hídrica merece novos estudos e em diferentes condições e variedades do cafeeiro, pois se vislumbram interessantes discussões em um cenário futuro bem próximo, que passe a considerar a água virtual como componente para a definição dos preços dos produtos.