



Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.14, n°.1, p. 3844 – 3853, 2020  
ISSN 1982-7679 (On-line)  
Fortaleza, CE, INOVAGRI – <http://www.inovagri.org.br>  
DOI: 10.7127/rbai.v14n1001093  
Protocolo 1093.20 – 09/06/2019      Aprovado em 30/03/2020

## **AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO SENSORES IoT NA IRRIGAÇÃO DO CAFÉ**

Jefferson Vasconcelos Oliveira De Lima<sup>1</sup>, André Luís Teixeira Fernandes<sup>2</sup>, Eusímio Felisbino Fraga Júnior<sup>3</sup>, Pedro Otávio Honorato Da Cruz<sup>4</sup>, João Pedro Honorato Da Cruz<sup>4</sup>, Márcio José De Santana<sup>5</sup>

### **RESUMO**

Sobre a rentabilidade e equilíbrio dos custos de produção, a cafeicultura passa por sérias dificuldades, necessitando de propostas para ajustes. O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café, cultura muito importante para o Cerrado Mineiro, região de execução deste trabalho. Avaliou-se o consumo de água e energia elétrica em dois manejos de irrigação, sob sistema de gotejamento no cafeeiro (*Coffea arabica* L.). O experimento foi conduzido entre agosto de 2017 e maio de 2018, no DBC com dois tratamentos e doze blocos. Comparou-se o GBI (Growth-Based Irrigation™) manejo remoto da irrigação, que utilizou dois sensores de umidade de solo e um dendrômetro, associados a dados meteorológicos; com o manejo convencional, que utilizou apenas os dados climáticos. As avaliações dos consumos foram realizadas diariamente entre setembro de 2017 e fevereiro de 2018, subdivididas em períodos coincidentes às fases fenológicas floração, chumbinho e granação, com colheita dos frutos em maio de 2018. O método de manejo GBI possibilitou uma melhor otimização da mão de obra na gestão de irrigação, porém consumiu mais água e energia elétrica durante o período de avaliações. Não houve diferença estatística na produção de café entre os tratamentos.

**Palavras-chave:** Sensores de umidade de solo, dendrômetro, cafeicultura, uso racional de água, internet das coisas.

## **EVALUATION OF WATER AND ELECTRICITY CONSUMPTION USING IoT SENSORS IN COFFEE IRRIGATION**

<sup>1</sup> Mestre em Produção Vegetal e Engenheiro-Agrônomo. Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM), Uberaba-MG, e-mail: [jvasclima@hotmail.com](mailto:jvasclima@hotmail.com)

<sup>2</sup> Pró-Reitor de Pesquisa e Graduação da Universidade de Uberaba. Professor do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal. IFTM, Uberaba-MG. Brasil, e-mail: [andre.fernandes@uniube.br](mailto:andre.fernandes@uniube.br)

<sup>3</sup> Professor, Agronomia/Irrigação e Drenagem. ICIAG-UFU, Monte Carmelo-MG. Brasil, e-mail: [eusimiofraga@ufu.br](mailto:eusimiofraga@ufu.br)

<sup>4</sup> Acadêmico de Agronomia. ICIAG-UFU, Monte Carmelo-MG. Brasil, e-mail: [pedrootaviohonorato@gmail.com](mailto:pedrootaviohonorato@gmail.com) / [joaopedrohonorato@gmail.com](mailto:joaopedrohonorato@gmail.com)

<sup>5</sup> Professor, Agronomia/Irrigação e Drenagem. IFTM, Uberaba-MG. Brasil, e-mail: [marciosantana@iftm.edu.br](mailto:marciosantana@iftm.edu.br)

## ABSTRACT

About the profitability and production costs balance, the coffee crops goes through hard difficults, necessitating proposals for adjustments. Brazil is the world's largest producer and exporter of coffee, a very important crop for the Cerrado Mineiro, region of this work. Water and electricity consumption were evaluated in two irrigation managements under the drip system in coffee crop (*Coffea arabica* L.). The experiment was conducted between August 2017 and May 2018, in RBD with two treatments and twelve blocks. Were compared the GBI (Growth-Based Irrigation™) a remote irrigation management, which used two soil moisture sensors and a dendrometer, associated with weather data; and the climatic management, which used are used only climatic data. The daily evaluations were carried out between September 2017 and February 2018, coinciding with the phenological phases of the crop: flowering, pellet and granulation, and the fruit harvest in May 2018. The GBI enabled better manpower optimization in irrigation management, but consumed more water and electricity during the evaluation period. There was no statistical difference in coffee production between treatments.

**Keywords:** Soil moisture sensors, dendrometer, coffee crops, good water use, internet of things.

## INTRODUÇÃO

A cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) passa por sérias dificuldades, no tocante à rentabilidade aos cafeicultores. Duarte et al. (2013) apresentaram diferentes custos de produção para a atividade, variando 15,96% nas lavouras de sequeiro e 23,12% para as lavouras irrigadas. A irrigação é um dos principais fatores de aumento de produtividade, possibilitando ganhos de até 50% (FERNANDES et al, 2012); (FERNANDES et al, 2007); (LIMA et al, 2016).

Para Rodrigues et al. (2014), Fehr et al. (2012), Ortega e Jesus (2011) e Pereira et al (2010), os custos de produção afetarão diretamente estes ganhos dos produtores. A tarifa de energia é importante variável no custo da irrigação (SALES et al, 2018). Grande parte da água para a irrigação consome energia elétrica das redes e a legislação garante desconto de 60% a 90%, caso as operações sejam realizadas no período noturno, das 21:30 as 06:00 (ANA, 2017).

Colombo et al. (2013) e Folegatti e Fernandes (2013) condicionam que o manejo da irrigação é importante ferramenta para um melhor uso de água e energia elétrica. Kamienski et al. (2018) citam sobre a IoT (Internet of Things, sigla em inglês para Internet das Coisas) na

irrigação, ratificando sobre a necessidade da validação deste conceito através de pesquisas. O GBI (Growth-Based Irrigation™) é um dos exemplos de ferramentas com tecnologia IoT para o manejo da irrigação. Interpretando dados meteorológicos, e integrando com leituras periódicas de dois sensores de umidade de solo e um sensor de planta (dendrômetro), algoritmos determinam a evapotranspiração da cultura, monitorando e comandando remotamente a irrigação, através da web e ou smartphones, otimizando a mão de obra (SUPPLANT, 2018).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produtividade do café e o uso racional da água e energia elétrica em sistema de irrigação tipo gotejamento, submetidos a dois manejos de irrigação, um baseado no GBI e o outro no método climático tradicional, em três fases fenológicas do cafeeiro.

## MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida entre agosto de 2017 e maio de 2018, na Fazenda Vitória II, no município de Monte Carmelo-MG, sob as coordenadas geográficas de 18°71'19" de latitude Sul e 47°58'96" de longitude Oeste de Greenwich (em UTM 23 K 226904.90 m E e 7929068.84 m S), com

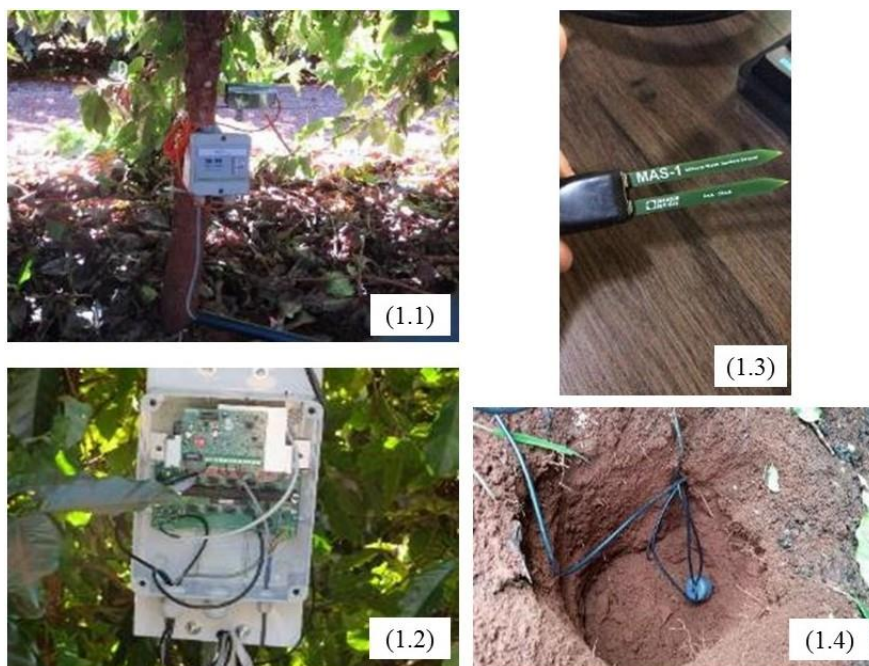
## AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO SENSORES IoT NA IRRIGAÇÃO DO CAFÉ

altitude média de 880 m. Os cafeeiros da variedade Catuaí Amarelo foram plantados em 2010, no espaçamento de 3,80 x 0,60 m, *stand* de 4.386 plantas ha<sup>-1</sup> e a irrigação foi realizada pelo sistema de gotejamento single-line, na vazão 2,3 L h<sup>-1</sup>, espaçados a cada 0,50 m. O clima local é do tipo Aw com base na classificação de Köppen e Geiger, tropical quente e úmido, com inverno frio e seco.

Segundo Climate-Data.Org (2018) a precipitação média anual em Monte Carmelo-MG é da ordem de 1.444 mm e temperatura média anual de 21,2°C. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados, com dois tratamentos de manejo da irrigação: o GBI e o método climático, divididos em doze blocos, totalizando 24 unidades experimentais. O manejo GBI seguiu a proposta da empresa israelense Supplant, com o conceito Growth-Based Irrigation™, cuja tradução direta é irrigação baseada no crescimento, que consistiu em algoritmos que associam 24 leituras diárias de sensores de solo e planta aos dados climatológicos. O GBI simplifica o manejo da irrigação, pois

utilizando um software, interpreta os dados da estação meteorológica já utilizada no manejo climático, correlacionando a leituras provenientes de um sensor previamente instalado na planta de café (o dendrômetro) e dois sensores de umidade do solo, gerando automaticamente o comando de irrigação, em volume de água e horas de trabalho suficientes para suprir a necessidade hídrica das plantas.

O monitoramento da planta foi feito por um dendrômetro modelo DE-1M (Figura 1.1) e para monitorar o solo, instalaram-se dois sensores analógicos de umidade, modelo MAS-1 com saídas de 4-20 mA (Figura 1.3, que detalha um deles). Estes dois sensores ficaram próximos à planta monitorada pelo dendrômetro, sendo um sensor do solo instalado a 20 cm de profundidade (Figura 1.4) e o outro a 40 cm. Estes três sensores foram conectados a um hardware de controle instalado no campo (Figura 1.2), que coletava e armazenava todas as informações a cada hora. Estas informações foram retransmitidas para a casa de máquinas por antenas de rádio, onde estava instalado o painel Bermad BIC 2500.



Fonte: Autores (2017).

**Figura 1.** Dendrômetro DE-1M (1.1), instalado na planta monitorada, hardware de recepção e transmissão das leituras dos três sensores (1.2), detalhe de um dos sensores de umidade de solo MAS-1 (1.3) e já instalado na profundidade de 0-20 cm (1.4).

Do painel Bermad BIC 2500, os dados foram enviados para o servidor de web Talgil (2018), que possui algoritmos de alerta e visualização dos dados, e fez a interpretação e recomendações em tempo real, cuja programação foi realizada pelos técnicos da Supplant. O método de manejo climático foi feito utilizando-se a ferramenta de balanço hídrico

climatológico desenvolvida por Fraga Jr. (2017), que consistiu em uma ficha cadastral em Excel onde customizou-se a fórmula de Penman-Monteith-FAO (Equação 1) de Allen et al. (1998) referenciada por Alencar et al. (2015), para determinação da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) diária em mm.

$$ET_0 = \frac{0,408 (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (E_s - E_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (1)$$

Em que:  $ET_0$ : evapotranspiração de referência ( $\text{mm d}^{-1}$ );  $R_n$ : saldo de radiação à superfície da cultura ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ );  $G$ : densidade do fluxo de calor do solo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ );  $T$ : temperatura do ar a 2 m de altura ( $^{\circ}\text{C}$ );  $u_2$ : velocidade de vento a 2 m de altura ( $\text{m s}^{-1}$ );  $E_s$ : pressão de vapor de saturação (kPa);  $E_a$ : pressão parcial de vapor (kPa);  $\Delta$ : declividade da curva de pressão de vapor de saturação ( $\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$ ), e  $\gamma$ : coeficiente psicrométrico ( $\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$ ). A fonte dos dados foi a estação meteorológica Davis Vantage Pro2 instalada na fazenda, de onde foram coletados diariamente a temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e a umidade relativa do ar (%) média, máxima e mínimas, a velocidade média do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ), a radiação solar ( $\text{W m}^{-2}$ ) e a precipitação pluviométrica (mm). Os mesmos sensores de solo e planta foram

instalados também no tratamento método climático, para validar a comparação entre ambos manejos.

Para cálculo da evapotranspiração da cultura ( $ET_C$  – Equação 2), utilizou-se o  $K_c$  (coeficiente de cultura) igual a 1,0 (um), conforme sugerido em Folegatti e Fernandes (2013) e Santinato et al. (2008). Também se utilizou o  $K_s$  (coeficiente de umidade do solo) igual a 1,0 (um), referenciado por Mantovani et al. (2013) e Silva et al. (2003), devido ao fato de o gotejamento ser um sistema de irrigação com alta frequência de aplicações. Constatada queda no balanço hídrico, era dado manualmente o comando de irrigação, em volume de água e horas de trabalho calculadas pela ferramenta desenvolvida por Fraga Jr. (2017).

$$ET_C (\text{campo}) = ET_0 \cdot K_c \cdot K_s \quad (2)$$

Em que:  $ET_C$ : evapotranspiração da cultura;  $ET_0$ : evapotranspiração de referência;  $K_c$ : Coeficiente de cultura; e,  $K_s$ : Coeficiente de umidade do solo.

Para validação da eficiência dos sistemas de manejo utilizados neste trabalho, foram feitas as avaliações dos coeficientes de uniformidade da irrigação, através da fórmula do CUC (Coeficiente de Uniformidade de Christiansen), também referenciada por Mantovani et al. (2013), onde o bloco experimental com o manejo GBI apresentou 92,13% de eficiência e vazão média de  $2,53 \text{ L h}^{-1}$ , e o bloco com o

manejo climático,  $94,57\%$  e  $2,54 \text{ L h}^{-1}$ . De acordo com os mesmos autores, ambos tratamentos podem ser considerados com excelente uniformidade.

Durante todo o período, foram contabilizados e sumarizados os dados de volume de água aplicados em litros, durante os meses de setembro e outubro para a fase floração; novembro e dezembro para a fase chumbinho e, janeiro e fevereiro para a fase granação.

Realizaram-se 24 leituras diárias (uma a cada hora) dos dados, que eram enviadas ao painel de controle Bermad BIC

## AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO SENSORES IoT NA IRRIGAÇÃO DO CAFÉ

2500, e transmitia estas informações para o servidor Talgil (2018), sendo exportadas para arquivos csv do Excel, de fácil uso e interpretação. Estes dados eram totalizados por setor de irrigação e foram parametrizados para os blocos experimentais, conforme informações

contidas no projeto de irrigação. Os dados de consumo de energia foram convertidos para kWh utilizando-se as informações da moto-bomba Weg W22 Plus NBR 17094-1, utilizada nos trabalhos, cuja potência é de 20 cv, com rendimento de 90,8% e, calculadas através da equação (3).

$$\text{Consumo (kWh)} = \frac{Ht. Pb}{Rb} \quad (3)$$

Em que: Consumo: consumo de energia elétrica em kWh; Ht: hora trabalhada pelo conjunto moto-bomba; Pb: potência da moto-bomba em cv (convertida para kW); e, Rb: Rendimento da moto-bomba (decimal).

Para os cálculos dos custos com energia elétrica, utilizou-se a tabela de custos B2-RURAL da CEMIG (2018), consultada em 07 de julho de 2018, cuja tarifa normal de energia foi de R\$ 0,41079 kWh e, para a irrigação noturna foi de R\$ 0,13556 kWh, sendo, em ambos os casos, considerada a tarifa verde, apenas como referencial de cálculo. As irrigações realizadas entre as 21:30 e 06:00 são caracterizadas em horário noturno e possuem as menores tarifas e, fora deste intervalo, têm tarifa normal. Posteriormente, todos os dados foram extrapolados para 1 (um) hectare, apenas como uma forma de simplificar as análises e facilitar as comparações.

Para determinar a produtividade obtida em cada tratamento, a colheita foi realizada descartando-se a 1ª planta de cada unidade experimental, coletando-se todos os frutos das plantas e do chão das 6 plantas

restantes, sendo medido o volume total de frutos colhidos em litros nestas plantas.

Para a verificação da normalidade e homocedasticidade dos dados da produção, foram utilizados respectivamente os testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, processados com o auxílio do programa R Core Team (2018), onde foi feita a Anova e, utilizando o teste de Tukey a 5%, foram comparadas as médias dos tratamentos.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de avaliações o método de irrigação GBI aplicou 1.398.669 L de água ou 139,87 mm por hectare, enquanto o método climático aplicou 729.771 L ou 72,98 mm.

Fazendo-se a razão aritmética, o GBI aplicou 1,92 vezes mais água do que o manejo climático. No tocante ao consumo de energia, o GBI utilizou 24,2 horas de trabalho, com consumo de 395,9 kWh e, o manejo climático utilizou 12,7 horas e 205,6 kWh, sendo que o manejo GBI utilizou 1,93 vezes mais energia elétrica (Tabela 1).

**Tabela 1.** Avaliação dos volumes de água aplicados (L e mm), horas trabalhadas, energia consumida (kWh) e R\$ investidos nos tratamentos GBI e método climático.

Tratamento	Item analisado ha <sup>-1</sup>	Florada	Chumbinho	Granação	Total
GBI	Volume água (L)	1.044.137	90.718	263.814	1.398.669
	Volume água (mm)	104,41	9,07	26,38	139,87
	Horas trabalhadas	18,2	1,6	4,6	24,4
	kWh consumidos	295,6	25,7	74,7	395,9
	R\$ investidos	R\$ 98,31	R\$ 9,53	R\$ 25,62	R\$ 133,46
Método climático	Volume água (L)	501.110	99.063	129.597	729.771
	Volume água (mm)	50,11	9,91	12,96	72,98
	Horas trabalhadas	8,7	1,7	2,3	12,7
	kWh consumidos	141,2	27,9	36,5	205,6
	R\$ investidos	R\$ 27,41	R\$ 5,07	R\$ 7,98	R\$ 40,47
Razão GBI vs. Método climático	Volume aplicado (L)	2,08	0,92	2,04	1,92
	kWh consumidos	2,09	0,92	2,05	1,93

Sobre a análise de custos com energia elétrica nos manejos, a principal diferença foi quanto aos horários de operação. Como o GBI foi controlado remotamente, o painel de controle deu as ordens de irrigação, sem levar em consideração as diferenças de custos de energia elétrica entre horários. Logo, o ideal seria que a maior parte das operações de irrigação, fosse realizada no horário noturno, dependendo evidentemente, de fatores como qualidade e disponibilidade de água, energia elétrica, configuração de equipamentos, sistemas de filtragem, entre outros. As maiores diferenças de aplicação de água foram observadas nas fases fenológicas floração e granação, onde o GBI aplicou 2,08 vezes mais água na floração e 2,04 vezes a mais na fase granação, comparado ao método climático.

Na fase chumbinho a razão entre os tratamentos foi mais próxima, sendo igual a 0,92, com GBI aplicando menos água.

No total do trabalho a razão foi de 1,92 vezes mais água aplicada no GBI, comparado ao método climático. Para o consumo de energia, os números são praticamente equivalentes, onde GBI aplicou 2,09 vezes mais água na fase floração, 0,92 vezes na fase chumbinho e 2,05 na fase granação e, no total dos trabalhos, 1,93 vezes a mais.

No manejo GBI, 73,2% das horas trabalhadas foram realizadas em horário com a tarifa normal de energia elétrica, representando 89,2% dos custos. Já no horário noturno, os trabalhos foram executados em 26,8% das horas, contabilizando apenas 10,8% dos custos com energia elétrica (Tabela 2).

**Tabela 2.** Comparação das horas trabalhadas e custos de energia elétrica nos horários de tarifa normal e tarifa noturna.

Tratamento	Item analisado ha <sup>-1</sup>	Tarifa Normal		Tarifa Noturna		Total	%
		Normal	%	Noturna	%		
GBI	Horas trabalhadas	17,9	73,2	6,5	26,8	24,4	100,0
	kWh consumidos	289,9	73,2	106,0	26,8	395,9	100,0
	R\$ investidos	R\$ 119,08	89,2	R\$ 14,37	10,8	R\$ 133,46	100,0
Método climático	Horas trabalhadas	2,8	22,3	9,9	77,7	12,7	100,0
	kWh consumidos	45,8	22,3	159,8	77,7	205,6	100,0
	R\$ investidos	R\$ 18,80	46,5	R\$ 21,66	53,5	R\$ 40,47	100,0

## AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO SENSORES IoT NA IRRIGAÇÃO DO CAFÉ

Fazendo-se a análise de custo-benefício, o método climático, além de aplicar menor volume de água e consumir menos energia elétrica, possibilitou uma composição mais equilibrada de custos com este insumo, haja vista que, apenas 22,3% das horas foram realizadas no horário de tarifa normal e 77,7% no horário noturno. Esta ação teve reflexo significativo na composição dos custos com energia elétrica, já que 46,5% dos gastos foram provenientes do horário normal de irrigação e, 53,5% no horário noturno.

Em suma, a simples programação do GBI para executar a maior parte de suas operações no horário noturno, poderia diminuir significativamente os custos com energia elétrica. Assim sendo, enquanto no GBI foram investidos R\$ 133,46 por hectare, entre os meses de setembro de 2017 e fevereiro de 2018; no método climático foram investidos apenas R\$ 40,47 por hectare.

Considerando o preço médio por saca beneficiada de 60 quilogramas de café, na faixa de R\$ 400,00 apenas como base de cálculo, seriam necessárias 0,23 sacas de café em incremento de produtividade, para se justificar a diferença de investimento de R\$ 92,66 por hectare a mais no manejo GBI, isso sem contabilizar o custo da água, a qual tende a ser cobrada nos próximos anos. Vale ressaltar que, não foram contabilizados nesta análise, os custos com mão de obra especializada para inserir e interpretar os dados na ferramenta desenvolvida por Fraga Jr. (2017), bem como a assessoria técnica para desenvolvimento da mesma. Neste primeiro ciclo, como a produção no método de manejo climático foi estatisticamente igual ao método de manejo GBI, não houve retorno de investimento com a adoção da tecnologia IoT (Tabela 3). Entretanto, o GBI e os sensores IoT facilitaram consideravelmente o uso de mão de obra com a irrigação, pela propriedade.

**Tabela 3.** Avaliações da produção de frutos, para as médias observadas.

Tratamentos	Produção de frutos (L planta <sup>-1</sup> )
GBI	11,72 a
Método climático	12,26 a
CV (%)	9,25

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O uso de sensores IoT na cafeicultura ainda é muito restrito, com baixa adoção e difusão, havendo atualmente poucas informações disponíveis. Konstantinos et al. (2015), Cardenas-Lailhacar e Dukes (2010) e Rodrigues De Miranda et al. (2007), informam que os sensores de umidade de solo por exemplo, necessitam de minuciosa calibragem prévia às características do solo monitorado, antes de sua utilização.

Já os dendrômetros são referenciados em outras espécies de tronco lenhoso, como em trabalhos de Hernando et al. (2009) em videiras na Espanha e, Fereres e Goldhamer (2003) em amendoeiras na Califórnia. Estes dois trabalhos, e também uma revisão sobre várias espécies frutíferas

realizada por Hernández et al. (2015), indicam que as variações do diâmetro do caule são uma importante informação para determinar o estresse hídrico das plantas monitoradas, devendo estar associadas a outros dados para recomendações mais assertivas da irrigação, como por exemplo, os disponibilizados pelas estações meteorológicas.

Kobayashi et al. (2008) explicam que o conhecimento do ciclo fenológico do cafeeiro é fator importante a ser considerado na prescrição da irrigação. Camargo e Camargo (2001) definem o valor de 700 mm de ET<sub>P</sub> (evapotranspiração potencial), entre os meses de setembro e junho para o segundo ano fisiológico do café. Como a evapotranspiração potencial

de referência ( $ET_0$ ) calculada neste trabalho foi de 773 mm nos seis meses avaliados, ou seja, 10,4% maior do a citada por estes autores, surgem dúvidas sobre como serão as respostas das plantas no próximo ciclo produtivo, devido a este maior volume aplicado de água pelo GBI durante o intervalo experimental.

## CONCLUSÕES

O método remoto GBI consumiu mais água e energia elétrica do que o método climático durante o período de avaliações.

Os sensores de umidade de solo, dendrômetros e a tecnologia IoT, poderão otimizar o uso de mão de obra.

Não houve diferença estatística na variável produção de café, entre os tratamentos.

A programação do GBI para executar a maior parte de suas operações no horário noturno, poderá diminuir os custos com energia elétrica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, L.P.; SEDIYAMA, G.C.; MANTOVANI, E.C. Estimativa da evapotranspiração de referência ( $ET_0$  padrão FAO), para Minas Gerais, na ausência de alguns dados climáticos. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 1, p. 39-50, 2015.

ALLEN, R.G.; PEREIRA L.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements: FAO**. 300 p. (FAO – Irrigation and Drainage Paper, 56), 1998.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Agência Nacional de Águas: ANA, 2017. 86 p. il. ISBN 978-85-8210-0516.

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, v.60, n.01, p.65-68, 2001.

CARDENAS-LAILHACAR, B; DUKES, M.D. Precision of soil moisture sensor irrigation controllers under Field conditions, **Agricultural Water Management**, Volume 97, Issue 5, 2010, Pages 666-672, ISSN 0378-3774. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377409003631>> Acesso em: 30 jul.2018.

CEMIG. Companhia Energética de Minas Gerais. **Valores de Tarifa e Serviços**, 2018. Disponível em: <[http://www.cemig.com.br/ptbr/atendimento/Paginas/valores\\_de\\_tarifa\\_e\\_servicos.aspx](http://www.cemig.com.br/ptbr/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx)> Acesso em: 15 jul.2018.

CLIMATE-DATA.ORG. **Dados Climatológicos de Monte Carmelo-MG, Brasil**, 2018. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/location/24982/>> Acesso em: 15 jul.2018.

COLOMBO, A.; ALVARENGA, L.A.; SCALCO, M.S.; RIBEIRO, R.C.; ABREU, G.F. Water storage in wetted strips under irrigated coffee trees with different criteria of irrigation management. **Engenharia Agrícola**. v. 33, n. 2, p. 249-257, Abril, 2013. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162013000200004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162013000200004&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 05.Jun.2019.

DUARTE, S. L.; FEHR, L. C. F. DE A.; TAVARES, M.; REIS, E. A. Comportamento das variáveis dos custos de produção da cultura do café no período de formação da lavoura. **Revista Contabilidade Vista & Revista**, ISSN



**AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO  
SENSORES IoT NA IRRIGAÇÃO DO CAFÉ**

0103-734X, v. 24, n. 4, p. 15-33, out/dez, 2013.

FEHR, L.C.F.A.; DUARTE, S. L.; TAVARES, M.; REIS, E. A. Análise das variáveis de custos do café Arábica nas principais regiões produtoras do Brasil. **Reuna**, v.17, n.2, p. 97-115, 2012.

FERERES, E.; GOLDHAMER, D. Suitability of stem diameter variation and waterpotential as indicator for irrigation scheduling of almond trees. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology** 78, 139–144, 2003.

FERNANDES, A.L.T.; SANTINATO, R.; DRUMOND, L.C.D.; OLIVEIRA, C.B. Avaliação do uso de fertilizantes organominerais e químicos na fertirrigação do cafeeiro irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.2, p.159-166, 2007.

FERNANDES, A. L.; PARTELLI, F.; BONOMO, R.; GOLYNSKI, A. A moderna cafeicultura dos Cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 231-240, junho de 2012.

FOLEGATTI M.V., FERNANDES A.L.T. Irrigação do Cafeeiro: quando, quanto e por que se deve utilizar? **Revista Visão Agrícola**. n.12, janeiro-junho de 2013, ESALQ (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz), v.60, n.01, p.65-68, 2003.

FRAGA JR. E.F. Manejo de Irrigação da Cafeicultura Irrigada, Monguilod Empresa Agrícola. **Fichas Cadastrais e de Manejo**, 2017.

HERNÁNDEZ, Y.D.; MELENDRERAS, A.T.; HERNÁNDEZ, P.R. Fluctuaciones del diámetro del tronco como indicador de estrés em frutales y su uso em el manejo del riego. **Cultivos Tropicales**, vol. 36, no. especial, pp. 59-66, 2015. Disponível em:

<[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S025859362015000500006&lng=es&nrm=iso](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025859362015000500006&lng=es&nrm=iso)>. Acesso em: 05 ago.2018.

HERNANDO C.; SÁNCHEZ P.; LISSARRAGUE J.R.; BAEZA P. Validación de los dendrómetros como señal de alarma del estrés hídrico. **Vida Rural**, ISSN 1133-8938, N° 293, 2009, págs. 37-42. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/227114>> Acesso em: 05.ago.2018.

KAMIENSKI C.A.; SOININEN J.P.; TAUMBERGER M.; FERNANDES S. SWAMP: an IoT-based Smart Water Management Platform for Precision Irrigation in Agriculture, **Global Internet of Things Summit (GIoTS)**, pp. 1-6. DOI: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8534541&isnumber=8534428>>, 2018.

KOBAYASHI E.S.; SAKAI E.; SILVA E.A.; ARRUDA F.B.; SILVEIRA J.M.C.; SOUZA P.S.; PIRES R.C.M. et al. Variação sazonal do potencial da água nas folhas de cafeeiro em Mococa-SP. **Bragantia**, v.67, n.2, p.421-428, 2008.

KONSTANTINOS, S.X.; ELMALOGLOU, S.; DERCAS, N. Investigating the effects of soil moisture sensors positioning and accuracy on soil moisture based drip irrigation scheduling systems, **Agricultural Water Management**, Volume 148, 2015.

LIMA, L.; GONÇALVES, A.; FERNANDES, A.; SILVA, R.; LANA, R. Growth and productivity of coffee irrigated according to different sources of nitrogen. **Coffee Science**, v.11, n.1, p. 97-107, 2016.

MANTOVANI E.C., BERNARDO S, PALARETTI L.F. **Irrigação, princípios e**

**métodos**. 3.ed. atual. ampl.: UFV. 355p, 2015.

ORTEGA, A.C.; JESUS, C.M. Território café do Cerrado: transformações na estrutura produtiva e seus impactos sobre o pessoal ocupado. **Revista Economia e Sociologia Rural**, v. 49, n.3, p. 771-800, 2011.

PEREIRA, V.F.; VALE, S.M.L.R.; BRAGA, M.J.; RUFINO, J.L.S. Riscos e Retornos da Cafeicultura em Minas Gerais: uma análise de custos e diferenciação. **Revista Economia e Sociologia Rural**, vol.48, n.3, pp.657-678, 2010.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>, 2018.

RODRIGUES, N.A.; REIS, E.A. DOS; TAVARES, M. Influências dos fatores climáticos no custo de produção do café arábica. **Revista Custos e Agronegócio Online**, v. 10, n. 3, Jul.Set. 2014.

RODRIGUES DE MIRANDA F.; SANTANA M.G.S.; SOUZA C.C.M.; OLIVEIRA C.H.C. Calibração do sensor ielétrico ECH<sub>2</sub>O em dois tipos de solo. **Revista Ciência Agronômica** 2007, 38 (Jul-Sep): Disponível em:<<http://www.>

[redalyc.org/articulo.oa?id=195317584014](http://redalyc.org/articulo.oa?id=195317584014)  
ISSN 0045-6888. Acesso em: 04 ago.2018.

SALES, D.; ALVES JUNIOR, J.; PEREIRA, R.; RODRIGUEZ, W.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A. Viabilidade econômica da irrigação por pivô central nas culturas de soja, milho e tomate. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 22, jun. 2018. ISSN 2446-8053. Disponível em: <<https://pap.emnuvens.com.br/pap/article/view/pap.2017.011>>. Acesso em: 18 ago.2019.

SANTINATO R., FERNANDES A.L.T., FERNANDES D.R. **Irrigação na cultura do café**. 2.ed.: O Lutador. 483 p, 2008.

SILVA, A. L.; FARIA, M. A.; REIS, R. P. Viabilidade técnico econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.1, p.37-44, 2003.

SUPPLANT. **Plant monitoring and Growth-Based Irrigation (GBI™)**. Disponível em: <<https://supplant.me/products/>>, 2018. Acesso em: 16 jul.2018.

TALGIL. **Dream Console**. Disponível em: <<http://talgil.com/Console->> Acessos entre: 01 set.2017 a 30.jul.2018.