

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DO TRIÂNGULO MINEIRO – *Campus* Uberaba
MESTRADO PROFISSIONAL EM PRODUÇÃO VEGETAL**

JOÃO PEDRO HONORATO DA CRUZ

**ELETROMAGNETIZAÇÃO DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO NA
PRODUTIVIDADE, NA QUALIDADE E NA EFICIÊNCIA DO USO DA
ÁGUA EM CAFEEIROS CULTIVADOS SOB NÍVEIS DE REPOSIÇÃO
HÍDRICA**

UBERABA, MG

2023

JOÃO PEDRO HONORATO DA CRUZ

**Efeitos da eletromagnetização da água de irrigação na produtividade, na qualidade e na
eficiência do uso da água em cafeeiros cultivados sob diferentes níveis de reposição
hídrica**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Produção Vegetal, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro, como requisito para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal

Orientador:

Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Júnior

UBERABA, MG

2023

Ficha Catalográfica elaborada pelo Setor de Referência do IFTM –
Campus Uberaba-MG

C889e

Cruz, João Pedro Honorato da
Eletromagnetização da água de irrigação na produtividade, na
qualidade e na eficiência do uso da água em cafeeiros cultivados sob
níveis de reposição hídrica / João Pedro Honorato da Cruz- 2023.
54 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Júnior
Dissertação (Mestrado Profissional em Produção Vegetal) – Instituto
Federal do Triângulo Mineiro- Campus Uberaba-MG, 2023.

1. Irrigação. 2. Eletromagnetização. 3. Cafeeiro. 4. Níveis de
reposição. I. Fraga Júnior, Eusímio Felisbino. II. Título.

CDD 631.587

ATA N. 5 / 2023 DE APRESENTAÇÃO DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO NÍVEL *STRICTO SENSU* – MESTRADO PROFISSIONAL EM PRODUÇÃO VEGETAL DO INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TRIÂNGULO MINEIRO – CAMPUS UBERABA. Aos vinte e nove dias do mês de agosto do ano de dois mil e vinte e três, às nove horas, na Sala de Videoconferência - <https://meet.google.com/ejf-cdkj-fhm>, reuniu-se a Banca Examinadora sob a presidência do **Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Júnior** e com a participação do **Prof. Dr. André Luís Teixeira Fernandes** e o convidado **Prof. Dr. Haroldo Silva Vallone**, para avaliar a Defesa da Dissertação do Mestrando **JOÃO PEDRO HONORATO DA CRUZ**, como requisito final para a conclusão do Mestrado Profissional em Produção Vegetal, de acordo com o Regulamento do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Produção Vegetal e APCN positiva CAPES n. 145 em 28/10/2015. A presente defesa de Dissertação de Mestrado tem como Título: **“Efeitos da eletromagnetização da água de irrigação na produtividade, na qualidade e na eficiência do uso da água em cafeeiros cultivados sob diferentes níveis de reposição hídrica”**, pesquisa desenvolvida sob a orientação do Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Júnior. Após a avaliação pela banca, o mestrando foi considerado **APROVADO**. Para registro, eu Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Júnior, lavrei a presente Ata que, depois de lida e aprovada vai assinada por mim e pelos demais membros da Banca Examinadora.

Obs: O Candidato obteve a nota final de 95,0 pontos (de um total de 100,0 pontos). O mestrando acatou a sugestão da banca alterando o título da dissertação para: **“Eletromagnetização da água de irrigação na produtividade, na qualidade e na eficiência do uso da água em cafeeiros cultivados sob níveis de reposição hídrica”**.

BANCA EXAMINADORA

NOME	INSTITUIÇÃO	FUNÇÃO
Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Júnior	UFU - Campus Monte Carmelo	ORIENTADOR(A) / PRESIDENTE
Prof. Dr. André Luís Teixeira Fernandes	Uniupe / IFTM	Membro
Prof. Dr. Haroldo Silva Vallone	IFTM - Campus Uberaba	Membro

HAROLDO SILVA VALLONE
PROFESSOR DO ENSINO BÁSICO, TÉCNICO E TECNOLÓGICO



Documento assinado eletronicamente por HAROLDO SILVA VALLONE, PROFESSOR DO ENSINO BÁSICO, TÉCNICO E TECNOLÓGICO, em 01/09/2023, às 18:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

ANDRÉ LUÍS TEIXEIRA FERNANDES
UNIUBE/IFTM - MEMBRO EXTERNO DE BANCA DE DEFESA DE MESTRADO/ESPECIALIZAÇÃO



Documento assinado eletronicamente por ANDRÉ LUÍS TEIXEIRA FERNANDES, UNIUBE/IFTM - MEMBRO EXTERNO DE BANCA DE DEFESA DE MESTRADO/ESPECIALIZAÇÃO, em 23/09/2023, às 17:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

EUSIMIO FELISBINO FRAGA JÚNIOR
IFTM/UFU - MEMBRO EXTERNO DE BANCA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO/QUALIFICAÇÃO



Documento assinado eletronicamente por EUSIMIO FELISBINO FRAGA JÚNIOR, IFTM/UFU - MEMBRO EXTERNO DE BANCA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO/QUALIFICAÇÃO, em 24/10/2023, às 14:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <http://www.iftm.edu.br/autenticacao/> informando o código verificador **E966340** e o código CRC **218DEE78**.

Referência: NUP: 23200.008153/2023-49

DOCS nº 0000517363

AGRADECIMENTOS

Gostaria de dedicar este trabalho à memória amorosa e inspiradora do meu Pai, Leonardo Honorato Vilela, que infelizmente não está mais entre nós. Seu apoio incondicional e incentivo pela minha capacitação foi o que permitiu a conclusão da minha jornada acadêmica. Embora ele não possa estar aqui fisicamente para compartilhar este momento comigo, sinto sua presença em cada página deste trabalho e em cada conquista que alcancei.

Gostaria de expressar minha sincera gratidão ao meu orientador/professor Eusímio Felisbino Fraga Júnior, cuja orientação dedicada, conhecimento profundo e apoio constante foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Suas sugestões e insights valiosos moldaram significativamente a direção desta pesquisa.

Também sou grato aos membros da banca examinadora, André Luís Teixeira Fernandes, e Haroldo Silva Vallone, por suas análises críticas e sugestões construtivas que enriqueceram a qualidade desta dissertação.

Minha gratidão se estende ao grupo de pesquisas CinCI – Centro de Inteligência em Cultivos Irrigados e aos colegas membros do grupo, cuja o apoio nas avaliações permitiu que esse projeto fosse concluído e as discussões e trocas de ideias enriqueceram minha perspectiva e contribuíram para o crescimento da minha compreensão do tema.

Não posso deixar de reconhecer o apoio financeiro concedido pela Araunah Tech, que tornou possível a realização deste estudo. Agradeço também a fazenda Vitória II por disponibilizar espaço para implantação do ensaio e dar todo apoio necessário durante a condução do projeto.

Agradeço profundamente aos meus familiares, minha namorada e amigos pelo incentivo constante, paciência e amor incondicional ao longo dessa jornada. Suas palavras de encorajamento foram um pilar de força para mim.

Por fim, dedico também este trabalho a minha mãe, Elza Galdino da Cruz Vilela e meu irmão, Pedro Otávio Honorato da Cruz, cujo apoio inabalável e crença em mim foram a força motriz por trás de todas as minhas conquistas acadêmicas.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para o sucesso deste trabalho, o meu mais sincero obrigado.

RESUMO

A irrigação é uma tecnologia imprescindível ao suprimento de alimentos no mundo, já que possibilita incremento de produtividade e ampliação das fronteiras agrícolas para regiões impróprias ao cultivo em sequeiro. Porém, à medida que a disponibilidade do recurso hídrico se torna mais crítica em qualidade e quantidade para suprir a demanda dos diferentes usuários, é necessário o uso eficiente da água. A implementação de práticas que promovam a gestão eficiente do recurso, aliada ao desenvolvimento de tecnologias inovadoras, será fundamental ao crescimento da agricultura irrigada. A tecnologia da eletromagnetização da água de irrigação traz uma nova possibilidade de otimizar o uso dos recursos hídricos e aumentar o rendimento agrônomo das culturas. Nesse trabalho estudou-se o efeito do tratamento eletromagnético da água de irrigação no desempenho produtivo, na qualidade de grãos e na eficiência no uso da água de cafeeiros irrigados por gotejamento. Um experimento foi conduzido por três safras em lavoura de *Coffea arabica*, cultivar Topázio MG1190, no município de Monte Carmelo, Minas Gerais, Brasil. O delineamento estatístico utilizado foi de blocos casualizados (DBC), com quatro repetições, no esquema de parcelas subdivididas, composto pelos fatores: fator 1 (parcelas): tipo de água de irrigação (eletromagnetizada e não eletromagnetizada), e fator 2: (subparcelas): níveis de reposição hídrica (125%, 100%, 75% e 50% da estratégia de manejo adotada na fazenda). Na média das três safras, o tratamento eletromagnético da água de irrigação teve efeito benéfico na produtividade e eficiência no uso da água, com incremento de 7,4% e 6,8%, respectivamente, em relação à água não tratada. Não houve diferença significativa na maturação dos frutos em função do tratamento da água. O uso da água magnetizada aumentou significativamente o percentual de grãos peneira dezesseis acima e reduziu o de chatos miúdos. O nível de reposição de água que proporcionou maior produtividade foi o de 125% da estratégia referencial. A maior eficiência no uso da água foi obtida na reposição de 50% do tratamento referencial, podendo ser priorizada em períodos em que houver limitação da disponibilidade de água para irrigar na região. O percentual de frutos verdes, verde cana e seco foram influenciados pelo nível de reposição de água, sendo observado aumento do percentual de frutos verdes cana e redução de seco com aumento da lâmina bruta de irrigação. O volume aplicado de irrigação afetou significativamente o percentual de grãos peneira dezesseis acima e chato médio. Com o aumento do volume de água irrigado, houve redução do percentual de grãos da classe dezesseis acima e aumento do percentual de chatos médio.

Palavras-chave: irrigação; cafeeiro; eletromagnetização; níveis de reposição.

ABSTRACT

Irrigation is an essential technology for food supply worldwide, as it enables increased productivity and expansion of agricultural frontiers into regions unsuitable for rain-fed cultivation. However, as the availability of water resources becomes more critical in terms of quality and quantity to face the demand of different users, efficient water use is necessary. Implementing practices that promote efficient resource management, along with the development of innovative technologies, will be crucial for the growth of irrigated agriculture. The technology of electromagnetic water treatment for irrigation brings a new possibility to optimize water resource usage and increase crop agronomic yield. This study examined the effect of electromagnetic treatment of irrigation water on productive performance, grain quality, and water use efficiency in drip-irrigated coffee plants. An experiment was conducted over three harvests in a *Coffea arabica* plantation, Topázio MG1190 cultivar, in Monte Carmelo, Minas Gerais, Brazil. The statistical design used was randomized complete blocks (RCB), with four replicates, in a split-plot scheme composed of the following factors: factor 1 (plots): type of irrigation water (electromagnetic-treated and untreated), and factor 2 (subplots): water replacement levels (125%, 100%, 75%, and 50% of the management strategy adopted on the farm). On average over the three harvests, electromagnetic treatment of irrigation water had a beneficial effect on productivity and water use efficiency, with increases of 7.4% and 6.8%, respectively, compared to untreated water. There was no significant difference in fruit maturation based on water treatment. The use of magnetized water significantly increased the percentage of grains above sieve sixteen and reduced that of small, flat beans. The water replacement level that provided the highest productivity was 125% of the reference strategy. The greatest water use efficiency was achieved with a 50% replacement of the reference treatment, which can be prioritized during periods when water availability for irrigation is limited in the region. The percentage of green, semi-green, and dry fruits was influenced by the water replacement level, with an increase in the percentage of semi-green and a decrease in dry fruits with an increase in the gross irrigation depth. The applied irrigation volume significantly affected the percentage of grains above sieve sixteen and medium-sized flat beans. As the irrigation water volume increased, there was a reduction in the percentage of grains in the sixteen-plus class and an increase in the percentage of medium-sized flat beans.

Keywords: Irrigation; coffee plants; electromagnetic; replacement levels

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	OBJETIVO.....	11
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
3.1	CAFEICULTURA.....	12
3.2	CAFEICULTURA IRRIGADA.....	13
3.3	USO DA ÁGUA NA AGRICULTURA IRRIGADA.....	14
3.4	ELETROMAGNETIZAÇÃO DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO.....	15
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
4.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL...	20
4.2	VARIEDADE CULTIVADA, ADUBAÇÃO E TRATOS CULTURAIS.....	21
4.3	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	21
4.4	MONITORAMENTO METEOROLÓGICOS.....	22
4.5	CARACTERIZAÇÃO DA IRRIGAÇÃO.....	28
4.6	MANEJO DE IRRIGAÇÃO.....	31
4.7	AVALIAÇÕES REALIZADAS.....	32
4.7.1	Produtividade.....	32
4.7.2	Qualidade física do café.....	33
4.7.2.1	<i>maturação dos frutos.....</i>	<i>33</i>
4.7.2.2	<i>classificação por peneira.....</i>	<i>33</i>
4.7.3	Eficiência no uso da água.....	34
4.8	TRATAMENTO DOS DADOS.....	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
5.1	PRODUTIVIDADE.....	35
5.2	QUALIDADE FÍSICA DO CAFÉ.....	38
5.2.1	Maturação dos frutos.....	38
5.2.1.1	<i>classificação por peneira.....</i>	<i>41</i>
5.3	EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA.....	43
6	CONCLUSÃO.....	47
	REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por produção de alimentos mundialmente tem impulsionado o estudo e a aplicação de técnicas que otimizem os rendimentos das culturas. Nesse sentido, a irrigação tem sido uma alternativa atrativa, por possibilitar aumento da produtividade, maior segurança de produção e permitir a expansão das fronteiras agrícolas para regiões com déficit hídrico elevado. Em termos globais, considerando a produção de alimentos, fibras e culturas bioenergéticas, a produtividade de cultivos irrigados é da ordem de 2 a 3 vezes superior em relação à agricultura de sequeiro (ANA, 2021).

Embora os benefícios dos cultivos irrigados sejam amplamente demonstrados em literatura para diversas culturas (Costa *et al.*, 2018; 2019, Fernandes *et al.*, 2016a; Peloso; Tatagiba; Amaral, 2017), o uso da água na irrigação torna-se cada vez mais discutido, para que haja disponibilidade do recurso em qualidade e quantidade suficientes para suprir a demanda dos diferentes usuários.

No Brasil, a irrigação é o setor que mais capta água, com 49,8% do volume de outorgado no país (ANA, 2021). Apesar da alta demanda, a agricultura irrigada apresenta elevada eficiência no retorno do recurso hídrico utilizado pela planta ao ciclo hidrológico, desde que praticada de forma controlada. Cerca de 97% da água absorvida pelas raízes é liberada para a atmosfera pelo processo de transpiração. O pequeno percentual restante permanece na planta para suprir o crescimento ou ser consumido em reações bioquímicas e outros processos metabólicos (Taiz; Zeiger; Moller, 2017).

A irrigação também pode ser utilizada como estratégia para melhorar a qualidade da água a partir da exploração da capacidade inata das plantas de acumulação de compostos, bem como a dos processos da rizosfera para ligação e degradação de poluentes (Akinbile; Yusoff; Zuki, 2012; Jones; Williamson; Owen, 2006). O processo de transpiração das plantas possibilita a remoção dos poluentes presentes na água e esse feito tem sido amplamente estudado no mundo, com o objetivo de identificar espécies com alta capacidade de tratar lixiviados gerados em aterros sanitários, que são problemas consistentes de poluição (Fasani *et al.*, 2019; Justin *et al.*, 2010; Licht *et al.*, 2004).

Segundo projeções da Organização das Nações Unidas (ONU), a população mundial chegará a 9 bilhões de habitantes até 2050. A demanda por alimentos no mundo deverá aumentar consideravelmente frente a esse crescimento populacional. E a irrigação, sendo uma das maneiras mais eficientes de aumento da produção de alimentos será fundamental para suprir essa demanda (Venâncio *et al.*, 2015). Projeções da ANA (2021) indicam a ampliação da área

irrigada no Brasil, que atualmente representa 8,2 milhões de hectares e terá a incorporação de 4,2 milhões de hectares até 2040. Esse incremento corresponderia a um aumento de 51% sobre a área atual irrigada, fazendo com que o país se aproximasse de uma área total de 12,4 milhões de hectares.

Para que essa ampliação da área irrigada seja alcançada, a busca por formas de otimizar o uso da água na produção agrícola será imprescindível. A adoção de tecnologias que proporcionem alta eficiência no uso da água e, ao mesmo tempo, incrementos da produtividade e da qualidade dos produtos pode maximizar a rentabilidade ao agricultor (Mostafa, 2020; Zhou *et al.*, 2021).

Nesse contexto, a utilização da água magnetizada na irrigação tem sido amplamente estudada em diversos estudos recentes, visando à melhoria no desempenho agrônômico e na otimização no uso da água (Putti *et al.*, 2018; Verssiani *et al.*, 2021; Zhou *et al.*, 2021). Quando a água passa por um campo magnético de força suficiente, as ligações de hidrogênio da molécula em estado líquido são quebradas por forças de Lorentz e grandes agregados de moléculas de água quebram-se para formarem agregados menores ou mesmo moléculas de água individuais (Hozayn *et al.*, 2016).

Esse fenômeno leva a várias mudanças nas características da água líquida, como redução da tensão superficial, aumento da área superficial específica, aumento da pressão osmótica e grau de solubilidade, densidade, ponto de ebulição, aumento da viscosidade e condutividade elétrica (Ahmed; Bassem, 2013; Esmailnezhad *et al.*, 2017; Kadhimi; Alghazali, 2021; Liu; Hong; Shi, 2017). Tais alterações estruturais na molécula também são capazes de promover alterações diretamente nas propriedades físico-químicas do solo, como a salinidade, o teor de umidade, a porosidade e a infiltração (Hachicha *et al.*, 2018; Khoshnavesh; Kiani, 2014; Liu; Hong; Shi, 2017; Zlotopolski, 2017).

Em diversos países onde o uso dessa tecnologia está sendo adotado, trabalhos demonstram o efeito benéfico no rendimento, na qualidade de produção, no crescimento vegetativo e na eficiência do uso da água em diversas culturas e tais efeitos têm potenciais variáveis com o tipo de cultura estudada (Hachicha *et al.*, 2018; Putti *et al.*, 2018; Verssiani *et al.*, 2021; Zhou *et al.*, 2021). Porém, poucos são os relatos em literatura dos efeitos da magnetização da água de irrigação no desempenho produtividade e qualidade da produção em culturas perenes, como o café.

2 OBJETIVO

Avaliar o efeito do tratamento eletromagnético da água de irrigação no desempenho produtivo, na qualidade de grãos e na eficiência no uso da água de cafeeiro arábica irrigado por gotejamento, sob diferentes níveis de reposição hídrica.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CAFEICULTURA

O café é uma commodity agrícola comercializada globalmente e contribui para a subsistência de milhões de agricultores, constituindo-se na base econômica de muitos países tropicais em desenvolvimento (Damatta *et al.*, 2018). Mundialmente, o cultivo das espécies arábica (*Coffea arabica*) e robusta (*Coffea canephora*) representam quase que a totalidade de todo o café produzido no mundo (Ferrão *et al.*, 2018). Na safra 2021/2022 a produção mundial de café foi de cerca de 170,83 milhões de sacas de 60 kg. A expectativa para a próxima safra é de que a produção mantenha esse patamar, estimada em 167,2 milhões de sacas (OIA, 2022).

A bebida é um produto consumido mundialmente e tem grande importância na economia brasileira (Campos, 2021). O Brasil é o maior produtor mundial do grão, sendo responsável por cerca de 34,8% da produção mundial, seguido de Vietnã (18,9%), Colômbia (7,8%) e Indonésia (6,3%) (USDA, 2023). Brasil e Colômbia produzem principalmente café arábica; já Vietnã e Indonésia, café robusta (Brasil, 2023). Em âmbito nacional, a produção de arábica na safra 2021/22 foi de 31,89 milhões de sacas, o que corresponde a 69,3% da produção de café no país. Já a produção de robusta foi de 16,81 milhões de sacas (CONAB, 2023).

O Brasil é também o maior exportador e destina sua produção para cerca de 117 países, sendo os principais países de destino os Estados Unidos da América, Alemanha, Bélgica e Itália. Na safra 2022/23, o país exportou aproximadamente 32 milhões de sacas e a projeção para a safra subsequente é um acréscimo de 0,9% (Brasil, 2023).

O Estado de Minas Gerais é o maior produtor de café. Na safra 2021/2022, a produção estimada do estado foi 21,96 milhões de sacas de café beneficiado. Isso representa aproximadamente 43% da produção do café nacional. Este número representa quase 20% da produção mundial de café, evidenciando a relevância mundial do estado na produção deste produto. E a estimativa para a safra 2022/23 é de que a produção nacional aumente em 7% (CONAB, 2023).

Dentre as regiões produtoras de Minas Gerais, destacam-se o Cerrado Mineiro e o Sul de Minas. A região do Sul de Minas obteve, na safra 2021/2022 produção de 9,6 milhões sacas beneficiadas e a projeção é de que essa produção aumente em 38% na safra subsequente. Já a região do Cerrado Mineiro, alcançou a produção de 4,19 milhões de sacas beneficiadas, com projeções de aumento da produção na próxima safra de 26% (CONAB, 2023).

Essas duas regiões têm características de produção distintas. A cafeicultura do Sul de Minas tem presença marcante de pequenas propriedades e menor adoção de mecanização na atividade produtiva, em razão da topografia acidentada da região (Bregagnoli; Ribeiro Neto, 2017). Já na região do Cerrado, a cafeicultura é caracterizada como moderna, com utilização apropriada de irrigação, com boas práticas de adubação e adoção de mecanização devido à topografia favorável (Fernandes *et al.*, 2012).

A região do cerrado também apresenta uma condição edafoclimática específica que possibilita a produção de cafés de alta qualidade. O inverno seco e de baixa umidade, característico da região, coincide com a época de colheita da cultura, evitando assim os riscos de fermentação dos frutos nas plantas ou após a colheita, o que pode impactar negativamente na qualidade da bebida (Fernandes *et al.*, 2012).

3.2 CAFEICULTURA IRRIGADA

A cafeicultura irrigada no Brasil representa quase 449,3 mil hectares e isso corresponde a pouco mais de 25% da área destinada a cultura (ANA, 2021). Dentre os diversos sistemas de irrigação que podem ser utilizados no cafeeiro, o gotejamento tem ganhado espaço. Nos sistemas irrigados por gotejamento, a água é distribuída localizadamente e possibilita o parcelamento da fertilização através da fertirrigação, reduzindo os custos de aplicação desses produtos, além de evitar desequilíbrios nutricionais pela aplicação de altas doses e perdas por lixiviação (Barbosa *et al.*, 2019).

Nos últimos anos, na região do Cerrado Mineiro a ocorrência de alterações climáticas tem sido observada, com déficits hídricos elevados, afetando o crescimento e a produtividade do cafeeiro (Fernandes *et al.*, 2016a). A prática de irrigação tem se manifestado como um recurso muito importante para o sucesso da atividade em regiões com essas características climáticas (Peloso; Tatagiba; Amaral, 2017; Veiga *et al.*, 2019). Essa técnica mitiga os impactos adversos das altas temperaturas e estresse hídrico observado em tais regiões, além de encorajar produtores rurais a lidar com os impactos do declínio da produtividade do café (PHAM, 2019).

A produção e a qualidade do café são sensíveis às mudanças nos parâmetros microclimáticos, principalmente nos relacionados à disponibilidade hídrica (Craparo *et al.*, 2015). O déficit hídrico afeta tanto a fase reprodutiva quanto a vegetativa do cafeeiro, o que reforça a necessidade do suprimento de água, adequado para a cultura (Aparecido; Rolim, 2018). Pequenas reduções na disponibilidade de água no solo podem impactar no crescimento vegetativo do cafeeiro (Fernandes *et al.*, 2016a). Alterações na distribuição radicular e no

desenvolvimento dos frutos também ocorrem em condições de baixa disponibilidade hídrica no solo.

Nas fases iniciais de redução de disponibilidade de água no solo, há redução da taxa transpiratória das plantas devido ao fechamento estomático e, ao mesmo tempo, diminuição da entrada de CO₂ nas folhas, limitando a fotossíntese e, conseqüentemente, o crescimento da planta (Brodribb; Mcadam, 2017). Uma resposta pronunciada de deficiência hídrica em plantas é a redução da turgescência das células e a desidratação do protoplasma, o que resulta em aumento na concentração do conteúdo celular, gerando decréscimo do potencial hídrico e comprometendo diversos processos metabólicos da planta (Peloso; Tatagiba; Amaral, 2017).

Os efeitos mais visíveis do estresse hídrico são a diminuição do tamanho da copa, área foliar e produtividade da cultura (Costa *et al.*, 2019). A severidade dos danos causados pelo déficit hídrico dependerá do estágio fenológico da cultura em que houve o estresse, além de sua duração (Costa *et al.*, 2018). De acordo com Silva *et al.* (2022), a irrigação suplementar às chuvas em condições de Cerrado é essencial para o cafeeiro, pois o cultivo em sequeiro não favorece o desenvolvimento fisiológico e reprodutivo da cultura.

Fernandes *et al.* (2016a), estudando os efeitos da irrigação suplementar sobre a produtividade e rentabilidade de cafeeiro na região do Cerrado Mineiro durante 6 safras, observaram, através da aplicação de diferentes níveis de déficit hídrico, reduções de produtividade de até 38% ao ano, quando comparado com o tratamento sem déficit hídrico. O tratamento com irrigação plena também promoveu os maiores ganhos financeiros e lucro superior em 279%, comparado à testemunha.

3.3 USO DA ÁGUA NA AGRICULTURA IRRIGADA

Embora os benefícios dos cultivos irrigados sejam amplamente demonstrados em literatura para diversas culturas (Costa *et al.*, 2018; 2019, Fernandes *et al.*, 2016a; Peloso; Tatagiba; Amaral, 2017), o uso da água na irrigação torna-se cada vez mais debatido, para que haja disponibilidade do recurso em qualidade e quantidade suficiente para suprir a demanda dos diferentes usuários.

Segundo a FAO (2020), o Brasil está entre os dez países com maior área equipada para irrigação, ocupando a sexta posição, com 8,2 milhões de hectares. Apesar de o Brasil abrigar aproximadamente 13% de toda a água doce do mundo, a distribuição do recurso no território é desigual, e isso faz com que diversas regiões do país apresentem disponibilidades críticas para o consumo, em determinadas épocas do ano (Fagundes *et al.*, 2020).

No Brasil, a irrigação é o setor que mais capta água, com 49,8% do volume de outorgado no país (ANA, 2021). Apesar da alta demanda, a agricultura irrigada apresenta elevada eficiência no retorno do recurso hídrico utilizado pela planta ao ciclo hidrológico, desde que praticada de forma controlada. Cerca de 97% da água absorvida pelas raízes é liberada para a atmosfera, pelo processo de transpiração. O pequeno percentual restante permanece na planta para suprir o crescimento ou ser consumida em reações bioquímicas e ou em outros processos metabólicos (Taiz *et al.*, 2017).

Projeções da ANA (2022) indicam a incorporação de 4,2 milhões de hectares irrigados até 2040. Esse incremento corresponderia a um aumento de 51% sobre a área atual irrigada, fazendo com que o país se aproximasse de uma área total de 12,4 milhões de hectares. Para que essa expansão da área irrigada possa ser alcançada, a busca por formas de otimização do uso da água na produção agrícola será cada vez mais necessária.

3.4 ELETROMAGNETIZAÇÃO DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

A utilização de métodos e meios modernos de irrigação com alta eficiência é necessária para aumentar a produção e suprir a demanda por alimentos (Mostafa, 2020). Nesse sentido, a implementação de práticas que promovam a gestão eficiente do recurso, aliada ao desenvolvimento de tecnologias inovadoras será fundamental para o desenvolvimento da agricultura irrigada. Uma tecnologia que tem sido amplamente estudada em trabalhos recentes, visando a otimizar o uso da água na agricultura e aumentar o rendimento e qualidade da produção é a magnetização da água de irrigação (Putti *et al.*, 2018; Verssiani *et al.*, 2021; Zhou *et al.*, 2021).

O uso dessa tecnologia na agricultura foi posterior às extensas aplicações e benefícios observados na área médica (Pang; Deng, 2008). No Brasil, na área agrícola, ela foi introduzida inicialmente no semiárido nordestino como uma alternativa para reduzir os impactos das águas salinas características da região, que são usadas para irrigação.

Esse tratamento consiste em submeter a água a um campo magnético de força suficiente; com isso, as ligações de hidrogênio da molécula em estado líquido são quebradas por forças de Lorentz, e grandes agregados de moléculas de água se quebram para formarem agregados menores ou mesmo moléculas de água individuais (Hozayn *et al.*, 2016).

Esse fenômeno leva a várias mudanças nas características da água líquida, como redução da tensão superficial, aumento da área superficial específica, aumento da pressão osmótica e grau de solubilidade, aumento da permeabilidade, aumento da viscosidade e redução

condutividade elétrica (Ahmed; Bassem, 2013; Esmailnezhad *et al.*, 2017; Kadhim; Alghazali, 2021; Liu; Hong; Shi, 2017; Zhao *et al.*, 2022). Wang, Wei e Li (2018), em estudo mais recente, estudou o efeito do campo magnético nas propriedades físicas da água e observaram aumento na evaporação e uma diminuição no calor específico e no ponto de ebulição após o tratamento.

As alterações nas propriedades físicas da água podem ser mantidas por um determinado tempo (Zhao *et al.*, 2022). Surendran, Sandeep e Joseph (2016) identificaram que o tratamento magnético de soluções tende a reduzir a condutividade elétrica e que essa diferença é anulada após 108 horas, retornando a valores originais. Silva, Queiroz Neto e Petri (2015) observaram que os efeitos de memória de cátions tratados com campo eletromagnético podem durar até dois dias, porém o aquecimento da solução a temperatura de 60°C por 20 min anula esse efeito.

O tratamento na irrigação pode ser obtido pela passagem de água por meio de imãs permanentes ou eletroímãs instalados em uma tubulação de alimentação. Os imãs permanentes são instalados ao redor do tubo de entrada de água. Já no caso dos eletroímãs, quando a eletricidade é passada por um fio conectado a imãs, um campo magnético é criado ao redor do tubo (Liu; Hong; Shi, 2017).

Segundo Fanous *et al.* (2017), os dispositivos magnéticos também são capazes de promover alterações diretamente nas propriedades físico-químicas do solo, como no teor de umidade, porosidade e infiltração. O tratamento magnético pode também aumentar a lixiviação de sais e melhorar o efeito de dessalinização do solo (Wang *et al.*, 2023; Zhou *et al.*, 2021). Esse efeito benéfico da tecnologia é amplamente estudado em literatura e foi o principal motivo da tecnologia ter sido introduzida no Brasil.

Zlotopolski (2017), avaliou o efeito da magnetização da água na taxa de acúmulo de sais, a distribuição dos sais no perfil até 90 cm e se o tratamento poderia aumentar o efeito de lixiviação de sais solúveis abaixo da zona das raízes. Observaram que a água tratada apresentou efeito benéfico na redução de sais do solo quando a água salina era aplicada, mostrando o elevado potencial dessa tecnologia em regiões em que a água de irrigação apresenta condutividade elétrica elevada. Uma informação adicional observada por esse autor foi de que o solo regado com o tratamento magnético teve uma capacidade de retenção 25% maior, em comparação ao controle. E segundo o autor, esse efeito pode estar correlacionado à redução da tensão superficial e viscosidade da água, ocasionado pela aplicação do campo magnético.

Estudando os efeitos do tratamento magnético da água nas características de crescimento e absorção, transporte e distribuição de íons em *Populus × euramericana* 'Neva' sob estresse de NaCl, Liu, Hong e Shi (2017), observaram que sob estresse de sódio, as plantas de Neva que receberam água com o tratamento magnético apresentaram menor taxa de transporte do sódio

absorvido nas raízes para as folhas. Além disso, o aumento da tolerância ao sal, conferido pelo tratamento magnético, estava relacionado principalmente à compartimentação do Na^+ nos níveis celulares e ou teciduais e a taxa de migração de Na^+ na matriz de cultura.

Alterações na capacidade de infiltração de água em solos de texturas diferentes foram observadas por Khoshnavesh e Kiani (2014). Os autores observaram que esse tratamento magnético melhora a infiltração de água no solo, e que esse efeito é mais pronunciado em solos argilosos. Efeitos na macro e na micro porosidades foram observados por Moussa *et al.* (2020), com a aplicação da água eletromagnetizada. Tais autores observaram alterações na porosidade do solo, em experimento conduzido em vasos. Em média, o tratamento magnetizado aumentou a porosidade de 8,8-11,4% para 11,9-14,8% na escala macroscópica e de 13,1-14,2% para 20,6-22,7% na escala microscópica.

Alterações da intensidade do campo magnético podem apontar resultados agrônômicos distintos, como observado por Nie *et al.* (2021), que testando o efeito das intensidades de 200 mT, 400 mT, 600 mT sob a produção de biomassa e de matéria seca de plantas de algodão, constataram que a menor intensidade não resultou em efeito significativo. Já Wang, Wei e Li (2018), estudando o efeito da água eletromagnetizada sobre as propriedades físicas do solo, constataram que a condição ideal de magnetização foi na intensidade de 300 mT.

Estudando a influência da fertirrigação com água magnetizada e a intensidade do campo sobre a absorção dos nutrientes nitrogênio, potássio e fósforo em plantas de algodão, Nie *et al.* (2021) concluíram que na intensidade de 200, 400 e 600 mT, o teor de N e a absorção das plantas de algodão foram maiores do que o controle. Houve efeito significativo do tratamento eletromagnético para os teores de P nas plantas, na intensidade de 400 mT. Para os teores de K, verificou-se que o aumento da intensidade de indução do campo magnético resultou em tendência de elevação dos teores desse nutriente, presente nos tecidos dos algodoeiros.

A tecnologia de magnetização da água apresenta diversos relatos de benefícios agrônômicos em culturas e possibilidades de redução do volume de água aplicado na irrigação (PUTTI *et al.*, 2018), Mostafa (2020), estudando a influência da tecnologia de magnetização da água na fertirrigação sob o rendimento e componentes de rendimento da batata, comprovaram que o processo de magnetização da água de irrigação com a adição dos fertilizantes (fertirrigação) afetou positivamente as medidas vegetativas (altura da planta, número de folhas da planta e razão de clorofila) e as dimensões de engenharia dos tubérculos de batata, como comprimento, largura e espessuras que levam ao aumento da produtividade em 40,5%. De acordo com o autor, tais benefícios estão atribuídos ao papel da magnetização da água ao aumentar a absorção e assimilação dos nutrientes.

Verssiani *et al.* (2021), em estudo realizado em ambiente protegido, avaliaram as diferenças nas características agronômicas de cultivares de pimenta do gênero *Capsicum* quando submetidas à água magnetizada e constataram que houve efeito significativa do uso da água magnetizada às variáveis alométricas, a citar altura de planta, diâmetro de caule, área foliar e número de folhas na cultivar Cascavel, número de folhas nas cultivares Cayenne e Bico e área foliar na cultivar Guadalajara.

Hachicha *et al.* (2018) observaram incremento de 10% no rendimento da cultura da batata irrigada com água salina, sendo, portanto, a tecnologia recomendada para produtores que se deparam com solo e água de baixa qualidade. Em experimento conduzido em condições de campo, Zhou *et al.* (2021) relataram incrementos de produtividade de até 31,69% na cultura do algodão, com a aplicação do tratamento magnético da água. Os autores também observaram aumento no crescimento do algodoeiro, principalmente em solo de salinidade leve.

Examinando o impacto da tecnologia de magnetização da água na melhoria da germinação de milho sob água de diferentes níveis de salinidade, Abedinpour e Rohani (2017) constataram que os parâmetros de crescimento do milho em estágio inicial de desenvolvimento, como altura e peso de mudas foram melhorados, usando tecnologia magnética com água salina, enquanto a tendência oposta foi mostrada para aumentar a salinidade sem tratamento magnético.

Putti *et al.* (2018) analisaram a influência da água tratada magneticamente e potável para a cultura da cenoura submetida a diferentes lâminas de irrigação. Constataram que a irrigação magnetizada proporcionou um incremento na massa de matéria fresca nas lâminas de 50%, 75%, 100% e 125% da ETc, sendo que a lâmina que obteve a maior produção foi a de 100%, verificando assim a possibilidade do aumento da produtividade da cenoura, com uso do tratamento magnético da água de irrigação. Também foi observado aumento significativo para algumas variáveis biométricas da cultura, como o número de folhas, comprimento de bulbo e diâmetro para a cultura da cenoura, quando irrigada com água tratada magneticamente.

Alguns autores também têm destacado em seus estudos a influência do campo eletromagnético na remoção de incrustações e prevenção. Shi *et al.* (2023) identificaram em seu estudo que a magnetização pode mitigar a deposição de quartzo e silicato nas tubulações gotejadoras. Mahmoud, Yosra e Nadia (2016), examinando o efeito dessa tecnologia na potencialidade de escalonamento de águas duras, verificaram que o tratamento magnético da água afeta a cristalização de carbonato de cálcio, por retardar sua precipitação, e que o campo magnético induz um “efeito memória”, o que significa que as propriedades anti-incrustação da água tratada persistem por algum tempo após o tratamento magnético.

Sahin, Tunc e Eroğlub (2012), estudando, investigando o efeito da magnetização da água no entupimento de emissores por carbonato de cálcio em sistema de irrigação por gotejamento, obtiveram resultados que indicam que, quando a água salina média foi magnetizada antes de sua liberação no sistema, uma melhor uniformidade devido a uma menor taxa de entupimento do emissor pode ser alcançada, mostrando que essa tecnologia pode ser adotada para prevenção de entupimentos em irrigação localizada.

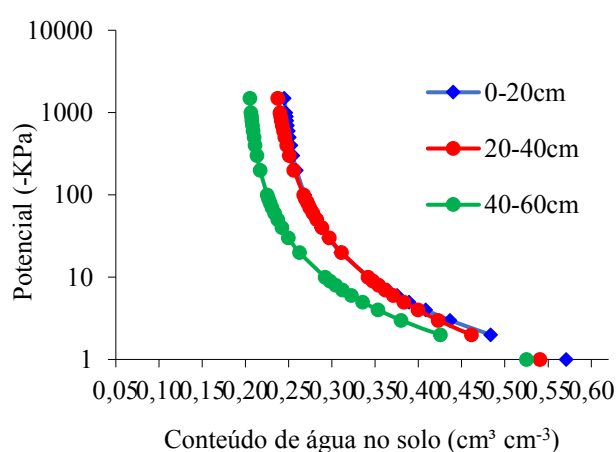
4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido entre julho de 2017 a junho de 2020, na Fazenda Vitória II, situada no município de Monte Carmelo, localizada nas coordenadas geográficas de 18°71'19''Sul e 47°58'96''Oeste, altitude média de 880 m. O solo da área experimental é classificado como um Latossolo Vermelho Distrófico, visto que apresenta saturação por bases, inferior a 50% na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B (Santos *et al.*, 2013). Apresenta clima tropical, com predomínio de verão quente e úmido e inverno frio e seco, classificado como Aw, com base na classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 22°C e a precipitação média anual de 1350 a 1500 mm, com seis meses secos (abril a setembro (Novais; Sanches; Brito, 2018).

Para a caracterização físico hídrica foram coletadas amostras indeformadas, em cilindros de 16,38 cm³ nas profundidades de 10, 30 e 50 cm, representando as camadas de 0 a 20 cm, 20 a 40 cm e 40 a 60 cm e enviada para o Laboratório do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), para elaboração da curva de retenção de água no solo (Figura 1).

Figura 1 - Curva de retenção nas camadas de 0 a 20 cm, 20 a 40 cm e 40 a 60 cm de profundidade.



Fonte: Autor (2023).

Os parâmetros de ajuste da equação da curva característica de água no solo, segundo o modelo de Van Genuchten (1980), e o parâmetro Θ_{cc} (umidade na capacidade de campo) e Θ_{pmp} (umidade no ponto de murcha permanente) obtido, considerando-se a umidade

correspondente ao potencial mátrico de -10 kPa e -1500 kPa, respectivamente, conforme consta na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores dos parâmetros empíricos de ajuste das curvas de retenção de água no solo (α , m e n), segundo modelo de Van Genuchten (1980), umidade residual Θ_r e umidade de saturação Θ_s , umidades na capacidade de campo (Θ_{cc}) e no ponto de murcha permanente (Θ_{pmp}), capacidade de água disponível no solo (CAD), e m e n parâmetros de ajuste do modelo.

Camadas (cm)	α kPa ⁻¹	m	n	Θ_r (cm ³ cm ⁻³)	Θ_s (cm ³ cm ⁻³)	Θ_{cc} (cm ³ cm ⁻³)	Θ_{pmp} (cm ³ cm ⁻³)	CAD (mm)
0 - 20	1,520	0,085	4,889	0,204	0,583	0,327	0,219	21,516
20 - 40	1,415	0,101	4,893	0,184	0,596	0,295	0,193	20,448
40 - 60	1,207	0,073	4,901	0,170	0,594	0,344	0,199	28,940

Fonte: Autor (2023).

4.2 VARIEDADE CULTIVADA, ADUBAÇÃO E TRATOS CULTURAIS

O experimento foi implantado em lavoura de *Coffea arabica*, cultivar Topázio MG1190. O plantio do cafeeiro foi realizado em 2010, no espaçamento de 3,80 m entre linhas e 0,60 m entre plantas, população de 4.386 plantas/ ha⁻¹.

Após a implantação do experimento, as adubações foram realizadas com base nas análises químicas do solo à produtividade esperada de cada safra, em sacas beneficiadas/ha, para cafeeiros adultos.

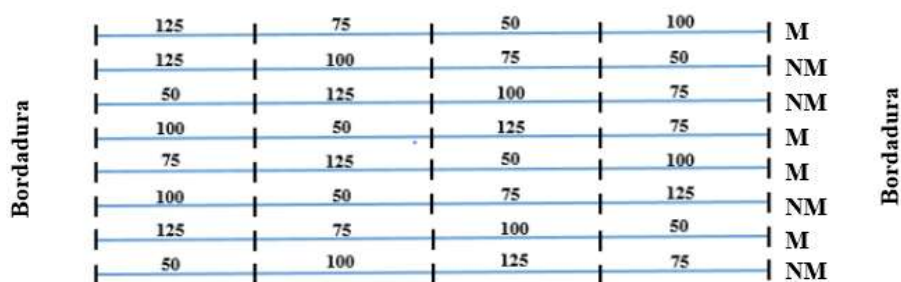
Também foram realizadas fertirrigação na área experimental. Como a vazão dos emissores era diferente entre os tratamentos, foi necessário instalar uma tubulação gotejadora adicional, com vazão de 2,4 L.h⁻¹ em todas as ruas do experimento, para que o volume de fertilizante aplicado via irrigação fosse igual em todas as parcelas. Assim, sempre que a fertirrigação era realizada, abriam-se essas tubulações adicionais enquanto a tubulação que determinava os tratamentos era fechada. E quando a aplicação de fertilizantes via irrigação terminava, os registros eram invertidos novamente.

O manejo fitossanitário e o controle de plantas infestantes foram realizados conforme Matiello *et al.* (2015), sendo adotadas as mesmas recomendações em toda a área experimental.

4.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

As unidades experimentais consistiram-se em parcelas com 18 plantas. O delineamento estatístico utilizado foi de blocos casualizados (DBC), com quatro repetições, no esquema de parcelas subdivididas, composto pelos fatores: fator 1 (parcelas): tipo de água de irrigação (eletromagnetizada e não eletromagnetizada), e fator 2: (subparcelas): níveis de reposição hídrica (125%, 100%, 75% e 50% da estratégia de manejo adotada na fazenda). Os tratamentos foram iniciados em julho de 2017; o croqui experimental está ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Croqui experimental



M: Magnetizada; NM: não magnetizada.

Fonte: Autor (2023).

As recomendações de irrigação foram baseadas no nível de 100% e a obtenção dos demais níveis testados foi realizada através da variação da vazão e dos espaçamentos entre os emissores, conforme Tabela 2. A estratégia de decisão das irrigações era baseada no balanço hídrico no solo, visando à manutenção da água disponível entre 100 e 50% da CAD.

Tabela 2 – Valores dos níveis de reposição hídrica em %, do manejo adotado pela fazenda nos tratamentos experimentais e suas respectivas vazões dos emissores (L.h⁻¹), espaçamento entre os emissores (cm) e intensidade de aplicação (mm.h⁻¹).

Níveis de reposição (%)	Vazão do emissor (L/h)	Espaçamento entre emissores (cm)	Intensidade de aplicação (mm/h)	Lâminas de projeto (mm/dia)
125	2,00	0,44	1,30	4
100	2,00	0,60	1,06	3,2
75	2,00	0,70	0,83	2,5
50	2,00	1,10	0,53	1,6

Fonte: Autor (2023).

4.4 MONITORAMENTOS METEOROLÓGICOS

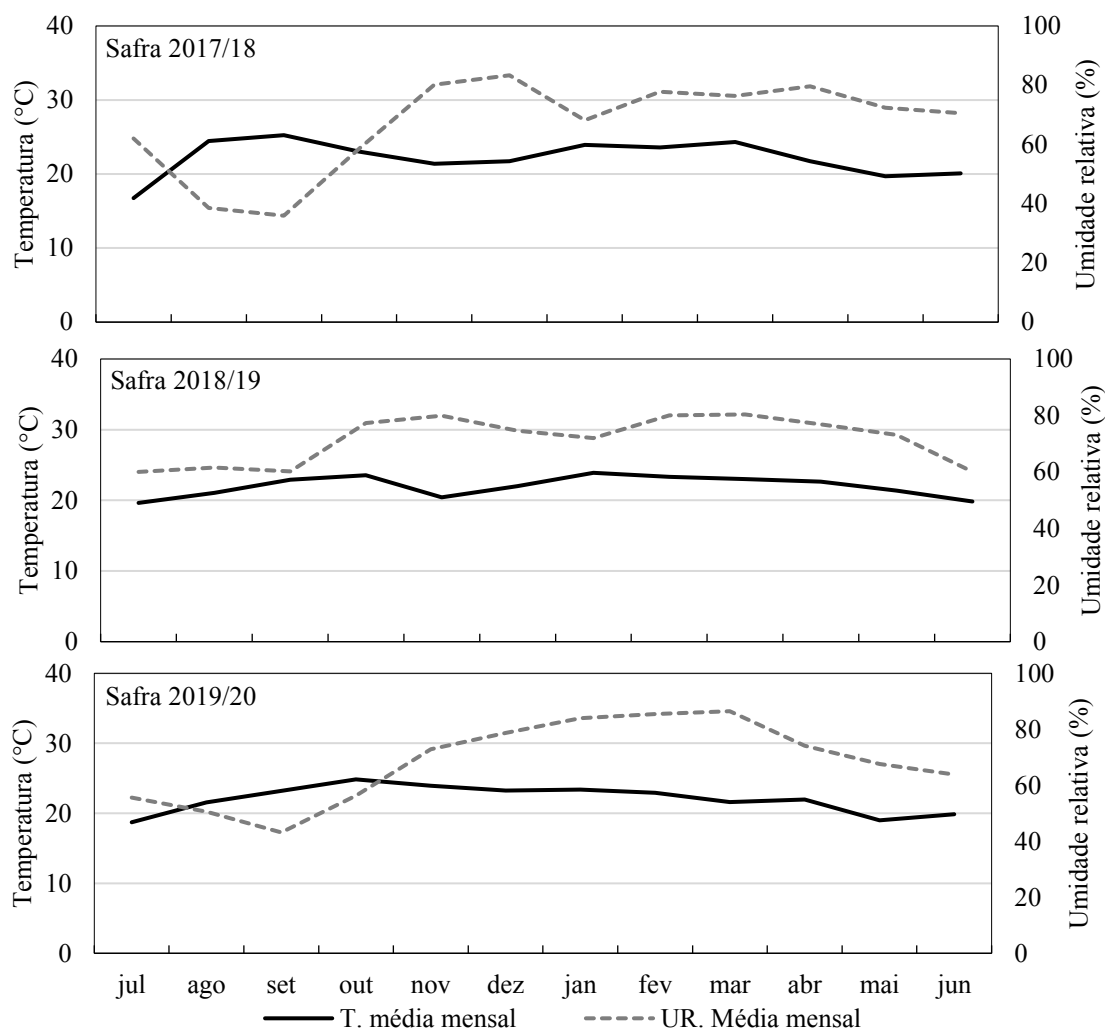
Foram monitorados parâmetros meteorológicos locais durante o período de condução do experimento (julho de 2017 a junho de 2020), através de uma estação Davis Vantage Pro2 instalada na fazenda, que ficava há 50 metros da área experimental, de onde os dados foram coletados a cada 15 minutos e calculadas as médias diárias da temperatura ($^{\circ}\text{C}$), a umidade relativa do ar (%) média, velocidade média do vento (m s^{-1}), radiação solar (W m^{-2}) e o acumulado de precipitação pluviométrica (mm).

As médias mensais de temperatura e umidade relativa durante as três safras de condução do experimento estão demonstradas na Figura 3. As temperaturas médias nas safras 2017/18, 2018/29 e 2019/20 foram de 22,2, 22,0 e 22,0, respectivamente. Embora a temperatura média tenha variado pouco na comparação das três safras, a amplitude térmica em cada ciclo apresentou maior variação. As safras 2017/18 e 2018/19 apresentaram maior diferença entre as máximas e mínimas mensais, com valores de 8,5 $^{\circ}\text{C}$ e 6,1 $^{\circ}\text{C}$, respectivamente. O mês de julho foi o mais frio, com temperatura igual 16,7 $^{\circ}\text{C}$ e 18,7 $^{\circ}\text{C}$ para as safras 2017/18 e 2019/20, respectivamente. Já as máximas foram observadas no mês de setembro (25,2 $^{\circ}\text{C}$), na safra 2017/19 e no mês de outubro (24,8 $^{\circ}\text{C}$) na safra 2019/20. A safra de menor amplitude térmica foi a de 2018/19 (4,3 $^{\circ}\text{C}$), com máxima igual a 23,9 $^{\circ}\text{C}$, registrada em janeiro e mínima de 19,6 $^{\circ}\text{C}$, observada em julho.

Os dados de temperatura média registrados nas três safras encontram-se dentro do intervalo ótimo para o cafeeiro arábica que, segundo DaMatta, Ramalho (2006), variam de 18 a 23 $^{\circ}\text{C}$. Em condições de temperaturas médias anuais acima desse valor, um dos principais problemas observados nos cafés arábicas é a desuniformidade de maturação e altas taxas de maturação precoce (Teixeira *et al.*, 2014). Temperaturas relativamente altas, associadas ao déficit hídrico durante o período de floração podem causar abortamento floral (Camargo, 1985).

As umidades relativas médias observadas nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20 foram de 67%, 71,4% e 68,2%. Os meses de julho a setembro foram os mais secos; os mais úmidos foram entre janeiro e março.

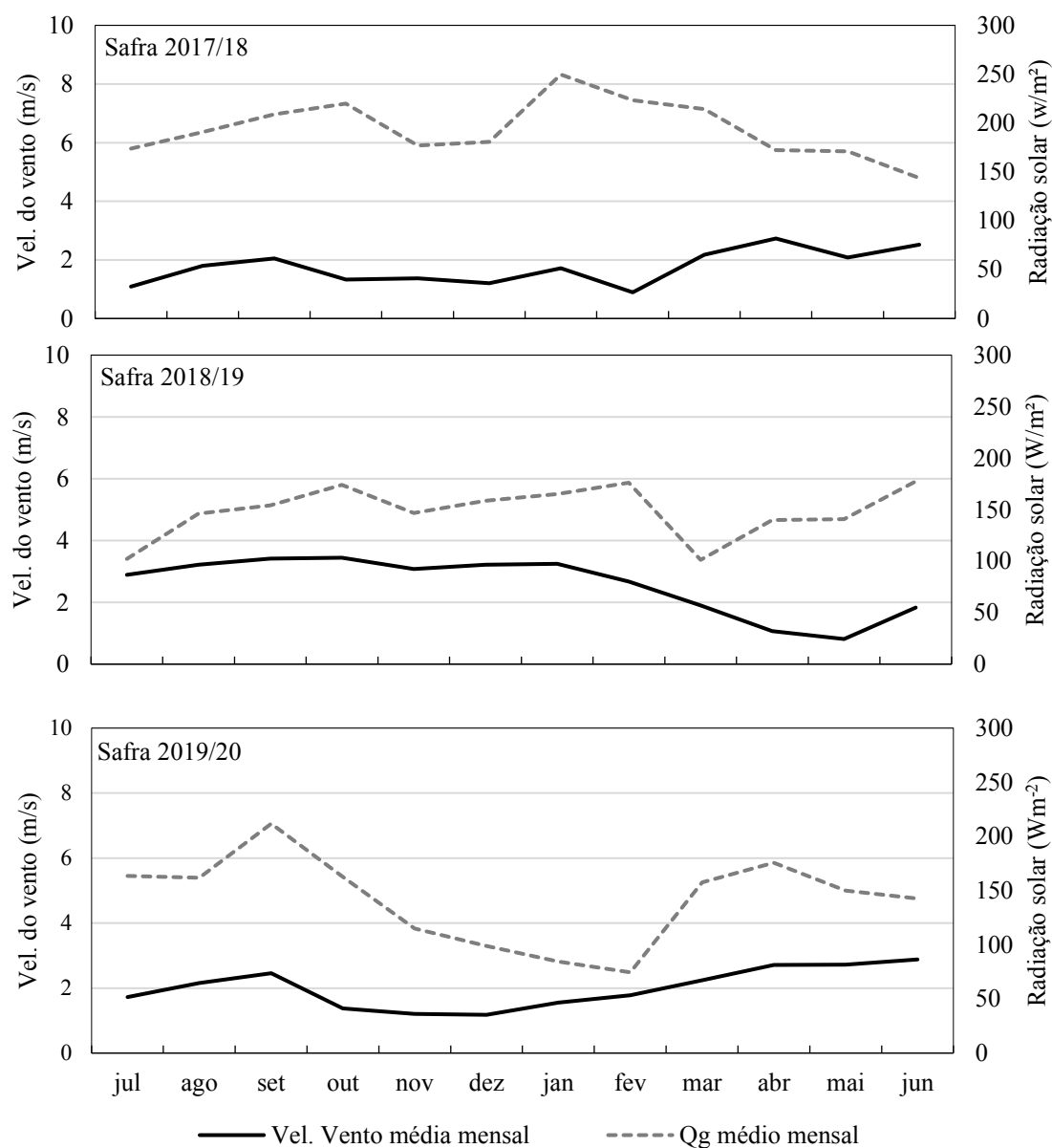
Figura 3 - Temperatura e umidade relativa média mensal nas safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20



Fonte: Autor (2023).

Os dados de velocidade do vento, média diária e radiação solar média diária para os três anos de condução do ensaio ocorreram conforme Figura 4. As velocidades médias durante as safras 2017/18, 2018/19 e 2019/20 foram 1,4; 2,6; e 2,0 m s^{-1} , respectivamente. Já para os dados de radiação solar, a maior média foi observada na safra 2017/18 (203,3 W m^{-2}), seguida pelas safras 2018/19 (148,2 W m^{-2}) e 2019/20 (141,7 W m^{-2}).

Figura 4 - Comportamento diário da velocidade do vento e da radiação solar (Q_g) durante as três safras agrícolas de condução do experimento (2017/18, 2018/19 e 2019/20).

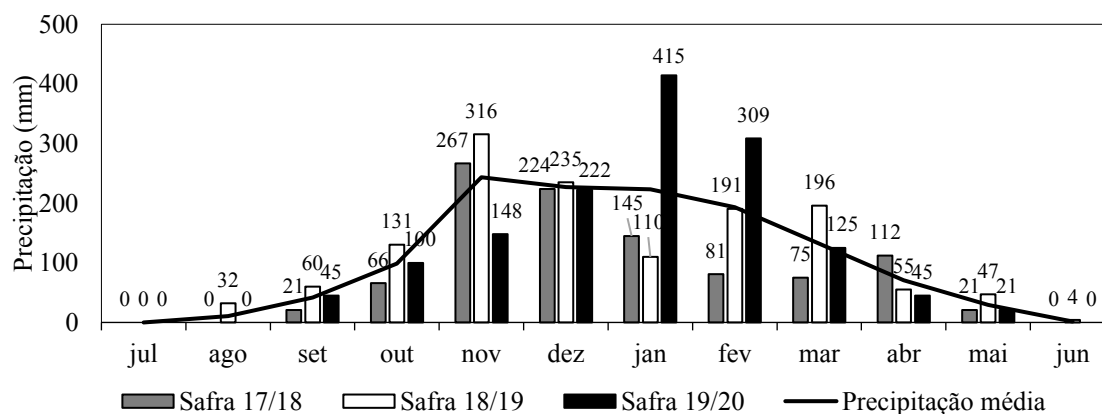


Fonte: Autor (2023).

A precipitação total durante todo o período de condução do experimento foi de 3817 mm. A safra 2019/20 foi a mais chuvosa, com acumulado de 1429 mm, seguida pelas safras 2018/19 (1376 mm) e 2018/2017 (1012 mm). Os meses de novembro, dezembro e janeiro, em média, foram os mais chuvosos, com registros de precipitação de 244, 227 e 223 mm,

respectivamente. O volume de chuva nesse período correspondeu a 54% da precipitação anual no período avaliado, conforme consta na Figura 5.

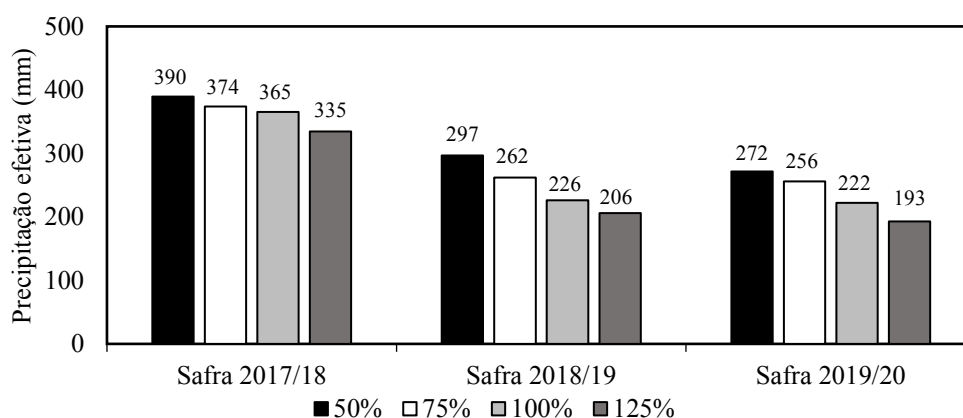
Figura 5 - Acumulado mensal da pluviometria durante as três safras agrícolas de condução do experimento (2017/18, 2018/19 e 2019/20) e na média geral



Fonte: Autor (2023).

A precipitação efetiva considera a chuva que infiltrou no solo e permaneceu disponível para a planta entre o ponto de murcha permanente e a capacidade de campo, na profundidade efetiva do sistema radicular da cultura. O volume de chuva aproveitado efetivamente pela cultura foi diferente entre os diferentes níveis de reposição. Na figura 6, conta a precipitação efetiva estimada através de balanço hídrico climatológico nas três safras estudadas, para cada nível de reposição.

Figura 6 – Precipitação efetiva acumulada em cada nível de reposição estudado, durante as safras de condução do experimento (2017/18, 2018/19 e 2019/20)



Fonte: Autor (2023).

A partir desses dados meteorológicos, estimou-se em escala diária a evapotranspiração de referência (ET_o), através do modelo de Penman-Monteith parametrizada por Allen et al. (1998), recomendada como método padrão de obtenção desse parâmetro pela FAO, conforme a Equação 1.

$$ET_o = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 U_2)} \quad (1)$$

Em que:

ET_o: evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹);

Δ: declividade da curva de pressão de vapor (kPa °C⁻¹);

R_n: radiação líquida total diária (MJ m⁻² dia⁻¹);

G: fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹);

γ: constante psicrométrica (kPa °C⁻¹);

T: temperatura média do ar (°C);

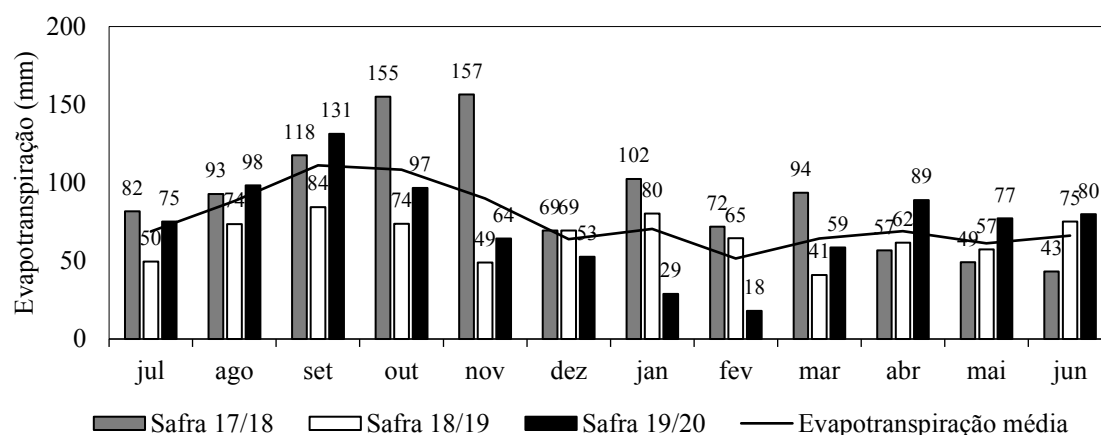
U₂: velocidade média do vento, medido a 2 metros de altura (m s⁻¹);

e_s: pressão de saturação de vapor de água (kPa);

e_a: pressão atual de vapor de água (kPa).

Na Figura 7 consta-se o acumulado mensal da evapotranspiração média de cada safra e do período total de condução do ensaio. Os maiores índices médios de evaporação ocorreram nos meses de agosto e outubro, devido principalmente à baixa umidade relativa do ar, registrada nesse período. Houve balanço hídrico negativo entre os meses de maio e outubro, em que a evaporação média mensal foi superior à precipitação, fazendo com que a disponibilidade de água fosse comprometida, aumentando a necessidade de irrigação.

Figura 7 - Acumulado mensal da evapotranspiração de referência ETo durante as três safras de condução do experimento (2017/18, 2018/19 e 2019/20) e na média geral



Fonte: Autor (2023).

4.5 CARACTERIZAÇÃO DA IRRIGAÇÃO

O sistema de irrigação utilizado foi o de gotejamento, com emissores autocompensantes Naan Tif em vazões e espaçamento, variando em função do tratamento, conforme já demonstrado na tabela 2. O cabeçal de controle foi composto por um conjunto moto-bomba Weg W22 Plus NBR 17094-1, com potência de 20 cv e rendimento de 90,8%, e conjunto de filtragem composto por filtros de disco e tela.

A água recebia o tratamento eletromagnético através de um dispositivo instalado no cabeçal de controle, localizado depois do sistema de filtragem. Esse dispositivo era composto por uma seção de tubo metálico de 81 cm com diâmetro interno de 10,4 cm, com peso de 6,6 kg, Pressão nominal PN16 e taxa de fluxo máxima de 21,6 m³/ h. Esse dispositivo conecta-se a uma caixa de comando, em construção de policarbonato, que é ligada a uma fonte de energia para geração do campo eletromagnético. À medida em que a água passava pelo interior do tubo eletromagnetizador, ela era tratada e seguia para a tubulação gotejadora para ser fornecida às plantas.

A uniformidade de distribuição de água foi determinada utilizando-se a metodologia proposta por Keller e Karmeli (1974). O teste foi realizado em dois gotejadores de todas as linhas centrais de cada subparcela, com um tempo de coleta de 5 minutos. A uniformidade da irrigação foi expressa pelo coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), de acordo com a equação 2. A interpretação da uniformidade baseou-se na metodologia apresentada por (Keller; Karmeli, 1974), em que valores maiores que 90% são considerados “Excelentes”; entre 80 e 90% classificados como “Bom”; 70 e 80%, “Regular” e menor que 70%, “Ruim”.

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |xi - \bar{x}|}{n \cdot \bar{x}} \right) \quad (2)$$

Em que:

CUC: Coeficiente de uniformidade de Christiansen (%);

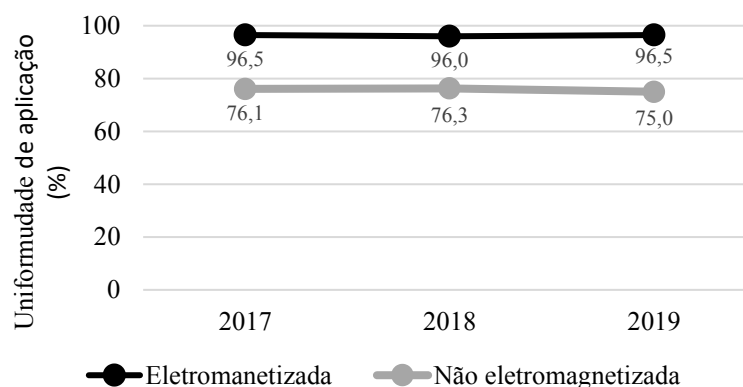
xi : precipitação no pluviômetro de ordem i (mm);

\bar{x} : precipitação média (mm);

N: número de observações.

Os valores de coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) para cada safra estudada podem ser observados na Figura 8. A uniformidade observada na implantação do experimento foi considerada “Excelente” no tratamento eletromagnético e “Regular”, no não magnetizado. Na última avaliação, em 2019, observa-se que a uniformidade do tratamento eletromagnetizado se manteve; já no outro, houve redução. Diversos autores relatam o potencial da tecnologia de tratamento magnético da água para mitigar entupimentos dos emissores (Mahmoud; Yosra; Nadia, 2016; Sahin; Tunc; Eroğlub, 2012; Shi *et al.*, 2023). Porém, um estudo mais aprofundado dos dados de uniformidade de distribuição desse experimento precisaria ser realizado em um segundo trabalho, para verificar se essa diferença observada é decorrente dos tratamentos.

Figura 6 - Uniformidade de aplicação do sistema de irrigação dos tratamentos eletromagnetizado e não eletromagnetizado.



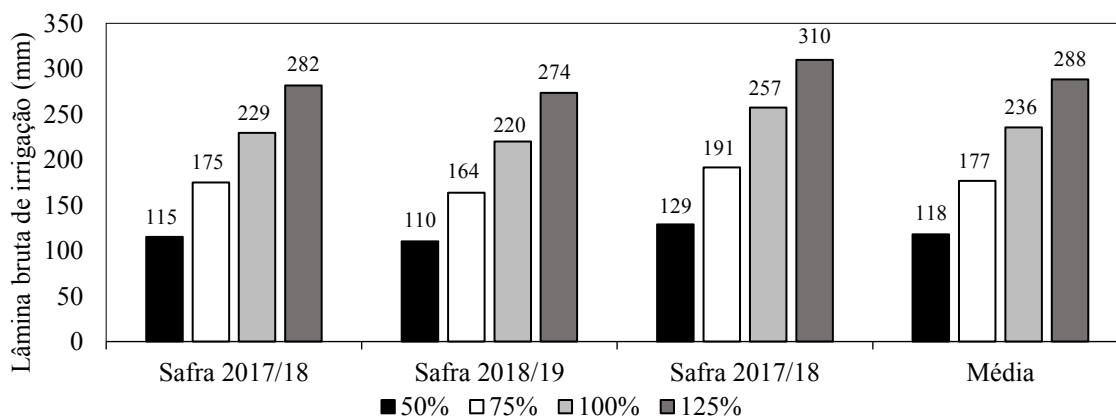
Fonte: Autor (2023).

Os dados de volume de irrigação total aplicados em cada lâmina de irrigação nas safras estudadas estão demonstrados na Figura 9. A maior necessidade de irrigação ocorreu na terceira

safras; já a menor ocorreu na segunda safra. A lâmina média das 3 safras correspondentes ao tratamento 100% foi 235,6 mm ano⁻¹. Vale ressaltar que houve alguns períodos ao longo da condução do experimento em que a captação não foi suficiente para suprir a demanda da cultura, devido ao programa de racionamento de água na região.

Esse resultado aproximou-se do volume aplicado por Soares *et al.* (2006), que trabalhando em Patrocínio-MG, região do Cerrado Mineiro, em cafeeiros adultos da variedade Rubi, irrigados por gotejamento, onde a decisão de irrigação foi realizada com auxílio do software Irriga-Gesai (versão antiga do Irripulus), aplicou-se uma lâmina de irrigação média de 390 mm ano⁻¹, nas safras 2002-2003 e 2003-2004, obtendo-se uma produtividade média de 52,4 sc ha⁻¹. Esse autor utilizou a técnica de déficit hídrico buscando a otimização da florada, o que pode ter contribuído para os resultados terem sido semelhantes, já que também foi realizado esse manejo no experimento. A precipitação acumulada no período do ensaio foi de 3.817 mm.

Figura 9 - Lâmina bruta de irrigação aplicada em cada tratamento, para as três safras de condução do experimento



Fonte: Autor (2023).

4.6 MANEJO DE IRRIGAÇÃO

A recomendação das irrigações do experimento foi baseada no nível de reposição 100%, que seguia o manejo adotado na fazenda, e os demais tratamentos, que eram frações dessa estratégia referencial, tiveram o mesmo número de eventos e tempo de irrigação, variando a lâmina aplicada em função da intensidade de aplicação dos emissores, conforme apresentado na Tabela 2.

O manejo da irrigação referencial era baseado no controle do balanço de água no solo, simulado com base no balanço hídrico climatológico, seguindo metodologia Thornthwaite e

Mather (1957), com algumas adaptações. Para isso, utilizou-se uma planilha em Excel, onde os dados de evapotranspiração real da cultura (ET_r), pluviosidade e irrigação eram imputados diariamente.

A irrigação era em turno de rega variável e as decisões visavam à manutenção da água disponível entre 50 e 100% da CAD. A profundidade do sistema radicular adotada para a cultura do café foi igual a 60 cm (Barreto *et al.*, 2006).

Para obtenção da estimativa evapotranspiração real da cultura (ET_r), foi feito o ajuste da evapotranspiração de referência, com o coeficiente da cultura (K_c) e, sabendo que o sistema é de irrigação localizada, também foi utilizado o coeficiente de localização (K_l). O K_c adotado para cafeeiro adulto em plena produção foi igual a 1,1, proposto por Santinato, Fernandes e Fernandes (2008). Já o K_l, proposto por Keller e Bliesner (1990), considerando P igual a 0,37 ou seja, aproximadamente 37% de área sombreada, foi obtido conforme equação 3.

$$K_l = \frac{P}{0.85} \quad (3)$$

Em que:

K_l: coeficiente irrigação localizada;

P: área sombreada.

Utilizou-se o coeficiente de estresse (K_s), que faz um ajuste da evapotranspiração da cultura em função da disponibilidade de água no solo, conforme BERNARDO, (1995) (equação 4).

$$K_s = \frac{\ln[(\theta_{\text{atual}} - \theta_{\text{pmp}}) + 1]}{\ln(\theta_{\text{cc}} - \theta_{\text{pmp}})} \quad (4)$$

Em que:

K_s: refere-se ao coeficiente de estresse;

θ_{atual}: umidade atual do solo;

θ_{cc}: umidade do solo na capacidade de campo; θ_{pmp} a umidade do solo no ponto de murcha permanente.

Por fim, o cálculo da estimativa de evapotranspiração real (ET_r) foi realizado conforme equação 5.

$$ET_r = ET_o \cdot K_c \cdot K_l \cdot K_s \quad (5)$$

Em que:

ET_r: evapotranspiração real da cultura.

Ao longo da condução do experimento, devido a problemas de escassez hídrica na região, em períodos do ano com elevada demanda hídrica, os produtores começaram a estar sujeitos a programa de racionamento. Nesses períodos, a lâmina de irrigação nem sempre foi suficiente para satisfazer a estratégia de manejo adotada, visto que a captação da fazenda era controlada pelo programa de racionamento.

4.7 AVALIAÇÕES REALIZADAS

4.7.1 Produtividade

Em todos os anos de avaliação da produção (2018, 2019 e 2020), a colheita foi realizada quando o percentual de frutos verdes estava menor que 20%. Para verificar esse percentual, foram coletadas amostras de 1 L de café em plantas não úteis na área experimental e realizada a contagem de frutos cereja, verde, verde cana e seco.

Foram colhidas por derriça manual as seis plantas centrais dentro de cada parcela. Os frutos coletados na planta e os frutos caídos no chão foram somados e contabilizados no volume de café total. Foi mensurado o volume de café total e retirada uma amostra de 10 L, totalizando 32 amostras.

Essas amostras foram identificadas e colocadas em sacos vazados de polietileno, para posterior secagem no sol, em terreiro de chão, até atingirem a umidade ideal para beneficiamento (11% de umidade). Após alcançar o teor de umidade desejado, essas amostras eram pesadas e denominadas café “coco”.

Para o beneficiamento, foi pesada a amostra de café em “coco” e colocada em descascador de amostras movido por motor elétrico, onde grãos de café foram separados da palha, dando origem à amostra de café beneficiado, que foi pesado e determinado o teor de água. A partir do peso dessa amostra, foi estimado o peso de café beneficiado da amostra de café “coco”.

A partir da estimativa de café beneficiado na amostra de 10 L, calculou-se a produção de café beneficiado por parcela (Equação 6) e em seguida, realizada a correção dessa estimativa para a umidade de 11% (equação 7).

$$E_{\text{parcela}} = \left(\frac{V_t}{V_{10L}} \right) \quad (6)$$

Em que:

E_{parcela} : a estimativa de produção de café beneficiado na parcela (kg);

V_t : volume total de café colhido na parcela, somando café de chão e café colhido na planta (L);

V10L: alíquota coletada do café total no momento da colheita (10L).

$$E11\% = \left(\frac{100 - Tu}{100 - Td} \right) \times Eparcela \quad (7)$$

Em que:

E11%: estimativa de produção de café beneficiado na parcela corrigida para a umidade de 11% (kg);

Eparcela: a estimativa de produção de café beneficiado na parcela (kg);

Tu: teor de água da amostra de café beneficiado da parcela (%);

Td: teor de água desejado (11%).

A estimativa da produtividade em sacas de 60kg, beneficiadas por hectare (Equação 8), foi calculada através da seguinte equação:

$$Prod = 12,18 \times E11\% \quad (8)$$

Em que,

Prod: refere à produtividade de café beneficiado, sacas ha⁻¹

12,18: trata-se de um coeficiente de conversão da produção de kg.parcela⁻¹ para sacas beneficiadas.ha⁻¹

4.7.2 Qualidade física do café

4.7.2.1 maturação dos frutos

Durante a colheita, foi retirado o volume de 300 mL de cada uma das 32 amostras de 10 L e esses frutos foram classificados quanto à sua maturação (verde, verde cana, cereja, passa e seco) e contabilizados manualmente. Após a classificação, esses frutos foram devolvidos à amostra inicial de 10 L, para realização dos cálculos de produtividade.

4.7.2.2 classificação por peneira

A classificação por peneira baseia-se no tamanho dos grãos. Foi realizada utilizando-se uma amostra de 100 g de café beneficiado, onde os grãos foram classificados em peneiras intercaladas, de grãos chatos, de números 14 a 19, e de grãos moca de números 8 a 13. Avaliou-se o percentual de retenção de cada peneira individualmente, e o somatório das peneiras 17 e acima, para grãos chatos (chato gráudo) e 16 e 15 (chato médio), 14 e menores (chato miúdo). Para o café moca somaram-se as peneiras 13, 12 e 11 (moca gráudo), peneira 10

(moca médio), 9 e menores (moca miúdo) (BRASIL, 2003). Além das classificações sugeridas pela Instrução Normativa nº8, foi adicionado a classe “16ACIM”, que é muito usual entre cafeicultores e indica o percentual de grãos retido nas peneiras 16 e acima.

4.7.3 Eficiência no uso da água

A eficiência do uso da água foi definida pela relação entre produção média (P) com lâmina bruta de irrigação média das três safras (LB) e precipitação efetiva (P efetiva), conforme a equação (9). Foi analisada para cada uma das safras e na média das três.

$$EUA = \frac{P}{LB + P \text{ efetiva}} \quad (9)$$

Em que:

EUA: eficiência no uso da água (kg.m^{-3-1});

P: produção média nas três safras (kg);

LB: lâmina bruta média das três safras (m^3);

P efetiva: precipitação efetiva (m^3).

4.8 TRATAMENTO DOS DADOS

Para análise estatística foi utilizado o software estatístico AGROESTAT (BARBOSA; MALDONADO, 2010). Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando-se o teste F ($P \leq 0,05$) para verificar a significância. Quando constatado efeito significativo, os dados foram submetidos ao teste de Tukey (tipo de água de irrigação) e análise de regressão (para os níveis de reposição).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PRODUTIVIDADE

De acordo com a análise de variância (Tabela 3), a produção de grãos beneficiados de café arábica foi significativamente afetada pelo tratamento eletromagnético da água e pelos níveis de reposição, exceto para a safra 2018/19. Não houve efeito significativo para a interação entre os fatores. O fato de não ter sido observada diferença significativa para ambos os fatores na safra relatada, pode ser explicado pela característica bienal da espécie, na qual existem diferenças morfológicas, fisiológicas e produtivas, e isso resulta em diferenças expressivas nos resultados de produtividade em anos subsequentes (Melo; Bonini; Mucoucah, 2022). Padrão semelhante nos dados de produção foi observado por Silva *et al.* (2022), que estudando o rendimento do cafeeiro em função de diferentes lâminas de irrigação, não constataram efeito significativo em um dos anos de baixa produção.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância com as fontes de variação, graus de liberdade (GL) e quadrados médios, com significância, para produtividade em cafeeiros arábica cv. Topázio MG1180 submetidos a diferentes tratamentos da água e níveis de reposição hídrica, nas safras 2017/18, 2018/29, 2019/20 e na média geral.

Fontes de variação	GL	Quadrado médio			
		2017/18	2018/19	2019/20	média geral
Blocos	3	122,6724*	60,8378NS	397,0322**	49,1429NS
Água	1	712,8267**	22,3482NS	164,7650*	134,6179*
Resíduo 1	3	12,8673	34,7111	8,9428	5,8486
Parcelas	7				
Níveis	3	541,5143**	29,7591NS	460,1004**	269,5628**
Água x Níveis	3	91,9462NS	1,8784NS	34,6290NS	13,1254NS
Resíduo 2	18	32,0903	32,8284	73,8060	5,1127
Total	31				
CV (%)		(1) 4,19	(1) 23,81	(1) 4,93	(1) 4,24
		(2) 6,61	(2) 23,16	(2) 14,17	(2) 3,96

Fonte: Autor (2023). Médias seguidas da mesma letra dentro de cada dose não diferem significativamente pelo Teste F a 5% de probabilidade. **, *, NS: significativo a 1%, significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

O uso da água eletromagnetizada proporcionou melhoria significativa da produtividade nas safras de alta produção (2017/18 e 2019/20), com incremento de 11,6% e 7,8%,

respectivamente. Tal efeito benéfico também foi observado na média geral da produtividade dos três anos, onde o aumento foi de 7,4% (Tabela 4). Fernandes et al. (2016b), estudando a tecnologia da magnetização da água de irrigação em cafeeiros cv. Catuaí, em Araguari/MG, constataram aumento de produtividade de 46% com o uso da tecnologia, na média das quatro safras estudadas. Incremento para essa variável com o uso do tratamento eletromagnético da água de irrigação também foi observado em outras culturas.

Maheshwari e Grewal (2009) identificaram aumento no rendimento de 26 e 12% na cultura do aipo tratada com água reciclada e água salina de 3000 ppm, respectivamente. O autor também observou efeitos benéficos do tratamento de água potável, reciclada e salina de 1000 ppm na cultura da ervilha, com aumentos de 7,8%, 5,9%, e 6,0% na produção de vagens. Efeitos semelhantes foram relatados nas culturas da canola e feijão caupi, com incrementos de até 64,0% e 38,7%, respectivamente (Adebayo *et al.*, 2022; Hozayn *et al.*, 2016).

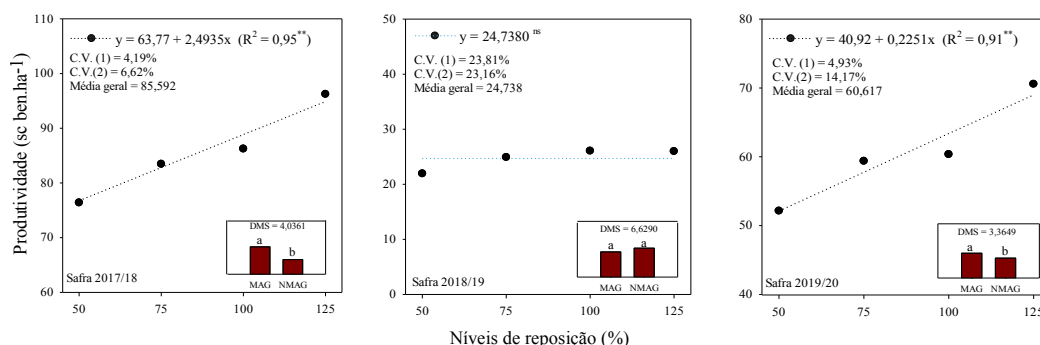
Tabela 4 - Valores médios obtidos para produtividade, em sacas beneficiadas.hectare⁻¹, nos cafeeiros arábica cv. Topázio MG1180 em função dos tratamentos da água de irrigação, nas três safras estudadas (2017/18, 2018/19 e 2019/20) e na média geral das três safras

Fatores	2017/18	2018/19	2019/20	média geral
	sc/beneficiadas/ha ⁻¹			
Eletromagnetizada	90,3 a	25,6 a	62,9 a	59,0 a
Não eletromagnetizada	80,9 b	23,9 a	58,3 b	54,9 b

Fonte: Autor (2023). Médias seguidas da mesma letra dentro de cada dose não diferem significativamente pelo Teste F a 5% de probabilidade.

Os níveis de reposição da irrigação apresentaram diferenças significativas na produtividade do cafeeiro apenas nas safras 2017/18 e 2019/20, nas quais houve um padrão de aumento linear, com valor de R² de 0,95 e 0,91, respectivamente, sendo o nível de 125% o que resultou em maior produtividade (Figura 10). Comparando-se com o nível de 125, os níveis de 50, 75 e 100% apresentaram redução de 25,9%, 15,3% e 11,6% para essa variável em 2017/18 e 35,4%, 18,8% e 16,9% em 2019/20. A baixa disponibilidade de água no tratamento de 50% levou a uma queda drástica na produção. Silva *et al.* (2022) também observaram esse efeito nocivo da reposição deficitária exagerada na produtividade da cultura do café.

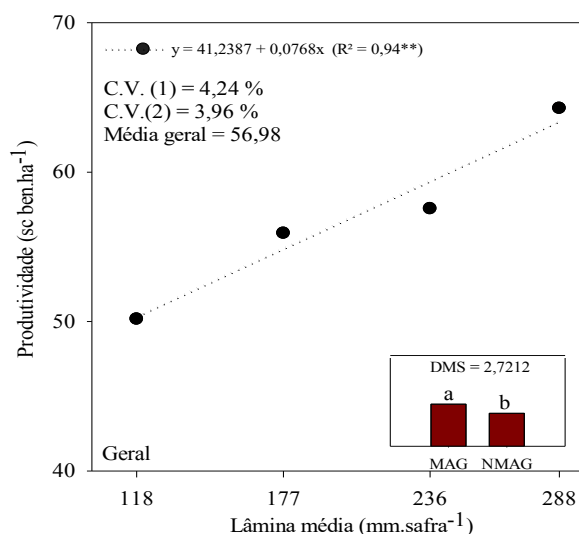
Figura 7 – Produtividade, em sacas beneficiadas/hectare⁻¹, em função dos níveis de irrigação, para as três safras de condução do experimento. As médias seguidas da mesma letra dentro de cada dose não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **, *: significativo a 1%.



Fonte: Autor (2023).

A análise de regressão indicou que a equação linear ($R^2 = 0,94$) é a que melhor descreve o efeito da lâmina média anual aplicada na produtividade do cafeeiro (Figura 11). Constatou-se de acordo com a equação, referente à média geral, que o nível que proporcionou a produtividade máxima foi o de 125%, com lâmina anual aplicada de 288 mm e a produtividade de 64 sc ha⁻¹. Isso sugere que avaliando a média das três safras, o manejo adotado pela fazenda (nível de 100%), com manutenção da água disponível no solo entre 50% e 100% da capacidade total de armazenamento, não foi suficiente para suprir a necessidade da cultura em anos de carga produtiva alta.

Figura 8 - Produtividade, em sacas beneficiadas/ hectare⁻¹, em função da lâmina bruta média, aplicada nas três safras. As médias seguidas da mesma letra dentro de cada dose não diferem significativamente pelo teste de Tuckey.



Fonte: Autor (2023).

5.2 QUALIDADE FÍSICA DO CAFÉ

5.2.1 Maturação dos frutos

A análise de variância (Tabela 5) para a maturação dos frutos não foi significativamente afetada pelo tratamento eletromagnético, avaliando-se a média das três safras. A lâmina de irrigação afetou a maturação apenas dos frutos verde, verde cana e seco. Não foram observadas diferenças significativas na interação entre os fatores.

Tabela 5 - Resumo da análise de variância com as fontes de variação, graus de liberdade (GL) e quadrados médios, com significância, para classificação quanto a maturação dos frutos (verde, verde cana, cereja, passa e seco) dos cafeeiros arábica cv. Topázio MG1180 submetidos a diferentes tratamentos da água e níveis de reposição hídrica, na média geral das três safras estudadas.

Fontes de variação	GL	Quadrado médio				
		verde	verde cana	cereja	passa	seco
Blocos	3	23,1487 ^{NS}	2,3834 ^{NS}	1,4361 ^{NS}	9,842 ^{NS}	37,9368 ^{NS}
Água	1	131,4971 ^{NS}	0,4221 ^{NS}	104,5212 ^{NS}	194,7814 ^{NS}	34,5224 ^{NS}
Resíduo 1	3	20,6971	4,6521	11,0097	42,2471	94,6422
Parcelas	7					
Níveis	3	136,8392 ^{**}	28,4371 [*]	49,4200 ^{NS}	40,3852 ^{NS}	136,5661 [*]
Água x Níveis	3	6,3481 ^{NS}	6,8454 ^{NS}	48,8119 ^{NS}	13,6869 ^{NS}	80,3181 ^{NS}
Resíduo 2	18	18,2769	6,3993	22,6601	17,5370	37,5579
Total	31					

CV (%)	(1) 38,44	(1) 33,93	(1) 7,47	(1) 39,22	(1) 47,73
	(2) 35,12	(2) 39,80	(2) 10,72	(2) 25,27	(2) 30,07

Fonte: Autor (2023). Médias seguidas da mesma letra dentro de cada dose não diferem significativamente pelo Teste F a 5% de probabilidade. **, *, NS: significativo a 1%, significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

O estágio de maturação dos grãos tem forte influência na qualidade da bebida café, sendo que frutos colhidos fora do período ideal de maturação podem contribuir para bebida de qualidade inferior. Constatou-se que o tratamento eletromagnético da água não interferiu na maturação dos frutos do cafeeiro, conforme demonstrado na Tabela 6. Tais resultados contrastam com os observados em outras culturas, como canola, soja, girassol e tomate, onde os autores observaram efeito significativo na melhoria da qualidade da produção em função do tratamento eletromagnético da água de irrigação (Baiyeri *et al.*, 2023; Dukic *et al.*, 2020; Hozayn *et al.*, 2016; Yahya *et al.*, 2017).

Tabela 6 - Valores médios percentuais obtidos para classificação de maturação dos frutos (verde, verde cana, cereja, passa e seco) dos cafeeiros arábica cv. Topázio MG1180 em função dos tratamentos da água de irrigação, para a média geral das três safras

Fatores	verde	verde cana	cereja	passa	seco
	%				
Eletromagnetizada	9.81 a	6.24 a	42.57 a	19.04 a	21.42 a
Não eletromagnetizada	13.86 a	6.47 a	46.18 a	14.10 a	19.34 a

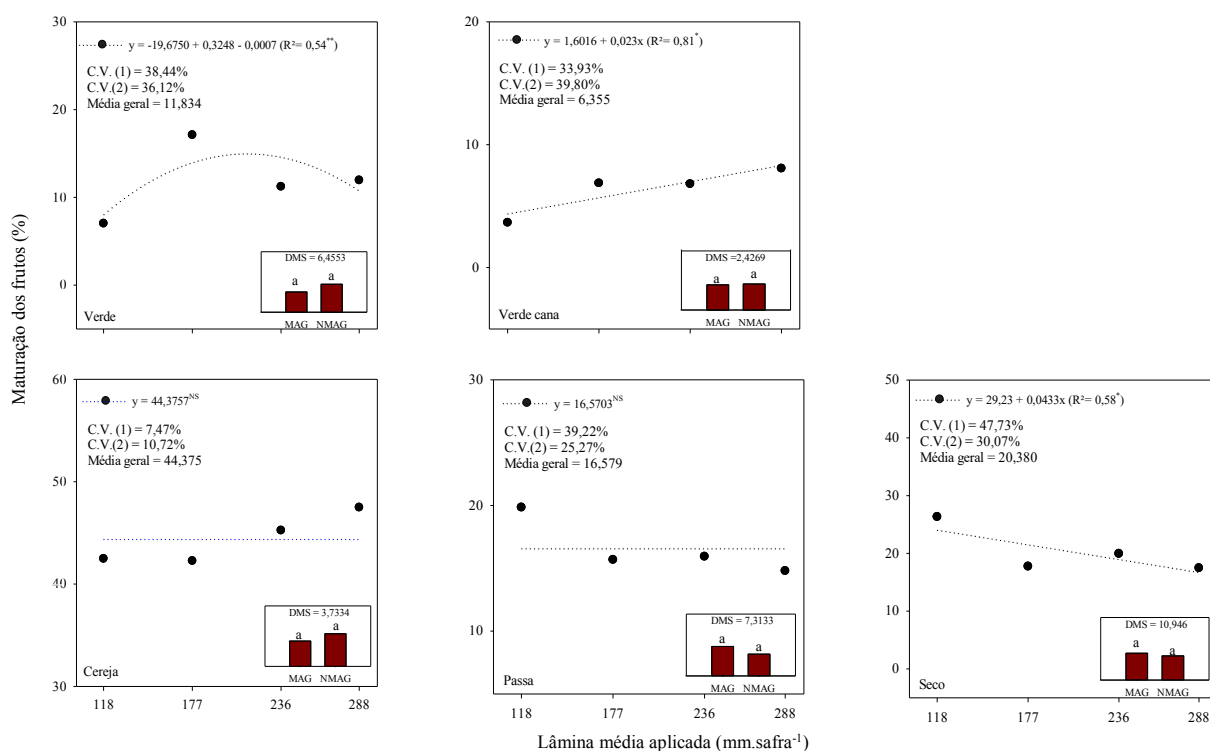
Fonte: Autor (2023). Médias seguidas da mesma letra dentro de cada dose não diferem significativamente pelo Teste F a 5% de probabilidade.

De acordo com a análise de regressão, na média das três safras, os níveis de reposição da irrigação afetaram significativamente o percentual de frutos verdes, verdes cana e secos (Figura 12). O modelo que melhor descreve o efeito do volume de irrigação aplicado em função do percentual de frutos verdes é o quadrático ($R^2 = 0,54$), com percentual máximo de frutos dessa classe obtido na lâmina bruta de 211,88 mm na safra. Vicente *et al.* (2015), estudando o efeito de diferentes lâminas de irrigação na maturação dos frutos de cafeeiros observaram maior percentual de frutos verdes com lâminas excedentes a demanda hídrica da cultura (116% ETc). Silva *et al.* (2022) também constataram, em várias regiões cafeeiras do estado de São Paulo, aumento do percentual de frutos verdes em propriedades irrigadas ou com baixo nível de déficit

hídrico na pré-florada, indicando que a maturação é mais tardia em frutos que receberam irrigação.

A análise de regressão (Figura 12) indicou que a equação linear ($R^2 = 0,81$) descreveu a relação da lâmina média anual aplicada no percentual de frutos verde cana, sendo que o percentual de frutos dessa classe aumentou com a aplicação de maiores volumes de irrigação. Constata-se que a lâmina média anual que proporcionou máxima percentual de frutos verdes cana foi o de 288 mm; já a que resultou em menor percentual, foi a 118 mm. O modelo que melhor descreve a relação de frutos secos e lâmina média anual foi o linear decrescente, com R^2 igual 0,58 (Figura 12). Verificou-se que o maior percentual de frutos secos foi obtido na lâmina média de 118 mm e o menor, na de 288 mm. Isso indica que menores volumes de água de irrigação aumentam a presença de frutos secos. Custodio *et al.* (2014), estudando o efeito da irrigação na maturação dos frutos, observaram frutos em estádios de maturação mais avançados (cereja, passa e seco) em plantas que não foram irrigadas.

Figura 9 - Percentual de maturação dos frutos em função da lâmina bruta, na média geral das três safras. As médias seguidas da mesma letra dentro de cada dose não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **, *: significativo a 1% e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente. CV (%): coeficiente de variação



Fonte: Autor (2023).

5.2.1.1 classificação por peneira

Foi observado efeito significativo entre os fatores água e níveis de reposição sobre a classificação percentual de grãos quanto ao tamanho e forma. Não houve interação significativa em os fatores (Tabela 7).

Tabela 7 - Resumo da análise de variância com as fontes de variação, graus de liberdade (GL) e quadrados médios, com significância, para classificação percentual quanto tamanho e forma (chato graúdo (CG), chato médio (CM), chato miúdo (CN), moca graúdo (MG), moca médio (MM), moca miúdo (MN) e peneiras 16 acima (16ACIM)) dos cafeeiros arábica cv. Topázio MG1180 submetidos a diferentes tratamentos da água e níveis de reposição hídrica, na média geral.

Fontes de variação	GL	Quadrado médio						
		CG	CM	CN	MG	MM	MN	16ACIM
Blocos	3	9,226NS	18,5442NS	7,027NS	16,4227NS	1,0685NS	3,6801NS	52,9261**
Água	1	0,021NS	2,874NS	19,1116*	5,2083NS	0,2432NS	0,1023NS	16,1028*
Resíduo 1	3	19,848	17,668	1,8061	52,995	1,1167	0,5579	1,2594
Parcelas	7							
Níveis	3	22,8848NS	81,3391*	9,6182NS	84,8996NS	1,8942NS	1,2731NS	88,0186*
Água x Níveis	3	4,4672NS	32,6748NS	1,1364NS	45,2963	1,6258NS	1,9568NS	3,5436NS
Resíduo 2	18	14,3439	25,0916	3,2473	33,3266	1,1965	1,5866	18,3817
Total	31							
CV (%)		(1) 27,29	(1) 10,37	(1) 11,88	(1) 45,57	(1) 11,67	(1) 10,84	(1) 2,07
		(2) 23,20	(2) 12,36	(2) 15,93	(2) 36,14	(2) 12,08	(2) 18,28	(2) 7,98

Fonte: Autor (2023). Médias seguidas da mesma letra dentro de cada dose não diferem significativamente pelo Teste F a 5% de probabilidade. **, *, NS: significativo a 1%, significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Na média das três, houve efeito significativo do tratamento eletromagnético da água de irrigação nas classes CN e 16ACIM (Tabela 8). O uso do tratamento eletromagnético da água de irrigação altera o grau de solubilidade da solução (Chang; Weng, 2006), o que pode ter contribuído para aumentar a absorção de nutrientes e, conseqüentemente, influenciar percentual de grãos.

Tabela 8 - Valores médios percentuais obtidos para classificação percentual dos grãos quanto tamanho (chato graúdo (CG), chato médio (CM), chato miúdo (CN), moca graúdo (MG), moca médio (MM), moca miúdo (MN)

e peneiras 16 acima (16ACIM)) dos cafeeiros arábica cv. Topázio MG1180 em função dos tratamentos da água de irrigação, para a média geral das três safras

Fatores	CG	CM	CN	MG	MM	MN	16ACIM
	%						
Eletromagnetizada	18,19 a	40,82 a	10,53 b	16,35 a	9,14 a	6,83 a	54,76 a
Não eletromagnetizada	17,36 a	40,22 a	12,08 a	15,57 a	8,96 a	6,94 a	53,35 b

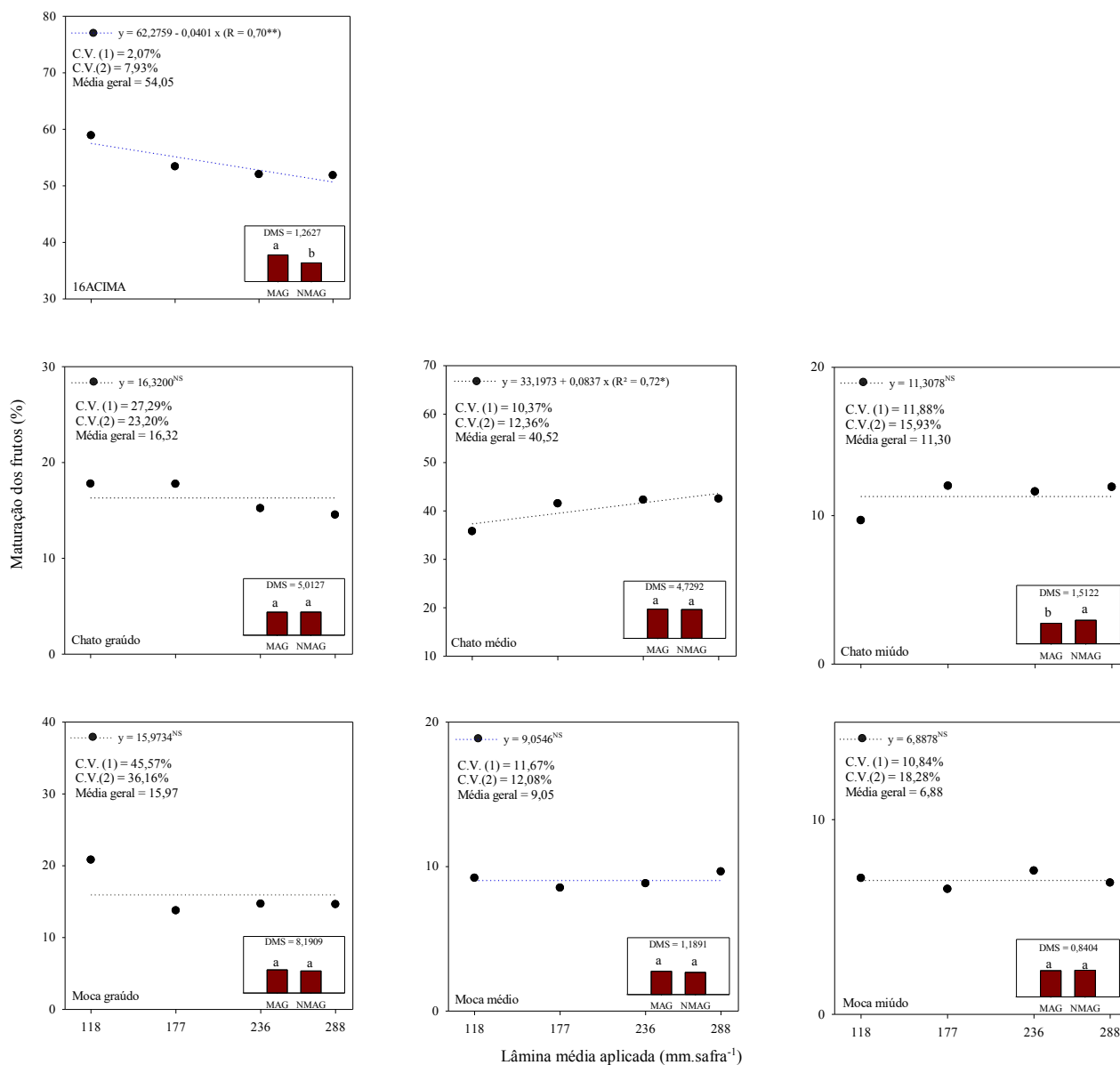
Fonte: Autor (2023). Médias seguidas da mesma letra dentro de cada dose não diferem significativamente pelo Teste de F a 5% de probabilidade.

Considerando a média das três safras, os níveis de reposição da irrigação afetaram significativamente o percentual de grãos para as classes CM e 16 ACIM (Figura 13). O efeito do volume de irrigação aplicado em função do percentual de grãos CM teve ajuste no modelo linear ($R^2 = 0,70$), com incremento nos percentuais dessa classe de grãos com aumento do nível de reposição. A 16ACIM também teve melhor ajuste ao modelo linear ($R^2 = 0,72$) e apresentou redução do percentual de grãos dezesseis acima, com aumento do volume de água aplicado.

Custódio *et al.* (2014), estudando o efeito de diferentes estratégias de manejo da irrigação na qualidade de grãos de café, observaram que a irrigação realizada nos meses de abril, maio, junho, agosto e setembro, tomando como estratégia de decisão de retomada das irrigações o nível de água disponível no solo igual a 75% da CAD, resultou em maior percentual de grãos peneira dezesseis acima.

Rotondano *et al.* (2005), avaliando o efeito de diferentes lâminas de reposição do tanque “Classe A” (ECA) na classificação por peneira de grão de cafeeiros cv. Rubi, linhagem 1190, no município de Uberlândia/MG, constataram que a reposição na lâmina estimada de 138,72% da ECA proporcionou maior percentual de grãos médios (peneiras 15 e 16).

Figura 13 - Percentual de grãos quanto tamanho (chato graúdo (CG), chato médio (CM), chato miúdo (CN), moca graúdo (MG), moca médio (MM), moca miúdo (MN) e peneiras 16 acima (16ACIM)) em função da lâmina bruta, na média geral das três safras. As médias seguidas da mesma letra dentro de cada dose não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **, *: s



Fonte: Autor (2023).

5.3 EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA

Na análise de variância (Tabela 9) da eficiência no uso da água, verificou-se que houve efeito significativo do tratamento eletromagnético da água nas safras 2017/18, 2019/20 e na média geral. As lâminas de irrigação aplicadas influenciaram significativamente essa variável ao nível de 5%, na primeira safra e na média geral das três safras.

Tabela 9 - Resumo da análise de variância com as fontes de variação, graus de liberdade (GL) e quadrados médios, com significância, para eficiência no uso da água nos cafeeiros arábica cv. Topázio MG1180 submetidos a diferentes tratamentos da água e níveis de reposição.

Fontes de variação	GL	Quadrado médio			
		2017/18	2018/19	2019/20	média geral
Blocos	3	0,0113NS	0,0057NS	0,0432**	0,0053NS
Água	1	0,0658**	0,0024NS	0,0157*	0,0122*
Resíduo 1	3	0,0016	0,003	0,0013	0,0006
Parcelas	7				
Lâminas	3	0,0108*	0,0018NS	0,0041NS	0,0037**
Água x Lâminas	3	0,0071NS	0,0002NS	0,0035NS	0,0011NS
Resíduo 2	18	0,003	0,0031	0,0085NS	0,0007
Total	31				
CV (%)		(1) 4,70	(1) 22,61	(1) 6,07	(1) 4,34
		(2) 8,04	(2) 21,68	(2) 15,53	(2) 4,65

Fonte: Autor (2023). Médias seguidas da mesma letra dentro de cada dose não diferem significativamente pelo Teste F a 5% de probabilidade. **, *, NS: significativo a 1%, significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

A água eletromagnetizada apresentou efeito benéfico na eficiência, no uso da água nas safras 2017/18, 2019/20 e na avaliação da média geral, com aumento de 0,09 Kg, 0,04 Kg e 0,04 Kg por m³ de água aplicado, respectivamente (Tabela 10). Melhoria nessa variável resposta também foram constatadas por Fernandes et al. (2016b) na cultura do café, onde os autores obtiveram produtividade 26% superior na área tratada com a tecnologia, com a aplicação de 50% do volume aplicado na área não tratada.

Esses resultados do efeito benéfico da magnetização da água de irrigação também estão coerentes aos observados por autores que estudaram outras culturas, como Zhao *et al.* (2022) que, avaliando a efeitos do tratamento magnético da água e diferentes regimes de irrigação na produtividade da água do trigo de inverno, na província de Shannxi, na China, observaram que a irrigação magnetizada resultou em aumento de 21% para essa variável. E que a lâmina de 96

mm aplicada no ciclo da cultura era ideal para conservar a água no solo e aumentar a eficiência da irrigação.

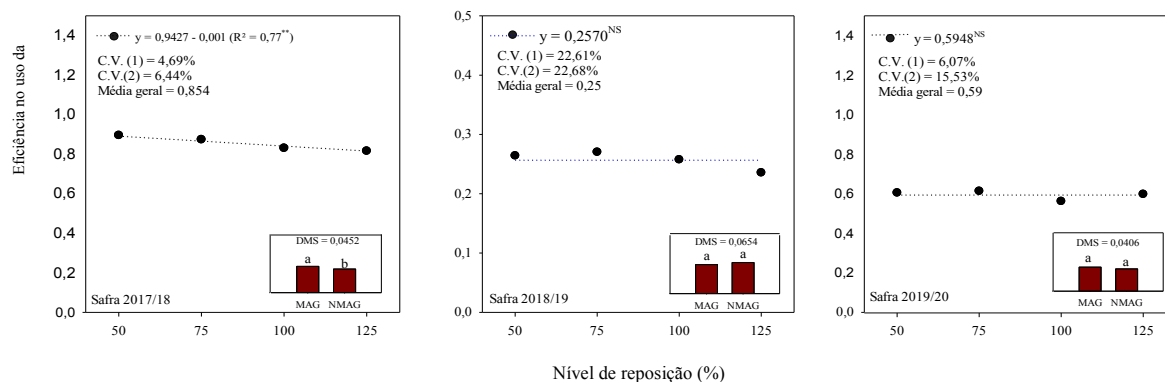
Tabela 10 - Valores médios obtidos para eficiência no uso da água, em kg de café beneficiado.mm de água aplicado⁻¹, nos cafeeiros arábica cv. Topázio MG1180 em função dos tratamentos da água de irrigação, nas três safras estudadas (2017/18, 2018/19 e 2019/20) e média geral.

Fatores	2017/18	2018/19	2019/20	média geral
	kg/m ³			
Eletromagnetizada	0,90 a	0,26 a	0,61 a	0,59 a
Não Eletromagnetiza	0,81 b	0,25 a	0,57 b	0,55 b

Fonte: Autor (2023). Médias seguidas da mesma letra dentro de cada dose não diferem significativamente pelo Teste F a 5% de probabilidade.

De acordo com a análise de regressão (Figura 14), observa-se que os modelos de ajuste foi o linear para a safra 2017/18 ($R^2 = 0,77$). Nessa safra, houve aumento do índice de eficiência no uso da água com a redução da lâmina de irrigação. De acordo Taiz *et al.* (2017), a eficiência do uso da água pode aumentar na ocorrência de déficit hídrico, em decorrência da redução da condutância estomática, que afeta mais intensamente a fotossíntese do que a taxa respiratória da folha. E quanto mais severa a deficiência hídrica, maior a desidratação das células e mais intensa a inibição da fotossíntese. Com isso, o metabolismo do mesófilo é prejudicado e, consequentemente, a eficiência no uso da água.

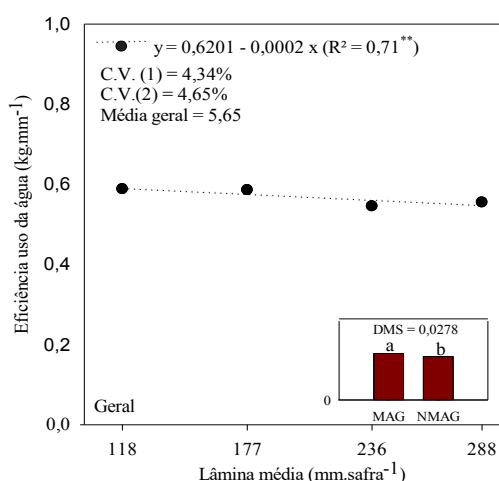
Figura 104 - Eficiência no uso da água, em kg de café beneficiado.mm de água aplicado⁻¹, em função dos níveis de irrigação, em %, para as safras de condução do experimento. As médias seguidas da mesma letra dentro de cada dose não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade



Fonte: Autor (2023).

O modelo que melhor descreve o ajuste para a eficiência no uso da água na média dos três anos de condução do ensaio foi o linear ($R^2 = 0,71$), conforme Figura 15. A maior eficiência no uso da água foi observada no nível de reposição de 50%, com aplicação de lâmina bruta média das três safras de 118 mm. A produtividade obtida nesse tratamento foi 22% inferior ao nível de reposição, que resultou em maior produtividade (125%), porém necessitou menos da metade de volume de água via irrigação. Isso demonstra que o uso dessa estratégia pode otimizar o uso da água, sem penalizar severamente a produtividade da cultura. Esses dados corroboram com Vicente et al. (2015), que estudando a eficiência no uso da água sob diferentes lâminas de irrigação recomendadas pelo software Irriplus para a cultura do cafeeiro em Barreiras/BA, também verificou que a eficiência decai com o incremento da lâmina aplicada.

Figura 115 – Produtividade, em kg de café beneficiado.mm de água aplicado⁻¹, em função da lâmina média irrigação aplicada nas três safras. As médias seguidas da mesma letra dentro de cada dose não diferem significativamente pelo teste de T.



Fonte: Autor (2023).

6 CONCLUSÃO

Considerando as condições edafoclimáticas do Cerrado Mineiro, concluiu-se que:

- Na média das três safras, a água eletromagnetizada afetou positivamente a produtividade e eficiência no uso da água do cafeeiro arábica irrigado por gotejamento, podendo ser utilizada como estratégia para aumento de produtividade e otimização no uso dos recursos hídricos na cafeicultura irrigada. O uso da tecnologia resultou em maior percentual de grãos de peneiras 16 acima e menor de grãos chatos miúdos. A maturação dos frutos não foi afetada pela eletromagnetização da água de irrigação.
- Dentre os níveis de reposição estudados, o de 125% da estratégia referencial resultou na maior produtividade para a cultura, com 64,27 sacas/ha, na média das três safras. O nível de reposição de 50% da estratégia referencial obteve a maior eficiência no uso da água e produtividade de 50,17 sacas/ha. O aumento da lâmina aplicada via irrigação retardou a maturação dos frutos e reduziu o percentual de grãos de classe de peneira dezesseis acima.
- Não houve interação entre os fatores tipo de água de irrigação e níveis de reposição hídrica; portanto os fatores são independentes.

REFERÊNCIAS

- ABEDINPOUR, M.; ROHANI, R. Effects of magnetized water application on soil and maize growth indices under different amounts of salt in the water. **Journal of Water Reuse and Desalination**, Londres, v. 7, n. 3, p. 319 - 325, sep. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wrd.2016.216>. Acesso em: 10 maio 2023.
- ADEBAYO, K. R.; ADEWUMI, J. K.; ADEOSUN, O. J.; AWOKOLA, O. S. Effect of Magnetized Irrigation Water on Germination and Yield of IAR-48 Cowpea Cultiva.. **AgricEngInt: CIGR Journal Open**, Pequim, v. 24, n. 3, p. 35 - 44, sep. 2022. Disponível em: <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/7993>. Acesso em: 10 maio 2023.
- AHMED, I. M.; BASSEM, M. E. Effect of magnetic treated irrigation water on salt removal from a sandy soil and on the availability of certain nutrientes. **International Journal of Engineering and Applied Science**, Jaipur, v. 2, n. 2, p. 36 - 44, feb. 2013. Disponível em: <https://www.magtech.com.pk/pdf/agriculture-7.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2023.
- AKINBILE, C. O.; YUSOFF, M. S.; ZUKI, A. Z. A. Landfill leachate treatment using sub-surface flow constructed wetland by Cyperus haspan. **Waste Management**, Penang, v. 32, n. 7, p. 1387-1393, jul. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.03.002>. Acesso em: 15 jun. 2023.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements. **FAO Irrigation and drainage paper 56 - FAO**, Rome, v. 1998, n. 300, p. 05109, 1998. Disponível em: <https://www.fao.org/3/X0490E/x0490e00.htm>. Acesso em: 20 jun. 2023.
- ANA, Agência Nacional de Águas. Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada. **gov.br**, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/atlas-irrigacao-atualiza-area-irrigada-total-no-brasil-em-8-2-milhoes-de-hectares>. Acesso em: 10 abr. 2023.
- APARECIDO, E. O; ROLIM, G. S. Forecasting of the annual yield of Arabic coffee using water deficiency. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, Brasília, v. 53, n. 12, p. 1299 - 1310, dec. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018001200002>. Acesso em: 20 jun. 2023.
- BAIYERI, M. R.; YUSUF, O. K.; OBALOWU, R. O.; SAAD, G.; BANJOKO, I. K. Impact of magnetization of irrigation water on growth, yield and nutritional qualities of tomato under deficit irrig nutritional qualities of tomato under deficit irrigation **Notulae Scientia Biologicae**, Romênia, v. 15, n. 1, p. 1 - 15, mar. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.55779/nsb15111360>. Acesso em: 05 abr. 2023.
- BARBOSA JUNIOR, M. P; POZZA, E. A.; NETO, H. S.; SILVA, M. L. O.; POZZA, A. A. A.; GUIMARÃES, R. J.; SOUZA, P. E. Brown eye spot in coffee subjected to different drip irrigation and fertilization management. **Australasian Plant Pathology**, v. 48, p. 245 - 252, feb. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13313-019-0623-y>. Acesso em: 15 abr. 2023.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JUNIOR, W. **AGROESTAT: sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos**, v. 1.0. Jaboticabal: Unesp, 2010.

BARRETO, C. V. G.; SAKAI, E.; ARRUDA, F. B.; SILVA, E. A.; PIRES, R. C. M. Distribuição espacial do sistema radicular do cafeeiro fertirrigado por gotejamento em Campinas. *Bragantia*, Campinas, v. 65, p. 641-647, ago. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052006000400015>. Acesso em: 15 fev. 2023.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1995.

BRASIL. MAPA, Ministério da Agricultura e Pecuária. Projeções do agronegócio: Brasil 2022/23 a 2032/33. **Gov.br**, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2022-2023-a-2032-2033.pdf>. Acesso em: 15 maio 2023.

BRASIL. MAPA, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução Normativa n 08. **Embrapa**, 2003. Disponível em: http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/legislacao/Instrucao_Normativa_n_8.pdf. Acesso em: 18 ago. 2023.

BREGAGNOLI, M.; RIBEIRO NETO, J. F. **Café nas montanhas**: caracterização da cafeicultura na área de atuação da Cooperativa Regional de Cafeicultores em Guaxupé. 1. ed. Pouso Alegre: IFSULDEMINAS, 2017.

BRODRIBB, T. J.; MCADAM, S. A. M. Evolution of the stomatal regulation of plant water content. *Plant Physiology*, London, v. 174, n. 2, p. 639 - 649, jun. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.17.00078>. Acesso: 15 abr. 2023.

CAMARGO, A. P. Florescimento e frutificação de café arábica nas diferentes regiões cafeeiras do Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 20, n. 7, p. 831 - 839, jun. 1985. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/15819>. Acesso em: 22 jul. 2023.

CAMPOS, A. A. C. Análise da competitividade do setor cafeeiro brasileiro no mercado internacional. *Economia & Região*, Londrina, v. 10, n. 1, p. 125-143, jan. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/2317-627X.2022v10n1p123>. Acesso em: 17 jun. 2023.

CHANG, K. T.; WENG, C. I. The effect of an external magnetic field on the structure of liquid water using molecular dynamics simulation. *Journal of Applied physics*, Melville, v. 100, n. 4, p. 43917-43922, aug. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1063/1.2335971>. Acesso em: 02 abr. 2023.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. 4. ed. Berkeley: University of California, 1942.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: café**. v. 10, n. 2. Brasília, DF: Conab, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/caf>. Acesso em: 04 ago. 2023.

COSTA, J. O.; COELHO, R. D.; BARROS, T. H. S; FRAGA JÚNIOR, E. F.; FERNANDES, A. L. T. Fisiológico Respostas do cafeeiro sob diferentes níveis de irrigação. **Engenharia**

Agrícola, Jaboticabal, v. 38, n. 5, p. 648 - 656, set. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n5p648-656/2018>. Acesso em: 12 jul. 2023.

COSTA, J. O.; COELHO, R. D.; BARROS, T. H. S; FRAGA JÚNIOR, E. F.; FERNANDES, A. L. T. Leaf area index and radiation extinction coefficient of a coffee canopy under variable drip irrigation levels. *Acta Scientiarum Agronomia*, Maringá, v. 41, n. 42703, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v41i1.42703>. Acesso em: 05 abr. 2023.

CRAPARO, A. C. W; ASTEN, V. A. N, P. J. A; LÄDERACH, P.; JASSOGNE, L. T. P; GRABA S. W. Arabica coffee declines yield in Tanzania due to climate change: global implications. *Agricultural and Forest Meteorology*, Guelph, v. 207, p. 1 - 10, jul. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.03.005>. Acesso em: 21 maio 2023.

CUSTÓDIO, A. A. P.; FARIA, M. A.; REZENDE, F. C.; CUSTÓDIO, A. A. P.; GOMES, N. M. Irrigação por gotejo na maturação e classificação do café. *Irriga*, Botucatu v. 19, n. 3, p. 488 - 499, ago. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.15809/irriga.2014v19n3p488>. Acesso em: 16 jul. 2023.

DAMATTA, F. M.; ÁVILA, R. T.; CARDOSO, A. A.; MARTINS, S. C. V.; RAMALHO, J. C. Physiological and agronomic performance of coffee crops in the context of climate change and global warming: a review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Washington, v. 66, p. 5264 - 5274, mar. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04537>. Acesso em: 17 fev. 2023.

DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. *Brazilian journal of plant physiology*, Campos dos Goytacazes, v. 18, p. 55 - 81, mar. 2006. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100006>. Acesso em: 17 abr. 2023.

DUKIC, V. H; MILADINOV, Z. J.; Gordana K. DOZET, G. K.; CVIJANOVIĆ, G. T.; MILADINOVIĆ, J. A.; RANĐELOVIĆ, P. D.; KANDELINSKAJA, O. L. The impact of a pulsed electromagnetic field on the seed protein content of soybean. *Journal of Agricultural Sciences*, Belgrado, v. 65, n. 4, p. 311 - 320, sep. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.2298/JAS2004311D>. Acesso em 10 maio 2023.

ESMAEILNEZHAD, E.; CHOI, H. J.; SCHAFFIE, M.; GHOLIZADEH, M.; RANJBAR, M. Characteristics and applications of magnetized water as a green technology. *Journal of Cleaner Production*, Knoxville, v. 161, p. 908 - 921, sep. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.166>. Acesso em: 10 maio 2023.

FAGUNDES, O. S.; OLIVEIRA, L. C. A.; YAMASHITA, O. M.; SILVA, I. V.; CARVALHO, M. A. C.; RODRIGUES, D. V. The water crisis and its implications in Brazilian agribusiness: A bibliographic. *Scientific Electronic Archives*, Rondonópolis v. 13, n. 1, p. 42 - 50, jan. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.36560/1312020801>. Acesso em: 14 jan. 2023.

FANOUS, N. E.; MOHAMED, A. A.; SHABAN, K. A. Effect of magnetic treatment for irrigation ground water on soil salinity, nutrients, water productivity and yield fruit trees at sandy soil. *Egyptian Journal Soil Science*, Guizé, v. 57, n. 1, p. 113 - 123, mar. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.21608/ejss.2017.1528>. Acesso em: 30 maio 2023.

FAO, Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. Information system on water and agriculture. **Aquastat**, 2020. Disponível em: AQUASTAT - FAO's Global Information System on Water and Agriculture. Acesso em: 10 dez. 2022.

FASANI, E.; DALCORSO, G.; ZERMINIANI, A.; FERRARESE, A.; CAMPOSTRINI, P.; FURINI, A. Phytoremediatory efficiency of *Chrysopogon zizanioides* in the treatment of landfill leachate: a case study. **Environmental Science and Pollution Research**, Berlin, v. 26, p. 10057 – 10069, fev. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04505-7>. Acesso em: 12 maio 2023.

FERNANDES, A. L. T.; PARTELLI, F. L.; BONOMO, R. GOLYNSKI, A. A moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 231 - 240, jun. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1983-40632012000200015>. Acesso em: 12 jun. 2023.

FERNANDES, A. L. T.; SANTINATO, R.; SILVA, R. O.; FRAGA JÚNIOR, E. F. Utilização da água magnetizada para a irrigação por gotejamento do cafeeiro. **Revista Campo e Negócio – Anuário café 2016**, Araguari, p. 118 -122, out. 2016b. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/utilizacao-da-agua-magnetizada-para-a-irrigacao-por-gotejamento-do-cafeeiro-2/>. Acesso em: 12 abr. 2023.

FERNANDES, A. L. T.; TAVARES, T. O.; SANTINATO, F.; FERREIRA, R. T.; SANTINATO, R. Viabilidade técnica e econômica da irrigação localizada do cafeeiro, nas condições climáticas do planalto de Araxá, MG. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 347 - 358, jul. 2016a. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/8030>. Acesso em: 10 maio 2023.

FERRÃO, E. R. G.; VOLPI, P. S.; FERRÃO M. A. G.; FILHO, A. C. V.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, L. M. V.; FERRÃO, L. F. V. Melhoramento genético para obtenção da cultivar marilândia es 8143, variedade clonal de café conilon tolerante a seca. **Multi-Science Research**, Vitória, v. 1, n. 1, p. 1 - 18, jun. 2018. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/8030>. Acesso em: 12 abr. 2023.

HACHICHA, M.; KAHLAOU, B.; KHAMASSI, N.; MISLE, E.; JOUZDAN, O. Effect of electromagnetic treatment of saline water on soil and crops. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, Riad, v. 17, p. 154 - 162, apr. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.03.003>. Acesso em: 12 abr. 2023.

HOZAYN, M.; ABDALHA, M. M.; ABD EL-MONEM A. A.; EL-SAADY, A. A.; DARWISH M. A. Applications of magnetic technology in agriculture, a novel tool for improving water use efficiency and crop productivity:2. Wheat. **African Journal of Agricultural Research**, Cairo, v. 11, n. 5, p. 441 - 449, feb. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9382>. Acesso em: 23 mar. 2023.

HOZAYN, M.; ABDEL-MONEM, A. A.; ABDUL-QADOS, A. M. S.; ABD EL-HAMEED, H. M. Response of some food crops for irrigation with magnetized water under greenhouse condition. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, Cairo, v. 5, n. 12, p. 29 - 36, dec. 2011. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20123068130>. Acesso em: 23 mar. 2023.

JONES, D. L.; WILLIAMSON, K. L.; OWEN, A. G. Phytoremediation of landfill leachate. **Waste Management**, Penang, v. 26, n. 8, p. 825-837, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.06.014>. Acesso em: 12 jun. 2023.

JUSTIN, M. Z.; PAJK, N.; ZUPANC, V.; ZUPANCIC, M. Phytoremediation of landfill leachate and compost wastewater by irrigation of *Populus* and *Salix*: Biomass and growth response. **Waste Management**, Penang, v. 30, n. 6, p. 1032-1042, jun. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.02.013>. Acesso em: 23 mar. 2023.

KADHIM, N.; ALGHAZALI, N. O. Effect of Magnetization on Some Physical Properties of Almasab Alam Salty Water. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, Bristol, v. 856, n. 1, p. 12045, jun. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/856/1/012045>. Acesso em: 10 jun. 2023

KELLER, J.; BLIESNER, D.R. **Sprinkler and trickle irrigation**. New York: van Nostrand Reinhold, v. 3, n. 5, p. 86 - 96, 1990.

KELLER, M. J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**, Quebec, v.17, p. 678 - 684, jun. 1974. Disponível em: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=36936>. Acesso em: 22 mar. 2023.

KHOSHRAVES, M.; KIANI, A. R. E. Effect of magnetized water on infiltration capacity of different soil textures. **Soil Use and Management**, Beijing v. 30, n. 4, p. 588 - 594, aug. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/sum.12140>. Acesso em: 12 mar. 2023.

LICHT, L.; AITCHISON, E.; ROCK, S. A. Evapotranspirative tree caps: research prototype results, full-scale case histories, and possible future designs. **SWANA Landfill Symposium**, Monterey, v. 42, p. 21-25, jun. 2004.

LIMA, M. G. M.; DANTAS NETO, J.; FERREIRA, D. J. L.; GOMES, A. H. S.; VASCONCELOS, G. N. Comportamento hidráulico de sistema de irrigação por gotejamento em função da pressão de serviço adotada. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 12, n. 1, p. 167 - 171, mar. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v12i1.4047>. Acesso em: 01 maio 2023.

LIU, X.; HONG, Z.; SHI, Y. M. Effects of magnetized water treatment on growth characteristics and ion absorption, transportation, and distribution in *Populus× euramericana* ‘Neva’ under NaCl stress. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 47, n. 6, p. 828 - 838, jan. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2016-0460>. Acesso em: 10 jul. 2023.

MAHESHWARI, B. L.; GREWAL, H. S. Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on vegetable crop yield and water productivity. **Agricultural Water Management**, Wageningen, v. 96, n. 8, p. 1229 - 1236, aug. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.016>. Acesso em: 12 fev. 2023.

MAHMOUD, B.; YOSRA, M.; NADIA, A. Effects of magnetic treatment on scaling power of hard waters. **Separation and Purification Technology**, Herveille, v. 171, p. 88 - 92, oct. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.07.027>. Acesso em 03 fev. 2023.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. **Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações**. 2. ed. Varginha: Fundação Procafé, 2005.

MELO, A. M. M.; BONINI, L. M. M.; MUCOUCAH, M. F. S. Características da variação bienal na produção de café arábica no Brasil. **South American Development Society Journal**, São Paulo, v. 08, n. 24, jun. 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.24325/issn.2446-5763.v8i24p93-111>. Acesso em: 12 jul. 2023.

MOSTAFA, H. Influence of magnetised irrigation water on the fertigation process and potato productivity. **Research in Agricultural Engineering**, Ostrava, v. 66, p. 43-51, aug. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.17221/1/2020-RAE>. Acesso em: 02 mar. 2023.

MOUSSA, M.; HALLAIRE, V.; MICHOT, D.; HACHICHA, M. Micro- and macrostructure changes of soil under irrigation with electromagnetically treated water. **Soil & Tillage Research**, Virginia, v. 203, p. 104690, sep. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104690>. Acesso em: 09 jul. 2023.

NIE, J.; WANG, N.; LI, Y.; CHAO, X.; LI, J. Effect of Drip Irrigation with Magnetised Water and Fertiliser on Cotton Nutrient Absorption. **Earth Environmental Science**, San Francisco, v. 697, p. 1 - 12, jan. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/697/1/012009>. Acesso em: 06 maio 2023.

NOVAIS, G. T.; SANCHES, F. O.; BRITO, J. L. S. Unidades climáticas do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 23, p. 223 – 243, jul. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/abclima.v23i0.58520>. Acesso em: 05 maio 2023.

OIA, ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ. **Relatório sobre o mercado de café**. consorciopesquisacafe, 2022. Disponível em: http://www.consorcioesquisacafe.com.br/images/stories/noticias/2021/2022/dezembro/relatorio_oic_dezembro_2022.pdf. Acesso em: 07 abr. 2023.

ONU, ORGANIZAÇÃO D. N. U. ONU-Habitat: População mundial deve crescer em 2,2 bilhões até 2050. **brasil.un.org**, 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/188520-onu-habitat-popula%C3%A7%C3%A3o-mundial-ser%C3%A1-68-urbana-at%C3%A9-2050>. Acesso em: 17 ago. 2023.

PANG, X.; DENG, B. Investigation of changes in properties of water under the action of a magnetic field. **Science in China Series G: Physics, Mechanics & Astronomy**, Pequim, v. 51, n. 11, p.1621-1632, nov. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11433-008-0182-7>. Acesso em: 07 jul. 2023.

PELOSO, A. F.; TATAGIBA, S. D.; AMARAL, J. F. T. limitações do crescimento vegetativo em cafeeiro arábica promovido pelo déficit hídrico. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa v. 25, n. 2, p. 135-147, mar. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.13083/reveng.v25i2.755>. Acesso em: 12 jan. 2023.

PHAM, Y.; REARDON-SMITH, K.; MUSHTAQ, S.; COCKFIELD, G. The impact of climate change and variability on coffee production: a systematic review. **Climatic Change**,

Princeton, v. 156, n. 4, p. 609 - 630, set. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02538-y>. Acesso em: 12 jan. 2023.

PUTTI, F. F.; FILHO, L. R. A. G.; CREMASCO, C. P.; SILVA JUNIOR, J. F. Magnetically treated water for irrigation: effects on production and efficiency of water use in carrot (*Daucus carota* L.) crop. **Revista Colombiana de Ciencias Horticolas**, Bogotá, v. 12, n. 2, p. 447-455, nov. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.7560>. Acesso em: 05 maio 2023.

ROTONDANO, A. K. F.; TEODORO, E. F.; MELO, B.; SEVERINO, G. M. Desenvolvimento vegetativo, produção e qualidade de grãos do cafeeiro (*coffea arabica*) sob diferentes lâminas de irrigação. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 21, n. 1, p. 65-75, mar. 2005. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6565>. Acesso em: 26 jul. 2023.

SAHIN, U.; TUNC, T.; EROĞLUB, S. Evaluation of CaCO₃ clogging in emitters with magnetized saline Waters. **Desalination and Water Treatment**, Londres, v. 40, p. 168-173, mar. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/19443994.2012.671163>. Acesso em: 12 fev. 2023.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. O Lutador, 2008.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**, Rio de Janeiro, v. 3, 2013. Disponível em: <http://livimagens.sct.embrapa.br/amostras/00053080.pdf>. Acesso em: 22 maio 2023.

SHI, K.; ZHANGZHONG, L.; HAN, F.; ZHANG, S.; GUO, R.; YAO, X. Reducing Emitter Clogging in Drip Fertigation Systems by Magnetization Technology. **Sustainability**, Basel, v. 15, n. 3712, feb. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su15043712>. Acesso em: 12 jun. 2023.

SILVA, I. B.; QUEIROZ NETO, J. C. Q.; PETRI, D. F. The effect of magnetic field on ion hydration and sulfate scale formation. **Colloids and Surfaces A Physicochemical and Engineering Aspects**, Goiânia, v. 465, p. 175-183, abr. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2014.10.054>. Acesso em: 13 maio 2023.

SILVA, P. C.; JÚNIOR, W. Q. R.; RAMOS, M. L. G.; ROCHA, O. C.; VEIGA, A. D.; SILVA, N. H.; BRASILEIRO, L. O.; SANTANA, C. C.; SOARES, G. F.; MALAQUIA, J. V.; VINSON, C. C. Physiological Changes of Arabica Coffee under Different Intensities and Durations of Water Stress in the Brazilian Cerrado. **Plants**, Basel, v. 11, p. 2198, aug. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants11172198>. Acesso em: 16 jan. 2023.

SOARES, A. R.; MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. A.; RENA, A. B.; COELHO, M. B.; BATISTA, R. O. Avaliação do efeito de diferentes lâminas de irrigação no desenvolvimento do cafeeiro em Patrocínio-MG. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 14, n. 2, p. 107-114, jan. 2006. Disponível em: <https://www.monografias.com/pt/trabalhos-pdf900/efeito-laminas-irrigacao/efeito-laminas-irrigacao.pdf>. Acesso em 02 fev. 2023.

SURENDRAN, U.; SANDEEP, O.; JOSEPH, E. J. The impacts of magnetic treatment of irrigation water on plant, water and soil characteristics. **Agricultural water management**, Wageningen, v. 178, p. 21-29, dez. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.08.016>. Acesso em: 15 fev. 2023.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TEIXEIRA, A. A.; TEIXEIRA, A. R. R.; REIS, M.; BASSOLI, G.; PALÁCIOS, H. A. Secagem e teor de umidade na qualidade física e sensorial do café. **SBIcafé**, v. 40, Serra Negra, out. 2014. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/7073>. Acesso em: 25 jul. 2023.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and The Water Balance, **Publication in Climatology**, Centerton, v. 10, n. 3, p. 183 - 243, 1957.

USDA, UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Agricultural Projections to 2031. **USDA.gov**, 2022. Disponível em: <https://www.usda.gov/sites/default/files/documents/USDA-Agricultural-Projections-to-2031.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2023.

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

VEIGA, A. D.; RODRIGUES, G. C.; ROCHA, O. C.; Gabriel Ferreira BARTHOLO, G. F.; GUERRA, A. F.; da SILVA, T. P. da. Cultivares de café arábica em diferentes regimes de água em a região central do cerrado. **Coffee Science**, Lavras, v. 14, n. 3, p. 349 - 358, ago. 2019. Disponível em: <http://www.consorcioquesquisacafe.com.br/ojs/index.php/SimposioCafe2019/article/view/112>. Acesso em 06 maio 2023.

VENÂNCIO, D. F. V.; SANTOS, R. M.; CASSARO, S.; PIERRO, P. C. C. A crise hídrica e sua contextualização mundial. **Enciclopédia Biosfera**. Jandaia, v. 2, n. 11, p. 1-13, dez. 2015. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/1356>. Acesso em: 15 mar. 2023.

VERSSIANI, M. A. S.; AMARAL, A. M.; MENDES, J. P. M.; BOTELHO, L. S.; SANTOS, M. A. C. M. Influência da irrigação com água magnetizada no cultivo de pimenteiras do gênero Capsicum. **Meio Ambiente**, Pernambuco, v. 3, n. 5, p. 064-080, ago. 2021. Disponível em: <https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.5684030>. Acesso em: 12 mar. 2023.

VICENTE, M. R.; MANTOVANI, E. C.; FERNANDES, A. L. T.; DELAZARI, F.; FIGUEREDO, E. M. Efeito de diferentes lâminas de irrigação nas variáveis de desenvolvimento e produção do cafeeiro irrigado por pivô central. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 3, p. 528-543, out. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.15809/irriga.2015v20n3p528>. Acesso em 12 jun. 2023.

WANG, D.; ZHANG, L.; ZHANG, J.; LI, W.; LI, H.; LIANG, Y.; HAN, Y.; LUO, P.; WANG, Z. Effect of Magnetized Brackish Water Drip Irrigation on Water and Salt Transport Characteristics of Sandy Soil in Southern Xinjiang, China. **Water**, Londres, v. 15, p. 577, feb. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w15030577>. Acesso em: 12 jul. 2023.

WANG, Y. WEI, H.; LI, Z. Effect of magnetic field on the physical properties of water. **Results in Physics**, Jiaozuo, v. 8, p. 262-267, mar. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2017.12.022>. Acesso em: 30 jul. 2023.

YAHYA, S. H.; ABDUL-RAZAQ, M. M. A. Effect of irrigation methods and magnetization of water on quality of sunflower and water use efficiency. **The Iraqi Journal of Agricultural Sciences**, Baghdad, v. 48, n. 6, p. 920-929, mar. 2017. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/6f7237a56ce6b1f0c1e5a28a6a5fb557/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2045989>. Acesso em 22 maio 2023.

ZHAO, G.; UM, Y.; WANG, Y.; WANG, L. Magnetization and oxidation of irrigation water to improve winter wheat (*Triticum aestivum* L.) production and water-use efficiency. **Agricultural Water Management**, Wageningen, v. 259, p. 107254, jan. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107254>. Acesso em: 19 maio 2023.

ZHOU, B.; YANG, L.; CHEN, X.; YE, S.; PENG, Y.; LIANG, C. Effect of magnetic water irrigation on the improvement of salinized soil and cotton growth in Xinjiang. **Agricultural Water Management**, Wageningen, v. 248, p. 106784, abr. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106784>. Acesso em: 30 jan. 2023.

ZLOTOPOLSKI, V. The Impact of magnetic water treatment on salt distribution in a large unsaturated soil column. **International Soil and Water Conservation Research**, San Marcos, v. 5, p. 253-2573, dec. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.05.009>. Acesso em: 11 maio 2023.