

DESAFIOS NA PRODUÇÃO CAFEIEIRA: GESTÃO HÍDRICA COMO PILAR DE SUSTENTABILIDADE FRENTE A AMEÇAS CLIMÁTICAS

Data de aceite: 01/12/2023

Wilian Rodrigues Ribeiro

Pós Doutor em Agronomia, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Espírito Santo. <https://orcid.org/0000-0003-0711-7669>

Dalila da Costa Gonçalves

Doutoranda, Agronomia, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Espírito Santo. <https://orcid.org/0000-0003-3802-2398>

Daniel Soares Ferreira

Doutor em Agronomia, Universidade Federal de Viçosa - UFV, Minas Gerais <https://orcid.org/0000-0003-3428-4964>

Morgana Scaramussa Gonçalves

Doutora em Agronomia, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Espírito Santo. <https://orcid.org/0000-0003-3724-5477>

Matheus Gaspar Schwan

Mestrando em Engenharia Agrícola, UNESP - Campus de Botucatu, São Paulo. <https://orcid.org/0000-0002-9476-9608>

Lucas Rosa Pereira

Doutor em Agronomia Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Espírito Santo <https://orcid.org/0000-0002-1299-9355>

Camila Aparecida da Silva Martins

Professora Doutora em Agronomia, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Espírito Santo. <https://orcid.org/0000-0001-5645-9230>

Marcelo Antônio Tomaz

Professor Doutor em Agronomia, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Espírito Santo. <https://orcid.org/0000-0002-9228-7541>

José Francisco Teixeira do Amaral

Professor Doutor, Agronomia, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Espírito Santo. <https://orcid.org/0000-0003-3027-4830>

Edvaldo Fialho dos Reis

Professor Doutor, Agronomia, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Espírito Santo. <https://orcid.org/0000-0003-3823-1472>

RESUMO: A produção cafeeira emerge como uma atividade agrícola de proeminência no contexto nacional. À luz das transformações climáticas e do estabelecimento de critérios mais rigorosos nos mercados, a avaliação da produtividade deixa de se restringir unicamente a parâmetros convencionais,

abrindo espaço para discussões sobre aprimoramentos na qualidade do produto e a busca incessante por incrementos na sustentabilidade do processo produtivo. A eficiência no emprego de recursos naturais, notadamente água e insumos, emerge como um dos pilares para a instauração de sistemas ecologicamente sustentáveis. Nesse contexto, o presente estudo teórico objetiva não apenas explorar a relevância da cafeicultura no Espírito Santo, mas também destacar os impactos da seca, e sugerir a gestão hídrica como elemento crucial para segurança produtiva e sustentável dos cafezais. Esta pesquisa propõe uma abordagem que enfatiza os potenciais impactos adversos decorrentes de eventos climáticos. Na análise apresentada, discutiremos de maneira concisa o comportamento fisiológico das plantas sob condições de estresse hídrico, delineando as ameaças à produtividade da cultura em virtude da variabilidade climática, especialmente a diminuição da disponibilidade hídrica, que constitui um desafio de grande magnitude na agricultura global. A conclusão almejada por esta pesquisa reside na compreensão dos leitores de que práticas agronômicas voltadas para a gestão podem conferir robustez substancial à produção de café, consolidando-se como elementos-chave para a sustentabilidade da cafeicultura no cenário estadual assim como no cenário nacional. **PALAVRAS-CHAVE:** Cafeicultura. Gestão hídrica. Sustentabilidade agrícola.

CHALLENGES IN COFFEE PRODUCTION: WATER MANAGEMENT AS A PILLAR OF SUSTAINABILITY IN THE FACE OF CLIMATE THREATS

Abstract: Coffee production assumes a prominent role within the national agricultural landscape. Confronted with the challenges posed by climate change and the imposition of increasingly stringent market criteria, the evaluation of productivity transcends traditional parameters. This shift allows for nuanced discussions concerning enhancements in product quality and a relentless pursuit of heightened sustainability within the production paradigm. Efficiency in the utilization of natural resources, notably water and inputs, stands as a foundational tenet for the establishment of ecologically sustainable systems. Within this framework, this theoretical investigation aspires not only to delineate the significance of coffee cultivation in Espírito Santo but also to underscore the ramifications of drought. Furthermore, it advocates for water management as an indispensable component safeguarding the productivity and sustainability of coffee plantations. The research posits an approach accentuating the potential adverse impacts stemming from climatic events. The ensuing analysis will succinctly expound upon the physiological responses of plants subjected to water stress, elucidating the perils to crop productivity resultant from climatic variability. Notably, the diminishing water availability emerges as a formidable challenge in the global agricultural landscape. The sought-after conclusion of this research converges on the readers' comprehension that agronomic practices oriented towards meticulous management endow coffee production with substantial resilience. These practices, therefore, manifest as pivotal constituents underpinning the sustainability of coffee farming within the state and national milieu.

KEYWORDS: Coffee farming. Water management. Agricultural sustainability.

1 | PANORAMA DA CAFEICULTURA IRRIGADA NO ESPÍRITO SANTO

A cafeicultura destaca-se como uma das atividades agrícolas com grande influência na economia e nos aspectos socioeconômicos do país. O Brasil ostenta a posição de maior produtor e exportador global de café, seguido pelo Vietnã e Colômbia. Dentre os principais estados produtores, destaca-se o Espírito Santo (ES), que, apesar de abranger apenas 0,5% do território nacional, contribui com impressionantes 68% da produção de café Conilon (CONAB, 2023).

O café é uma planta perene pertencente à família Rubiaceae, do gênero *Coffea*, no qual mais de 90 espécies já foram descritas, com destaque para as mais cultivadas e comercializadas, *Coffea arabica* e *Coffea canephora* (FERRÃO *et al.*, 2020; IPPC, 2021).

O *Coffea* sp. é originário do continente africano, sendo o *C. canephora* de uma ampla área que se estende da Guiné ao Congo, da costa oeste à região central do continente, predominando em regiões de baixa altitude, de temperaturas mais elevadas em áreas baixas da floresta tropical (CHARRIER; BERTHAUD, 1988). No contexto brasileiro, seu cultivo prevalece em regiões de menor altitude e temperaturas mais elevadas, com média anual variando entre 22°C e 26°C.

Com mais de 11 milhões de hectares dedicados à produção de café em todo o mundo, a cultura é considerada um meio de subsistência importante para milhões de produtores, principalmente pequenos agricultores familiares (LÄDERACH *et al.*, 2016). Segundo dados levantados pela Gerência de Dados e Análises da Secretaria da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca (Seag), o café conilon é a principal fonte de renda em 80% das propriedades rurais capixabas, gerando cerca de 400 mil empregos diretos e indiretos, e está presente em mais de 75 mil das 108 mil propriedades agrícolas do Estado (SEAG, 2023), portanto variações na produtividade influenciam diretamente o cenário nacional e internacional.

Segundo a Conab (2023), a produtividade média do café conilon em 2022 atingiu 47,7 sacas por hectare, com uma previsão para 2023 de 38,9 sacas por hectare, refletindo uma queda já prevista anteriormente, essa redução é justificada pelas condições climáticas adversas durante as fases cruciais do ciclo de crescimento da cultura. No entanto, destacando a resiliência da produção capixaba, Ferrão *et al.* (2017) observaram um significativo aumento na produtividade ao longo das últimas décadas, passando de uma média de 9,2 sacas por hectare em 1992 para aproximadamente 47 sacas por hectare atualmente. Esse avanço não apenas impulsiona a rentabilidade dos cafeicultores, como reforça a necessidade no aprimoramento contínuo de práticas e tecnologias de cultivo (RONCHI; DAMATTA, 2017).

Contudo, a produção cafeeira, assim como a agricultura em geral, enfrenta desafios decorrentes da intensidade e variações sazonais. Mudanças nos padrões climáticos, como variações extremas de temperatura e alterações nos regimes de chuvas, colocam em risco

a viabilidade da produção de café (LÄDERACH *et al.*, 2016; RIBEIRO *et al.* 2018). De acordo com Bunn *et al.* (2015), a crescente probabilidade de eventos climáticos extremos reduzirão a área global adequada para o café em cerca de 50%.

Entre os principais desafios elencados em literatura os quais relacionam-se às mudanças climáticas, está a adaptação ao sistema produtivo a alteração da disponibilidade de água. Este cenário, promove um “sinal de alerta” para a necessidade de condutas e estratégias para mitigar os impactos das mudanças climáticas na produção de café.

A aplicação da técnica de irrigação surge quando o balanço hídrico revela que a demanda hídrica das plantas ultrapassam a quantidade disponível no solo (BONOMO *et al.*, 2013; MARTINS *et al.*, 2018). Em áreas caracterizadas pela escassez ou irregularidade de precipitação, a irrigação assume um papel crucial para assegurar o desenvolvimento saudável dos cafezais e a viabilidade da produção, entretanto, um fator crítico para o manejo da irrigação da lavoura cafeeira é quantificar com precisão o volume de água a ser aplicado, pois isso afeta diretamente a produtividade da lavoura (BONOMO *et al.*, 2013; VICENTE *et al.*, 2017).

Nas últimas décadas, a irrigação tornou-se crucial na cafeicultura do Espírito Santo, sendo ferramenta base no impulsionamento da produtividade e rendimento dos cafezais, aumentando significamente o do rendimento por área cultivada. Sua importância vai além do simples crescimento da produção, destacando-se como uma ferramenta essencial para a diversificação e otimização eficiente da colheita cafeeira no estado (BONOMO *et al.*, 2013). Além de garantir o suprimento adequado de água em períodos críticos, a prática da irrigação possibilita a implementação da fertirrigação, otimizando a eficácia na aplicação de fertilizantes e promovendo um manejo agrícola mais sustentável e eficiente.

A virada de chave que a irrigação representou no Espírito Santo é reflexo a necessidade de complementação hídrica mesmo com registros pluviométricos anuais acima dos 1200 mm. Apesar de grande parte do Estado possuir condições térmicas ideais para o cultivo do cafeeiro conilon, existem restrições para o aspecto hídrico (PEZZOPANE *et al.*, 2010), decorrentes a distribuição irregular das chuvas no estado, que por si ocasiona eventos com elevados índices de déficits hídricos. Esses períodos de seca intensificam a dependência da produção em relação à complementação hídrica, conforme ressaltado por PIMENTEL *et al.* (2010).

Nesse contexto, a irrigação assumiu papel de protagonista e como recurso vital na maximização da produtividade na agricultura cafeeira contemporânea (RIBEIRO *et al.*, 2018; CASTANHEIRA *et al.*, 2013). E por isto, as estimativas indicam que aproximadamente 70% das lavouras de café conilon no estado do ES são conduzidas com o uso de irrigação (SEAG, 2023).

No entanto, desafios ainda precisam ser superados na cafeicultura irrigada capixaba. Primeiramente é importante ainda salientar que essa técnica não está ao alcance de todos os agricultores, especialmente aqueles com recursos financeiros limitados para investir em

infraestrutura de irrigação.

Em determinados cenários, a falta de conhecimento técnico e os custos financeiros na implementação de programas de manejo têm conduzido a produtividades abaixo das expectativas, resultando em baixa produtividade da água. O uso inadequado dos sistemas de irrigação não só gera custos elevados, mas também podem causar impactos ambientais substanciais, comprometendo tanto a disponibilidade quanto a qualidade da água, conforme destacado por BIZARI *et al.* (2009).

Nesse contexto, aprimoramentos no manejo hídrico tornam-se imperativos para otimizar o rendimento do café, especialmente em ambientes com limitações hídricas (BLUM, 2005; SILVA *et al.*, 2013). Além disso, as preocupações ambientais agravam as condições, já que o aumento da produtividade em plantações irrigadas demanda um maior consumo de água doce. Em algumas regiões, cafeicultores enfrentam desafios significativos relacionados à disponibilidade e qualidade da água para irrigação (DAMATTA *et al.*, 2018). Essa realidade destaca a necessidade de abordagens equitativas para o gerenciamento e manejo da irrigação para enfrentar os desafios relacionados à irrigação na cafeicultura.

Para mitigar estes problemas, é necessário investimentos de recursos humanos financeiros, propondo aumentar o rigor quanto a eficiência dos sistemas de irrigação entregues aos produtores no estado. Além disto, o manejo e fornecimento da água passa a ter um papel central quando relacionado a implementação de práticas sustentáveis. Ao adotar estratégias que otimizam o uso da água, os agricultores não apenas promovem a eficiência hídrica, mas também contribuem para a sustentabilidade ambiental, reduzindo o desperdício e minimizando impactos adversos nos recursos hídricos locais.

O manejo da irrigação é uma técnica viável e de baixo custo, que visa auxiliar na determinação da quantidade necessária de água às plantas no momento correto. Constitui-se como uma técnica muito importante do ponto de vista econômico e ambiental numa atividade agrícola irrigada, proporcionando economia de água, energia, aumento da produtividade da cultura e melhoria na qualidade do produto (BONOMO *et al.*, 2013).

A otimização da eficiência na irrigação requer uma abordagem abrangente que leve em conta uma análise holística, considerando diversos fatores como aspectos técnicos, agrônômicos, econômicos, políticos, sociais e ambientais. Essa perspectiva integrada é essencial para compreender como a água é utilizada e garantir práticas sustentáveis e eficientes no contexto da agricultura (FRIZZONE, 2007). Para o planejamento e gerenciamento eficaz da água, se requer um conhecimento profundo dos cultivos para possibilitar soluções eficientes (SACCON, 2018).

Por não adotar um método de controle da irrigação, tem-se como resultados irrigação em excesso, que tem como consequência o desperdício de energia e de água, ou a falta de água nas plantas, promovendo estresse hídrico (RIBEIRO *et al.* 2018). Este cenário compromete recursos hídricos importantes e por vezes limitados (SACCON, 2018) e em diversas circunstâncias limitam ainda mais o aumento produtivo das lavouras

21 ASPECTOS FISIOLÓGICOS DO CAFEIEIRO SUBMETIDO A DÉFICIT HÍDRICO

Embora a produção cafeeira seja fortemente afetada pela seca, a maioria dos cultivos está situada em regiões propensas a esse fenômeno, consideradas zonas marginais para o crescimento e produção do café (ARAUJO *et al.*, 2011; DAMATTA & RAMALHO, 2006; SILVA *et al.*, 2013). Essas áreas estão suscetíveis aos efeitos do déficit hídrico no solo, um fenômeno que ocorre frequentemente durante o ciclo de desenvolvimento do cafeeiro (RODRIGUES *et al.*, 2013). Esse déficit hídrico é reconhecido como o principal estresse abiótico capaz de afetar o crescimento e produção (ARAUJO *et al.*, 2011; DaMATTA & RAMALHO, 2006), pois, impõe restrições nas taxas de assimilação de CO₂, transpiração e condutância estomática (RENA & MAESTRI, 2000; SILVA *et al.*, 2013), resultando, conseqüentemente, em redução nas taxas fotossintéticas e acúmulo de massa nas plantas.

Segundo Peloso *et al.*, (2017) em condições mais severas de déficit hídrico, reduções nas taxas fotossintéticas podem ocorrer devido à inibição de processos metabólicos específicos como, a fotofosforilação, a capacidade de regeneração da ribulose - 1,5 - bisfosfato (RuBP) e redução de atividade da ribulose 1,5 bifosfato carboxilase oxigenase (Rubisco) e de outras enzimas envolvidas no ciclo de Calvin (TAIZ *et al.*, 2017). Além disso, a exposição ao déficit hídrico poderá ocasionar desbalanço entre a absorção e a utilização da energia luminosa nos cloroplastos (PELOSO *et al.*, 2017). Tal desbalanço pode causar um expressivo aumento na produção de espécies reativas de oxigênio, as quais estão associadas a diversos danos celulares, como a oxidação de lipídeos, proteínas e ácidos nucléicos. Esse processo, em última instância, pode culminar na morte do tecido vegetal (TAIZ *et al.*, 2017).

A resposta das plantas ao estresse provocado pelo déficit hídrico se revela através de uma série de manifestações morfológicas, tais como clorose foliar, senescência das folhas e morte de ramos. Esses distúrbios são agravados pela interação sinérgica de diferentes condições de estresse, destacando a complexidade das respostas adaptativas das plantas frente a essa adversidade (DAMATTA *et al.*, 2018). Desta forma, destaca-se que o dano que o déficit hídrico acarreta ao cafeeiro está diretamente relacionado ao impacto sobre a fisiologia da planta e, por conseguinte, sua morfologia (WU *et al.*, 2018).

A regulação do fechamento estomático é a primeira linha de defesa a ser acionada, resultando na conseqüente redução da transpiração (TAIZ *et al.*, 2017). Estudo com diferentes clones apontam as estratégia adotada pelas plantas para minimizar os danos provocados pela deficiência hídrica, envolvendo a ativação de rotas metabólicas secundárias relacionadas à sensibilidade e à tolerância. Entre esses compostos, destacam-se as substâncias osmoticamente ativas nas raízes, desempenhando um papel fundamental na redução do potencial osmótico, essencial para a absorção de água, principalmente em solos com baixos potenciais hídricos. No entanto estes mecanismos podem variar entre os

genótipos (ARRUDA *et al.*, 2015; CHAVES *et al.*, 2002; TAIZ *et al.*, 2017).

Em situações comuns, os efeitos da seca no café conilon podem ser intensificados por temperaturas extremas, resultando em danos celulares e estresses secundários, como estresse osmótico e oxidativo pela geração descontrolada de espécies reativas de oxigênio (DAMATTA & RAMALHO, 2006; CAVATTE *et al.*, 2012). A importância da fisiologia do cafeeiro para altos rendimentos reside na capacidade da planta de otimizar seu metabolismo e desempenhar essas funções de maneira eficiente, especialmente em condições de estresses hídricos, temperaturas extremas e outras condições ambientais adversas previstas.

3 I CRISE HÍDRICA NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

A baixa disponibilidade hídrica representa um desafio significativo na agricultura global (SHAO *et al.*, 2008). O déficit hídrico destaca-se entre os diversos fatores limitantes da produção vegetal, pois não apenas afeta as relações hídricas e o metabolismo das plantas, mas também impacta extensas áreas cultiváveis (NOGUEIRA *et al.*, 2001)

A crise hídrica no Espírito Santo em 2014/2015, afetou severamente as plantações de café devido à escassez de água prolongada juntamente com às altas temperaturas, gerando fragilidade nas plantas e forçando muitos produtores a abandonar a atividade, impactando significativamente a economia do estado (DAMATTA *et al.*, 2018). Entre 2015 e 2017, a quantidade de chuvas ficou aquém da média projetada, coincidindo com eventos de El Niño. Esse fenômeno contribuiu para um aumento anormal da temperatura, com média anual superior a 26°C, intensificando a deficiência hídrica e agravando os impactos adversos no metabolismo fisiológico das plantas.

A estiagem prolongada reduziu significativamente o volume dos rios, córregos e barragens de propriedades rurais, muitas vezes inviabilizando o uso de sistemas de irrigação. A crise hídrica prolongada, gerou em dificuldades de abastecimento urbano em algumas regiões, e na zona rural desencadeou pequenos conflitos quanto ao uso da água. Neste cenário, emergencialmente houve proibição do uso da irrigação, adicionalmente, observaram-se impactos significativos as plantas (DAMATTA, *et al.*, 2018), as quais foram submetidas a condições de déficit hídrico. Como resultado, a maior parte dos cafezais tiveram baixo rendimento de colheita, casos mais severos culminaram em safra zero, especialmente devido abortamento floral e de chumbinhos. Tais condições levaram alguns produtores a optarem pela recepa ou arranquio das lavouras (CONAB, 2017).

Os cafeicultores enfrentaram perdas financeiras significativas, as quais segundo estimativas governamentais, chegaram a alcançar redução de impressionantes 48% nos anos subsequentes. Estas condições ligaram um sinal de alerta quanto ao aspecto hídrico na produção de cafés, expondo a fragilidade do sistema o qual a cada via-se mais ameaçada pelo aumento dessa variabilidade climática (PADOVAN *et al.*, 2018). Além disto,

este período revelou uma influência direta e maior do que o imaginado relacionado ao déficit hídrico na diminuição da colheita (VENANCIO *et al.*, 2020).

A crise hídrica de certa forma impulsionou a busca por melhorias no sistema produtivo. Neste aspecto, inicia-se a busca por melhorias que são ampla discussão não apenas quanto ao uso da irrigação, mas sim no uso eficiente da irrigação, e de forma mais proeminente, avançando em conceitos relacionados a gestão hídrica. Neste momento, é oportuno salientar a virada de chave, onde produtores e entidades passam a entender a gestão como fundamental, afinal, não é possível utilizar a água uma vez que nem a temos disponível.

Neste sentido, observou-se esforços contínuos para melhorias nos reservatórios de água nas mais diversas propriedades rurais. Incentivos governamentais foram fornecidos para a construção de barragens. O entendimento da erosão como processo de degradação do solo e da água foram iniciativas que ajudaram a mobilizar uma nova forma de entendimento. E por fim o entendimento que o aumento da eficiência do uso da água na irrigação era fundamental neste novo cenário.

4 | CENÁRIO DE MUDANÇAS E A NECESSIDADE DA GESTÃO HÍDRICA

A experiência em vivenciar a impraticabilidade da irrigação dada ausência de água, causou perplexidade a comunidade, porém levou à compreensão de que a irrigação, por si só, carece de utilidade significativa sem uma gestão eficaz. Até o momento, muitas propriedades agrícolas dependem fortemente da irrigação, no entanto, não possuem reservas de água adequadas para atender à demanda. A negligência de princípios básicos de gestão da agricultura irrigada, especialmente no que diz respeito ao planejamento de recursos, foi por muito tempo uma realidade em grande parte dos usuários de irrigação.

As frequentes irregularidades pluviométricas expuseram esta problemática como um ponto crítico para o processo produtivo. Pequenas sazonalidades de chuvas, podem ocasionar uma escassez precoce do recurso, dificultando assim a implementação de quaisquer práticas de manejo da irrigação, colocando em risco todo trabalho realizado. Sabendo que para atingir o rendimento potencial de uma cultura, é crucial atender à sua demanda hídrica, podemos dizer que a otimização da gestão da irrigação é fundamental para aumentar a eficiência no uso da água na agricultura, evitando o desperdício desnecessário de recursos hídricos, muitas vezes escassos e vitais.

A adaptação ao sistema produtivo sob uma possível alteração da disponibilidade de água e em função das demandas na agricultura deve ser encarada como um dos grandes desafios das mudanças climáticas. O aumento na frequência e na intensidade de períodos de seca, associados a altas temperaturas, é esperado em futuro próximo, como consequência das mudanças climáticas, causando perdas substanciais em áreas agrícolas (ARRUDA *et al.*, 2015).

Nesse contexto, o debate em torno da gestão da agricultura irrigada precisam ser tratadas com seriedade. O planejamento no uso dos recursos hídricos inicia-se a partir do entendimento sobre a necessidade de garantir aplicação de técnicas que possibilitem o armazenamento de água, em volume compatível com a demanda dos cultivos. Dentre as intervenções efetivas para aumentar a disponibilidade hídrica elenca-se como prioridade técnicas que promovam a redução do processo erosivo. O aumento da rugosidade do solo, reduz a velocidade de escoamento superficial permitindo melhor infiltração da água no solo, e resultam conseqüentemente no reabastecimento de mananciais, lençóis freáticos. A construção de barragens tem correspondido a este objetivo, fornecendo uma contribuição significativa para o armazenamento de água.

Para este fim, a busca por armazenamento e aumento da infiltração de água no solo ganhou apoio governamental, a qual por meio de políticas públicas incentivaram a construção de barragens em todo Estado do Espírito Santo. É preciso enfatizar neste tópico que, antes de utilizar o recurso, é necessário possuir o recurso.

Uma vez atendido este preceito, conseguimos de fato, avançar na discussão de partindo agora para o entendimento de que não basta apenas irrigar, deve-se saber irrigar. Esta afirmativa leva ao entendimento de que o manejo da água não se trata mais de uma simples opção técnica, mas sim uma estratégia inserida em um conceito mais amplo de agricultura irrigada. Deste modo, estabelecemos aqui o segundo pilar no modelo de gestão hídrica, a qual fundamenta-se além da sustentabilidade o aumento da produção e da rentabilidade da propriedade agrícola. Apesar do entendimento da irrigação ferramenta fundamental para o sucesso produtivo, a grande maioria dos usuários, ainda não adotam quaisquer estratégias de manejo de irrigação (BONOMO *et al.*, 2014). Juntamente com os baixos índices de eficiência verificados nos sistemas, resulta num cenário onde há baixa eficiência de utilização da água (BRITO *et al.* 2012).

Geralmente esta ausência de manejo resulta em uma aplicação com quantitativo volumétrico de água inferior ao requerido pela necessidade dos cultivos. Desta maneira, gradativamente observa-se mesmo em cultivos irrigados, plantas submetidas ciclos contínuos de déficit hídrico de curta duração, seja devido a limitações relacionadas ao baixo volume de água disponível na propriedade (erro de planejamento), ou pela não adoção de práticas de manejo da irrigação. Neste aspecto torna-se necessário a busca contínua pela otimização da eficiência no uso da água na produção agrícola. Práticas de irrigação mais eficientes podem reduzir o volume de água aplicado aos campos agrícolas em 30-70% e pode aumentar o rendimento das colheitas em 20 a 90% (SACCON, 2018).

Por fim, é necessário entender que o futuro da irrigação envolve produtividade e rentabilidade sustentados pela eficiência no uso da água, da energia e de insumos, ao mesmo tempo em que respeitam o meio ambiente. Esses pilares fundamentais não apenas otimizam o desempenho agrícola, mas também buscam a harmonia entre práticas agrícolas e a preservação ambiental, delineando um caminho mais equilibrado e sustentável para os

cultivos irrigados.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, G. L. *et al.* Influência do déficit hídrico no desenvolvimento inicial de duas cultivares de café conilon. **Irriga**, v. 16, n. 2, p. 115-124, 2011. <https://doi.org/10.15809/irriga.2011v16n2p115>
- ARRUDA, I. M. *et al.* Crescimento e produtividade de cultivares e linhagens de amendoim submetidas a déficit hídrico. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, v. 2015, n. 2, p. 146–154, 2015. <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4529652>
- BLUM, A. Drought resistance , water-use efficiency , and yield potential — are they compatible , dissonant , or mutually exclusive ? . **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 56, n. 11, p. 1159–1168, 2005. <https://doi.org/10.1071/AR05069>
- BONOMO, D. Z. *et al.* Desenvolvimento vegetativo do cafeeiro conilon submetido a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 7, n. 2, p. 157–169, 2013.
- BRITO, R. R. *et al.* Uso da água na irrigação. **Fórum Ambiental**, v. 8, n. 2, p. 373–383, 2012.
- BUNN, C. *et al.* A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. **Climatic change**, v. 129, n. 1, p. 89-101, 2015. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1306-x>
- CAVATTE, P. C. *et al.* The physiology of abiotic stresses. In: FRITSCHKE-NETO, R., BORÉM, A. **Plant Breeding for Abiotic Stress Tolerance**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 21-51, 2012. https://doi.org/10.1007/978-3-642-30553-5_3
- CHAVES, M. M. *et al.* How Plants Cope with Water Stress in the Field . Photosynthesis and Growth. **Annals of Botany**, v. 89, n. 7, p. 907–916, 2002. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf105>
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café safra 2017**. Primeiro levantamento janeiro 2017. v. 4, n. 1, p. 98, 2017.
- _____. **Acompanhamento da safra brasileira de café**. Brasília, DF, v. 10, safra 2023, n. 3 terceiro levantamento, setembro 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>
- DAMATTA, F. M.; COCHICHO RAMALHO, J. D. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: A review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n. 1, p. 55–81, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100006>
- DAMATTA, F. M. *et al.* Physiological and agronomic performance of the coffee crop in the context of climate change and global warming: A review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 21, p. 5264-5274, 2018. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04537>
- FERRÃO, M. A. G. *et al.* Origem, dispersão, taxonomia e diversidade genética de Coffea canephora. In: FERRÃO, R. G. *et al.* **Café conilon**. Vitória, ES: Incaper. 2007.
- FERRÃO, R. G. *et al.* Cultivares de cafés Conilon e Robusta. **Informe Agropecuário**, v. 41, n. 309, p. 17–25, 2020. Disponível em: <http://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/handle/123456789/4230>

FRIZZONE, J. A. Planejamento da Irrigação com Uso de Técnicas de Otimização. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 1, n. 1, p. 24–49, 2007.

IPPC - International Plant Protection Convention. IPPC Secretariat. 2021. **Scientific review of the impact of climate change on plant pests – A global challenge to prevent and mitigate plant pest risks in agriculture, forestry and ecosystems**. Rome. FAO on behalf of the IPPC Secretariat. <https://doi.org/10.4060/cb4769en>

LÄDERACH, P. *et al.* Climate change adaptation of coffee production in space and time. **Climatic change**, v. 141, n. 1, p. 47-62, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1788-9>

MARTINS, L. D. *et al.* Carbon and water footprints in Brazilian coffee plantations-the spatial and temporal distribution. **Emirates journal of food and agriculture**, v. 7, n. 4, p. 487- 504, 2018. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2018.74030>

MANTOVANI, E. C. Cafeicultura irrigada: produtividade, rentabilidade com sustentabilidade. In: MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. R. **Irrigação do cafeeiro: informações técnicas e coletânea de trabalhos**. Viçosa: UFV, DEA, p. 9-45, 2003.

NOGUEIRA, R. J. M. C. *et al.* Modifications in vapor diffusion resistance of leaves and water relations in barbados cherry plants under water stress. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n. 1, p. 75–87, 2001.

PADOVAN, M. P. *et al.* Water loss by transpiration and soil evaporation in coffee shaded by *Tabebuia rosea* Bertol. and *Simarouba glauca* dc. compared to unshaded coffee in sub-optimal environmental conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 248, n.15, p. 1–14, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.08.036>

PEZZOPANE, J. R.M. *et al.* Zoneamento de risco climático para a cultura do café Conilon no Estado do Espírito Santo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, p. 341-348, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902010000300004>

RENA, A. B.; MAESTRI, M. **Relações hídricas no cafeeiro. Irrigação & tecnologia moderna**. Brasília: ABID, p. 34–41., 2000. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/526>

RIBEIRO, W. R. *et al.* Water deficit as a limiting factor to the initial growth of coffee conilon variety Diamante. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 22, n. 5, p. 1–11, 2018. <https://doi.org/10.9734/JEAI/2018/4115>

RONCHI, C.P.; DAMATTA, F.M. Aspectos fisiológicos do Café Conilon. In: FERRÃO, R. G. *et al.* **Café Conilon**. Vitória, ES: Incaper, p. 103-124, 2017.

ROSA, D. R. Q. *et al.* Disseminando conhecimentos sobre manejo da irrigação no cafeeiro. **Revista ELO–Diálogos em Extensão**, v. 8, n. 1, 2019. <https://doi.org/10.21284/elo.v8i1.1309>

SHAO, H. *et al.* Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes rendus biologies**, v. 331, n. 3, p. 215-225, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2008.01.002>

SEAG- SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA, ABASTECIMENTO, AQUICULTURA E PESCA (SEAG). **Exportações do agronegócio capixaba**. Disponível em: [https://seag.es.gov.br/Media/Seag/Importacao/3%C2%BA%20trimestre%20-%20Exporta%C3%A7%C3%B5es%20do%20agroneg%C3%B3cio%20capixaba%20\(2\).pdf](https://seag.es.gov.br/Media/Seag/Importacao/3%C2%BA%20trimestre%20-%20Exporta%C3%A7%C3%B5es%20do%20agroneg%C3%B3cio%20capixaba%20(2).pdf)

SILVA, P. E. M. *et al.* The functional divergence of biomass partitioning, carbon gain and water use in *Coffea canephora* in response to the water supply: Implications for breeding aimed at improving drought tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 87, p. 49–57, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.09.005>

SACCON, P. Water for agriculture, irrigation management. **Applied Soil Ecology**, v. 123, n. October, p. 793–796, fev. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.10.037>

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre : Artmed, 2017.

VENANCIO, L. P. *et al.* Impact of drought associated with high temperatures on *Coffea canephora* plantations: a case study in Espírito Santo State, Brazil. **Scientific reports**, v. 10, n. 1, p. 19719, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76713-y>

VICENTE, M. R. *et al.* Spacial distribution of fertigated coffee root system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, p. 72-80, 2017. <https://doi.org/10.1590/1413-70542016411021316>

WU, G. *et al.* Differential responses of stomata and photosynthesis to elevated temperature in two co-occurring subtropical forest tree species. **Frontiers in plant science**, v. 9, p. 467, 2018. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00467>