



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de Ilha Solteira

**“UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

DIEGO GONÇALVES FEITOSA

**AVALIAÇÃO DO MANEJO DA IRRIGAÇÃO VIA SOLO EM UM
SISTEMA DE GOTEJAMENTO DE SUBSUPERFÍCIE NA CULTURA
DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Ilha Solteira
2021

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

DIEGO GONÇALVES FEITOSA

**AVALIAÇÃO DO MANEJO DA IRRIGAÇÃO VIA SOLO EM UM
SISTEMA DE GOTEJAMENTO DE SUBSUPERFÍCIE NA CULTURA
DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de
Ilha Solteira - UNESP como parte dos requisitos
para obtenção do título de Doutor em Agronomia.
Especialidade: Sistemas de Produção.

Marcelo Andreotti
Orientador

Fernando Braz Tangerino Hernandez
Coorientador

Ilha Solteira
2021

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

F311a Feitosa , Diego Gonçalves.
Avaliação do manejo da irrigação via solo em um sistema de gotejamento de subsuperfície na cultura da cana-de-açúcar / Diego Gonçalves Feitosa . -- Ilha Solteira: [s.n.], 2021
84 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2021

Orientador: Marcelo Andreotti

Coorientador: Fernando Braz Tangerino Hernandez

Inclui bibliografia

1. Capacidade de água disponível. 2. Evapotranspiração. 3. Umidade do solo. 4. Búlbo úmido. 5. Monitoramento da irrigação.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Avaliação do manejo da irrigação via solo em um sistema de gotejamento de subsuperfície na cultura da cana-de-açúcar

AUTOR: **DIEGO GONÇALVES FEITOSA**

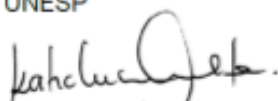
ORIENTADOR: **MARCELO ANDREOTTI**

COORIENTADOR: **FERNANDO BRAZ TANGERINO HERNANDEZ**


Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA,
Área: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

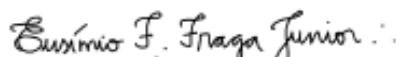


Prof. Dr. FERNANDO BRAZ TANGERINO HERNANDEZ (Participação Virtual)
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP



Prof.ª Dr.ª KÁTIA LUCIENE MALTONI (Participação Virtual)
Departamento de Fitossanidade Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dr. RONALDO CINTRA LIMA (Participação Virtual) 
Coordenação de Curso de Engenharia Agrônoma / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena - UNESP



Prof. Dr. EUSÍMIO FELISBINO FRAGA JÚNIOR (Participação Virtual)
Instituto de Ciências Agrárias / Universidade Federal de Uberlândia- UFU



Prof. Dr. LUIZ FABIANO PALARETTI (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Rural / FCAV-UNESP/Jaboticabal-SP

Ilha Solteira, 03 de dezembro de 2021

DEDICATÓRIA

À minha esposa **Letícia Louzada Ferreira**, pelo carinho, apoio, paciência e compreensão, principalmente por não conseguir ser tão presente quanto eu gostaria. Por estar ao meu lado sempre e me ajudar na luta do cotidiano. Obrigado amor!

Ao meu pai **Tercio Lopes Feitosa**, por sua coragem, bondade, fibra, humildade, sabedoria e compreensão, por ser o meu maior exemplo como pai e como homem, tudo que sou hoje e que serei amanhã devo a você pai.

À minha mãe **Marcionilia Gonçalves Feitosa** pelo amor de mãe, por cada lágrima derrubada, por cada oração, pelas noites em claro, pelos conselhos, “puxões de orelha”, ensinamentos de vida, força de vontade e perseverança.

À minha irmã **Daiely Gonçalves Feitosa** por me proporcionar o prazer e a felicidade de ser um IRMÃO, pelas brigas quando crianças, pelos segredos quando adolescentes e pelos conselhos quando adultos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente À DEUS, por me dar o dom da vida, pela minha saúde, pelo seu amor incondicional em todos os momentos de dificuldade que ajudaram a me construir e me permitiram chegar até aqui e pelas pessoas que ele colocou em meu caminho e que me conduziram até este momento e a NOSSA SENHORA por toda intercessão e amor de mãe.

A minha esposa Letícia Louzada Ferreira por todo amor, carinho e amizade, por estar sempre ao meu lado nos momentos bons e ruins, me ajudando sempre na lida diária, compartilhando comigo todos os nossos sonhos, e pela compreensão e paciência com o meu ritmo de vida meio maluco, com trabalho, aula e pós graduação.

Aos meus pais Tércio e Marcionília e a minha irmã Daiely por sempre me apoiarem nas minhas escolhas, por sempre estar ao meu lado nos momentos de alegria e de tristeza e por todo sacrifício que fizeram para viabilizar os meus estudos.

Aos meus sogros Pedro e Célia, aos cunhados Tiago e Lindanil e aos meus sobrinhos, por terem ampliado o meu sentido de família e por estarem sempre disponíveis para me ajudar em tudo o que precisei.

Aos meus familiares e amigos, em especial minha avó Eunice, pelo carinho incondicional e por serem sempre um porto seguro.

A UNESP Campus de Ilha Solteira, instituição que me formou como Engenheiro Agrônomo e onde pude realizar toda a minha pós graduação e atuo há nove anos como assistente de suporte acadêmico, me formando não apenas como profissional mas como pessoa.

Ao Prof. Dr. Fernando Braz Tangerino Hernandez, pela amizade, orientação, paciência e ensinamentos que tomarei como referência para o resto da vida.

Aos demais professores e funcionários pelo suporte e ensinamentos prestados, por sempre se empenharem ao máximo para nos proporcionar o melhor aperfeiçoamento profissional possível.

Aos colegas da Área de Hidráulica e Irrigação pela amizade e companheirismo, em especial a Regiane, Alberto, Daniela pelo auxílio na condução do trabalho.

Aos meus colegas de trabalho na Unesp, em especial Marcelo, Sílvia, Carlinhos, Márcia, Danielly, Maristela, Cristiane e José Antônio, que sempre torceram por mim e me auxiliaram nas tarefas profissionais do meu dia a dia.

A todos os meus alunos por me ensinarem a amar cada dia mais a profissão de engenheiro agrônomo e a missão de ensinar o que sei e me ajudarem a ser um profissional cada dia melhor buscando aprender o que ainda não sei.

À RAIZEN e à parte de seus Colaboradores, em especial à Fernando Benvenuti, Francisco Evandro Albino, Leandro Melo, Marcelo Agudo Romão e João Amorim pelo apoio incondicional para a realização desta tese.

A FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo apoio financeiro através do projeto “Modelagem da Produtividade da Água em Bacias Hidrográficas com Mudanças de Uso da Terra” (Processo 2.009/52.467-4).

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo apoio financeiro para a aquisição do sistema *Eddy Covariance* (Processo 131 404.229/2013-1), também inovador na região.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”

Madre Teresa de Calcuta

RESUMO

O uso de sistemas de irrigação na cana-de-açúcar é uma prática que visa aumentar a produtividade dessa cultura. Ao encontro disso, é pertinente a preocupação de como fazer o manejo da água adequadamente, afim de promover a máxima produtividade e garantir que a irrigação utilize de forma consciente os recursos hídricos. Uma das formas de realizar o manejo da irrigação é por meio do monitoramento da umidade do solo, porém esse tipo de manejo é bastante dificultado em grandes áreas, como no caso do cultivo da cana-de-açúcar, onde a variabilidade, decorrente das variáveis do solo e da planta, é enorme e interfere diretamente na precisão do monitoramento da umidade. Neste sentido, objetivou-se estudar o levantamento de parâmetros e estratégias para o manejo da irrigação pelo monitoramento da umidade do solo em um sistema de gotejamento em subsuperfície, instalado em uma área de cultivo comercial de cana soca, localizada às margens do rio Tietê, no município de Andradina (SP) no noroeste paulista. A pesquisa teve início com a determinação do número mínimo de amostras e da profundidade adequada de coleta de solo, para determinação da capacidade de água disponível (CAD), seguida da determinação da profundidade efetiva do sistema radicular (PESR) e da área de bulbo úmido formado pelo sistema de gotejamento em subsuperfície. Em seguida, todas as informações foram utilizadas para comparar o manejo da irrigação por meio do monitoramento do solo com os dados de evapotranspiração real da cultura (ETr). Os resultados demonstraram que apenas 3 amostras coletadas entre a profundidade de 0,4 e 0,6 m foram suficientes para representar a CAD, nas condições avaliadas de solo e cultura, já a PESR encontrada como ideal a ser utilizada no manejo da irrigação da cultura da cana-de-açúcar foi de 0,6 m de profundidade, enquanto a área média do bulbo úmido ficou em 0,36 m², gerando a partir dos dados de cultivo, uma redução da CAD para 60% do valor que seria utilizado em um sistema de irrigação por aspersão. De uma forma geral, o manejo da irrigação pelo monitoramento da umidade do solo se mostrou satisfatório em comparação com o uso da ETr, sendo para tanto, recomendada a instalação de pelo menos um sensor a 0,4 m de distância lateral da linha de gotejamento e a 0,4 m de profundidade, ou quando possível o uso de outros sensores a 0,2 e 0,6 m de profundidade na mesma distância da linha de irrigação.

Palavras-chave: capacidade de água disponível; evapotranspiração; umidade do solo; bulbo úmido; monitoramento da irrigação

ABSTRACT

The use of irrigation systems in sugarcane is a practice that aims to increase the productivity of this crop. In line with this, the concern of how to properly manage water is relevant, in order to promote maximum productivity and ensure that irrigation uses water resources consciously. One of the ways to manage irrigation is by monitoring soil moisture, but this type of management is quite difficult in large areas, as in the case of sugarcane cultivation, where the variability, resulting from the soil and plant variables, is huge and directly interferes with the accuracy of moisture monitoring. In this sense, the objective was to study the survey of parameters and strategies for irrigation management by monitoring soil moisture in a subsurface drip system, installed in an area of commercial cultivation of ratoon cane, located on the banks of the Tietê River, in Andradina (SP), Northwest of São Paulo state. The research started with the determination of the minimum number of samples and the adequate depth of soil collection, to determine the available water capacity (AWC), followed by the determination of the effective depth of the root system (EDRS) and the wet bulb area formed by the subsurface drip system. Then, all the information was used to compare the irrigation management through soil monitoring with the crop real evapotranspiration (ETr) data. The results showed that only 3 samples collected between the depth of 0.4 and 0.6 m were sufficient to represent the AWC, in the evaluated soil and crop conditions, whereas the EDRS was found to be ideal to be used in the irrigation management of the sugarcane crop was 0.6 m deep, while the average area of the wet bulb was 0.36 m², generating from the cultivation data, a reduction of AWC to 60% of the value that would be used in a sprinkler irrigation system. In general, irrigation management by monitoring soil moisture proved to be satisfactory compared to the use of ETr, and for that, it is recommended to install at least one sensor at 0.4 m lateral distance from the drip line and at 0.4 m depth, or when possible the use of other sensors at 0.2 and 0.6 m depth at the same distance from the irrigation line.

Keywords: available water capacity; evapotranspiration; soil moisture; wet bulb, irrigation monitoring.

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 1.1 | HIPÓTESE: | 12 |
| 1.2 | OBJETIVOS..... | 13 |
| 1.2.1 | Objetivo geral..... | 13 |
| 1.2.2 | Objetivos específicos | 13 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA..... | 14 |
| 2.1 | SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR. | 14 |
| 2.2 | MANEJO DA IRRIGAÇÃO | 14 |
| 2.3 | BALANÇO DE ENERGIA PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO | 15 |
| | REFERÊNCIAS | 16 |
| 3 | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE AVALIAÇÃO | 18 |
| | REFERÊNCIAS | 19 |
| 4 | CAPITULO 1 - NÚMERO MÍNIMO DE AMOSTRAS PARA DETERMINAÇÃO DA CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NUM LATOSSOLO COM CANA SOCA..... | 20 |
| 4.1 | INTRODUÇÃO | 22 |
| 4.2 | MATERIAL E MÉTODOS | 23 |
| 4.3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 25 |
| 4.4 | CONCLUSÃO | 32 |
| | REFERÊNCIAS | 32 |
| 5 | CAPITULO 2 - AVALIAÇÃO DA PROFUNDIDADE EFETIVA DO SISTEMA RADICULAR DE DUAS VARIEDADES DE CANA EM QUINTO CORTE NO NOROESTE PAULISTA..... | 36 |
| 5.1 | INTRODUÇÃO | 38 |
| 5.2 | MATERIAL E MÉTODOS:..... | 40 |
| 5.2.1 | Determinação da profundidade efetiva do sistema radicular..... | 40 |
| 5.3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 42 |
| 5.4 | CONCLUSÃO | 50 |
| | REFERÊNCIAS | 50 |
| 6 | CAPITULO 3 - AVALIAÇÃO DE BULBO ÚMIDO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO DE SUBSUPERFÍCIE EM LATOSSOLO VERMELHO..... | 54 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 6.1 | INTRODUÇÃO | 56 |
| 6.2 | MATERIAL E MÉTODOS:..... | 57 |
| 6.2.1 | Metodologia de coleta e avaliação de propriedades físicas do solo..... | 57 |
| 6.2.2 | Determinação da profundidade efetiva do sistema radicular..... | 58 |
| 6.2.3 | Determinação do bulbo úmido..... | 58 |
| 6.2.4 | Definição do local de amostragem da umidade do solo | 59 |
| 6.3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 60 |
| 6.3.1 | Caracterização do solo | 60 |
| 6.3.2 | Avaliação das diferentes classes de umidade..... | 60 |
| 6.3.3 | Recomendação de local para monitoramento da umidade do solo. | 62 |
| 6.4 | CONCLUSÃO | 63 |
| | REFERÊNCIAS | 64 |
| 7 | CAPITULO 4 - AVALIAÇÃO DO MANEJO DA IRRIGAÇÃO EM DOIS ANOS DE CANA SOCA NO NOROESTE PAULISTA | 66 |
| 7.1 | INTRODUÇÃO:..... | 68 |
| 7.2 | MATERIAL E MÉTODOS:..... | 69 |
| 7.2.1 | Determinação da umidade do solo | 69 |
| 7.2.2 | Determinação da Evapotranspiração Real da cultura (ET _r): | 70 |
| 7.2.3 | Cálculo do armazenamento de água no solo..... | 71 |
| 7.3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 73 |
| 7.4 | CONCLUSÃO | 81 |
| | REFERÊNCIAS | 81 |
| 8 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 83 |

1 INTRODUÇÃO

A irrigação é uma prática que agrega diversas vantagens ao produtor rural e é fundamental para que a cultura não fique sujeita aos períodos de déficit hídrico e assim juntamente com um manejo de solo e fitossanitário bem feitos, consiga alcançar toda sua produtividade esperada, garantindo dessa forma o retorno do investimento feito na instalação e manutenção da cultura.

O uso da irrigação, além da garantia de produtividade, proporciona ao agricultor a possibilidade de intensificar o uso da área, produzindo culturas em locais e épocas que seriam inviáveis sem o uso da tecnologia, gerando assim efeitos multiplicadores na economia local.

Além do desenvolvimento sócio-econômico em si, o uso da irrigação pode ser apontado como uma das ações mitigadoras da mudança climática global, já que na provável mudança do ambiente a tecnologia pode permitir a manutenção da produção em regiões, onde sem irrigação isso não seria possível, e possibilita uma maior produção sem a necessidade do incremento de novas áreas.

Embora tradicionalmente a cultura da cana-de-açúcar venha sendo cultivada quase que exclusivamente em áreas de sequeiro onde, segundo Silva *et al.* (2014), essa prática está alicerçada no paradigma de que a irrigação da cana-de-açúcar é economicamente inviável nas condições edafoclimáticas do estado de São Paulo. A irrigação na cultura da cana-de-açúcar tem sido indiscutivelmente uma prática que vem ganhando espaço como estratégia para um incremento significativo na produtividade da cultura, onde pesquisadores tem encontrado um aumento em torno de 25% na produtividade da cana-de-açúcar irrigada em comparação com a de sequeiro (GAVA *et al.*, 2011).

Segundo Inman-Bamber e Smith (2005), a cultura da cana-de-açúcar consegue suportar um certo grau de déficit hídrico, sem afetar a produção de biomassa e o acúmulo de sacarose. Segundo o mesmo autor, caso esse déficit hídrico ocorra de maneira intensiva principalmente na fase vegetativa, os processos fisiológicos, como divisão e alongamento celular são prejudicados, provocando a redução do acúmulo de massa seca, da taxa de crescimento da cultura e do índice de área foliar.

Neste contexto, torna-se ainda mais evidente os benefícios oferecidos pela irrigação na cultura da cana-de-açúcar ao se levar em consideração as características climáticas da região do noroeste paulista, importante região produtora da cultura, onde o balanço hídrico regional observado por Damião *et al.* (2010), Santos, Hernandez e Rossetti (2010), Hernandez *et al.*

(1995) e Hernandez *et al.* (2003) demonstram a ocorrência de um período de até 8 meses de déficit hídrico, dando destaque ainda maior a implantação de sistemas de irrigação como forma indispensável à obtenção de altos índices de produtividade (SILVA *et al.*, 2014).

Para que a prática da irrigação possa realmente apresentar os benefícios esperados para a cultura, deve-se oferecer primeiramente todos os demais fatores necessários à cultura para que ela possa expressar todo o seu potencial produtivo, como a escolha de um material genético de qualidade, um correto preparo e adubação do solo e um manejo fitossanitário adequado. Em segundo lugar deve-se instalar e manejar o sistema de irrigação de maneira adequada, o que segundo Farias *et al.* (2008) muitas vezes não acontece, e muitos irrigantes acabam partindo para o uso da irrigação sem conhecer adequadamente o solo, sem considerar as necessidades hídricas, o manejo apropriado da água na cultura e sem conhecer as peculiaridades fisiológicas do crescimento da cana irrigada.

Segundo Nunes (2014), a maior parte dos usuários da agricultura irrigada não utiliza, ainda, qualquer tipo de manejo da irrigação. Dessa forma, a falta de critério na escolha da lâmina correta de irrigação a ser aplicada, pode acarretar em lâminas inferiores às realmente necessárias, submetendo a cultura a déficits hídricos, aumentando assim o *Yield Gap* da cultura, ou seja, aumentando a diferença entre a produtividade máxima da cultura e a produtividade obtida (SRIJANTR; MOLLE; CHOMPADIST, 2002), diminuindo a produtividade da água, ou seja, utilizando um maior volume de água por biomassa produzida, o que demonstra um uso ineficiente dos recursos hídricos.

Nesse sentido, o manejo da irrigação pode ser conduzido por meio da estimativa da evapotranspiração da cultura, conhecido como “Manejo via Clima” que utiliza os dados de evapotranspiração da cultura, outra forma de manejo conhecida como “Manejo via Solo” utiliza os dados de monitoramento da umidade do solo, porém esse tipo de manejo encontra grandes dificuldades em grandes áreas, como no caso das áreas utilizadas pela cultura da cana-de-açúcar, face a variabilidade do solo e da planta, que interferem diretamente na precisão do monitoramento da umidade.

1.1 HIPÓTESE:

É possível realizar o manejo da irrigação na cultura da cana-de-açúcar em grandes áreas, por meio do monitoramento da umidade do solo em um sistema de irrigação por gotejamento de subsuperfície.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Neste contexto objetivou-se caracterizar e avaliar a eficiência do manejo da irrigação pelo monitoramento de umidade do solo em um sistema de gotejamento em subsuperfície, em área de cultivo comercial de cana-de-açúcar, localizada nas margens do rio Tietê no município de Andradina – SP, na região Noroeste Paulista.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar o número mínimo de amostras indeformadas e a profundidade de coleta para determinação da curva de retenção de água no solo.
- Avaliar a profundidade efetiva do sistema radicular da cana-de-açúcar para determinar o valor correto da capacidade de água disponível.
- Definir as características do bulbo úmido formado pelo sistema de irrigação para verificar se a água da irrigação esta sendo aplicada juntamente a maior concentração do sistema radicular.
- Analisar os dados da estimativa da umidade do solo e comparar com os dados de armazenamento de água no solo obtidos pela subtração da estimativa da evapotranspiração real da cultura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR.

O sistema de irrigação que vem ganhando mais espaço na cultura da cana-de-açúcar é o sistema de irrigação por gotejamento em subsuperfície. Este sistema se caracteriza pela emissão de água ser feita em subsuperfície, com a frente de umidade tangenciando a superfície do solo (dependendo da profundidade e do tipo de solo), evitando a exposição de superfície molhada e reduzindo, ainda mais, a perda por evaporação (NOGUEIRA; COELHO; LEÃO, 2000).

Entre os fatores que colaboram para a escolha deste sistema, destaca-se que conceitualmente os sistemas de irrigação por gotejamento, fornecem água apenas para uma porção do solo, proporcionando assim uma maior economia de água e de energia, conseguindo associar ganhos de produtividade com uma maior economia no uso da água (MACHADO; NEVES; BIALOSKORSKI NETO, 2017; LAMM; AYARS; NAKAYAMA, 2006).

2.2 MANEJO DA IRRIGAÇÃO

O manejo da irrigação pode ser feito de algumas formas, as mais comuns utilizam o clima e o solo como parâmetros. Via solo, o manejo da irrigação é feito a partir da umidade do solo, realizando a irrigação quando necessário, para se elevar a umidade atual do solo até a umidade da capacidade de campo. Já na forma via clima, o manejo é feito calculando-se o armazenamento de água no solo por meio do consumo estimado da água pela evapotranspiração.

Para o manejo da irrigação “Via Solo”, a umidade atual do solo pode ser determinada de maneira direta ou indireta, sendo a primeira determinada por meio de diferença de massa entre o solo úmido e seco e pelos métodos indiretos, que estimam a umidade do solo seja por sua tensão, como os blocos de resistência elétrica, os psicrômetros de solo, watermarks, tensiômetros e a moderação de nêutrons (LEMOS; GERVÁSIO, 1999).

Segundo Nogueira, Coelho e Leão (2000), para o manejo adequado de um sistema de gotejamento de subsuperfície, as informações sobre a distribuição da água no bulbo molhado são de grande importância, tanto para o dimensionamento dos sistemas de irrigação como no seu manejo, visto que a determinação do espaçamento entre emissores, a localização de sensores de umidade, a definição das zonas de diferentes intensidades de absorção de água e nutrientes, requerem o conhecimento da dinâmica da água no bulbo molhado.

Segundo Nunes (2014), a dinâmica da água no solo é influenciada por características físicas, como textura, porosidade e matéria orgânica, que determinam a retenção de água no perfil por adsorção e capilaridade, definindo o estado energético da água e, também, por fatores externos, como precipitação pluvial, radiação solar, temperatura, evapotranspiração da cultura, índice de área foliar, densidade de plantas e sistema de manejo do solo.

Essas características podem influenciar diretamente provocando uma grande variabilidade na distribuição da umidade do solo, o que dificulta a sua representação adequada em grande áreas, podendo exigir um número muito grande de sensores de umidade do solo, o que muitas vezes inviabiliza o manejo da irrigação pelo monitoramento de umidade, pois os sensores como os de reflectometria no domínio do tempo (TDR) e Watermarks que podem ser utilizados de modo automatizado, ainda apresentam um custo de aquisição elevado (NUNES, 2014). Já os sensores como os tensiômetros, que possuem um custo menor de aquisição, necessitam de leituras que podem ser obtidas presencialmente ou transmitidas, em ambos os casos, tornando a aquisição dos dados onerosa ao produtor.

Neste sentido, várias alternativas operacionais e de baixo custo, estão sendo avaliadas para monitorar a umidade do solo, entre elas o uso de sensores de umidade instalados em uma plataforma Arduino, que permitem o armazenamento e transmissão dos dados coletados pelos sensores (MATHEUS *et al.*, 2017).

Já no manejo “Via Clima” a necessidade de irrigação é calculada com base no consumo de água da cultura, denominado evapotranspiração da cultura (ETc) calculada pelo produto da evapotranspiração de referência (ETo) pelo coeficiente da cultura (Kc), sendo que o Kc varia para culturas diferentes, e varia para uma mesma cultura em função do seu estágio fenológico.

Porém independente da forma a ser utilizada no manejo da irrigação, ambas dependem da CAD que teoricamente define a lâmina máxima de água, que armazenada no solo, pode ser utilizada pelas plantas. Sendo que a CAD está diretamente relacionada a profundidade efetiva do sistema radicular e aos seus parâmetros físicos do solo, que por sua vez, estão diretamente relacionados às características e aos métodos de preparo deste mesmo solo.

2.3 BALANÇO DE ENERGIA PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO

Uma eficiente alternativa que vem sendo utilizada para o manejo da irrigação é a obtenção dos valores de evapotranspiração real da cultura (ETr) por meio do balanço de energia da superfície, sendo que a ETr representa a evapotranspiração que realmente ocorreu na planta, diferente da ETc que represente a evapotranspiração máxima considerando que a planta esteja em condições adequadas de desenvolvimento, ou seja, sem a ocorrência de pragas, doenças e

deficiência hídrica e nutricional. Para realizar o balanço de energia é necessário quantificar seus componentes, e vários são os métodos que o fazem com bastante precisão. Dentre esse, tem-se as medições micrometeorológicas que permitem fazer medidas locais, como por exemplo, o método do balanço de energia com base na razão de Bowen, que se baseia na relação do fluxo-gradiente e da transferência de massa entre a superfície e a atmosfera, e também o método das correlações turbulentas ou *Eddy Covariance*, sendo um sistema composto por um analisador de gás no infravermelho (IRGA) e um anemômetro, ambos acoplados a um datalogger realizando a medição direta dos fluxos de calor latente e de calor sensível que permitirá a obtenção da ETr (BISPO, 2020).

REFERÊNCIAS

- BISPO, R. C. **Medições e modelagem da evapotranspiração em cana-de-açúcar no noroeste paulista**. 2020. 94 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/193298>. Acesso em: 13 nov. 2021.
- DAMIÃO, J. O.; HERNANDEZ, F. B. T.; SANTOS, G. O.; ZOCOLER, J. L. Balanço hídrico da região de ilha solteira, noroeste paulista. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 2010, Uberaba. **Anais [...]**. Uberaba, 2010. Disponível em: http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/conird2010_damiaio.pdf. Acesso em: 15 abr. 2013.
- FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P. D.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J. *et al.* Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 356-362, 2008. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br>. Acesso em: 28 maio 2017.
- GAVA, G. J. de C.; SILVA, M. de A.; SILVA, R. C. da; JERONIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S.; KÖLLN, O. T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 3, p. 250-255, mar. 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662011000300005&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 28 maio. 2017.
- HERNANDEZ, F. B. T.; LEMOS FILHO, M. A. F.; BUZETTI, S. **Software HIDRISA e o balanço hídrico de Ilha Solteira**. Ilha Solteira: UNESP, 1995. 45 p. (Série Irrigação, 1).
- HERNANDEZ, F. B. T.; SOUZA, S. A. V.; ZOCOLER, J. L.; FRIZZONE, J. A. Simulação e efeito de veranicos em culturas desenvolvidas na região de Palmeira d'Oeste, Estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 1, p. 21-30, 2003.
- INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, n. 2-3, p. 185-202, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.01.023>. Acesso em: 30 ago. 2017.

LAMM, F. R.; AYARS, J. E.; NAKAYAMA, F. S. **Microirrigation for crop production**. Amsterdã: Elsevier Scienceed, 2006.

LEMOS, E. S., GERVÁSIO, E. S. Uso do instrumento tdr para determinação do teor de água em diferentes camadas de um latossolo roxo distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, n. 33, p. 417-420, 1999.

MACHADO, T.; NEVES, M. F.; BIALOSKORSKI NETO, S. Viabilidade econômica da irrigação localizada na cultura da cana de açúcar. Disponível em: <http://www.gifc.agr.br/wp-content/uploads/2017/02/viabilidade-econômica-da-irrigação-localizada-na-cultura-da-cana-de-açúcar.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2017.

MATHEUS, L. de C. G.; NASCIMENTO, L. C.; GALIANI, M. I.; AMORINS, E. P. de O.; SOUZA, A. P.; RIBEIRO, R. de C.; NETO, O. A. dos S.; OLIVEIRA, J. A. G.; FEITOSA, D. G. ARDUINO : Automatização da Coleta de Dados na Irrigação. **Conexão Eletrônica**, Três Lagoas, v. 14, n. 2316-6665, p. 1706-1719, 2017. Disponível em: <http://revistaconexao.aems.edu.br/edicao-atual/2017/ciencias-exatas-e-da-terra-engenharias-e-ciencias-agrarias/?perPage=10&page=2&offset=10>. Acesso em: 22 jan. 2020.

NOGUEIRA, C. C. P.; COELHO, E. F.; LEÃO, M. C. S. Características e dimensões do volume de um solo molhado sob gotejamento superficial e subsuperficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 315-320, dez. 2000. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662000000300002&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 30 ago. 2017.

NUNES, M. S. **Comparação de métodos via solo e via demanda evaporativa para manejo de irrigação**. 2014. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, 2014. Disponível em: http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde_arquivos/11/TDE-2015-05-20T085746Z-6367/Publico/NUNES, MARIO SANTOS.pdf. Acesso em: 3 set. 2017.

SANTOS, G. O.; HERNANDEZ, F. B. T.; ROSSETTI, J. C. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 4, n. 3, p.142-149, 2010.

SILVA, M. de A.; ARANTES, M. T.; RHEIN, A. F. de L.; GAVA, G. J. C.; KOLLN, O. T. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 3, p. 241-249, mar. 2014. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br/revista/v18n03/v18n03a01.pdf>. Acesso em: 13 maio. 2017.

SRIJANTR, T.; MOLLE, F.; CHOMPADIST, C. Profitability and *yield gap* of sugar cane cultivation in the Mae Klong region. **Thai Agricultural Economic Journal**, [s.l], v. 18, n. 1, p. 53-69, 2002. Disponível em: http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/sous_copyright/verrouilles/010032609.pdf. Acesso em: 6 set. 2017.

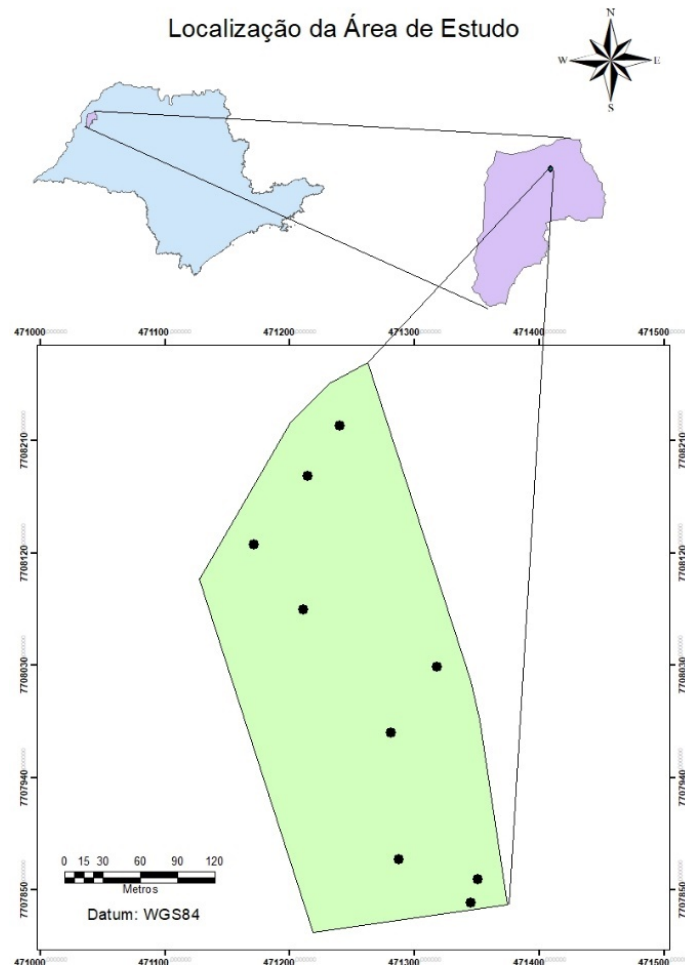
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE AVALIAÇÃO

Este trabalho foi conduzido em uma área comercial de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) no município de Andradina (SP), Brasil, na Latitude -20,728778°; Longitude -51,275083° e altitude 360 metros (Figura 1), com clima, segundo classificação de Köppen, do tipo tropical com inverno seco (Aw) (ROLIM *et al.*, 2007), com precipitação anual média 1.242 mm, temperatura do ar entre 19,7 e 26,9 °C e umidade relativa média de 62,4 % (UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP, 2019).

As avaliações foram realizadas em talhões com duas variedades diferentes, RB 96-6928 e CTC 4 localizadas respectivamente em áreas de solos classificados de acordo com Santos *et al.* (2018) como Latossolo Vermelho Distrófico típico e Nitossolo Vermelho Distrófico típico (SANTOS *et al.*, 2018).

O cultivo foi realizado em um sistema de linhas duplas, com espaçamento entre linhas simples de 0,90 m e entre linhas duplas 1,5 m. A cana-de-açúcar foi irrigada por gotejamento enterrado com tubos gotejadores autocompensantes da marca Rivulis modelo D5000 PC com vazão do emissor de 1,0 L/h, espaçados a cada 0,6 m, posicionados a 0,4 m de profundidade linha simples da cultura.

Figura 1. Localização da área de estudo e distribuição das trincheiras no talhão avaliado.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

REFERÊNCIAS

ROLIM, G. S.; CAMARGO, M. B. P.; LANIA, D. G.; MORAES, J. F. L. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 711-720, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052007000400022>. Acesso em: 9 mar. 2019.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP. **Canal CLIMA da UNESP Ilha Solteira**. Disponível em: <http://clima.feis.unesp.br/>. Acesso em: 9 mar. 2019.

4. CAPITULO 1

NÚMERO MÍNIMO DE AMOSTRAS PARA DETERMINAÇÃO DA CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NUM LATOSSOLO COM CANA SOCA

RESUMO

O uso da irrigação é uma prática que agrega inúmeras vantagens ao produtor rural, no entanto a precisão no seu manejo depende de uma adequada representação da Capacidade de Água Disponível (CAD), obtida pela análise da Curva de Retenção de Água no Solo (CRAS) em amostras indeformadas que representam a área de interesse. Assim, o presente trabalho buscou determinar a profundidade e o número ideal de amostras num Latossolo em uma área comercial de cana soca, no município de Andradina (SP), para sugerir o número mínimo de amostras de solo necessárias e a profundidade ideal para determinação da CAD, além de demonstrar as variações que podem ocorrer no manejo da irrigação quando se utiliza valores de CAD não representativos. Os dados analisados no presente estudo demonstraram que ao aceitar uma margem de erro no valor da CAD de até $0,2 \text{ mm cm}^{-1}$, apenas 3 amostras na profundidade de 0,4 a 0,6 m são suficientes para representar a CAD nas condições avaliadas de solo e cultura.

Palavras-chave: porosidade do solo; manejo da irrigação; água disponível.

ABSTRACT

The use of irrigation is a practice that adds numerous advantages to the rural producer, however the precision in its management depends on an adequate representation of the Available Water Capacity (AWC), obtained by the analysis of the Soil Water Retention Curve (SWRC) in undisturbed samples representing the area of interest. Thus, the present work sought to determine the depth and the ideal number of samples in an oxisoil in a commercial area of sugarcane ratoon, in Andradina (SP), to suggest the minimum number of necessary soil samples and the ideal depth to determine the AWC, in addition to demonstrate the variations that may occur in irrigation management when using non-representative AWC values. The data analyzed in the present study showed that when accepting a margin of error in the AWC value of up to 0.2 mm cm^{-1} , only 3 samples at a depth of 0.4 to 0.6 m are sufficient to represent the AWC in the evaluated soil and crop conditions.

Keywords: soil porosity; irrigation management; available water.

4.1 INTRODUÇÃO

O uso da irrigação é uma prática que traz diversas vantagens ao produtor e de fundamental importância para que a área cultivada não fique a mercê dos períodos de deficiência hídrica e assim alcance produtividades próximas do potencial genético das culturas, garantindo dessa forma o retorno do investimento realizado e a sustentabilidade da região na produção de alimentos.

No entanto, para que a prática da irrigação possa realmente apresentar todos os benefícios esperados para a cultura, deve-se conhecer primeiramente as características pedológicas e fitotécnicas da cultura. Em segundo lugar, deve-se instalar e manejar o sistema de irrigação de maneira adequada, sendo que a maior parte dos usuários da agricultura irrigada não utiliza, ainda, qualquer tipo de critério para o manejo da irrigação (NUNES, 2014).

Operacionalmente, o manejo da irrigação é realizado principalmente por meio do monitoramento da umidade do solo, ou, pela estimativa da evapotranspiração da cultura, no entanto, ambos dependem da capacidade de água disponível (CAD), obtida pela Curva de Retenção de Água no Solo (CRAS), que está relacionada aos atributos físicos e químicos do solo, como granulometria, teor de matéria orgânica, composição mineralógica e porosidade, dentre outros (MELLO *et al.*, 2005; MELO *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2015).

A determinação da CRAS tem como método clássico de determinação a extração da umidade do solo em diferentes pontos de pressão em câmaras de Richards com placa porosa (TEIXEIRA; BHERING, 2017) e posterior ajuste pelo modelo proposto por Genuchten (1980). Esta metodologia porém, apresenta uma grande demanda de tempo para sua realização, deixando a mesma onerosa, o que acaba muitas vezes desestimulando o irrigante a realizar esse procedimento, comprometendo assim a qualidade do seu manejo (GRIGOLON, 2013).

Dessa forma, nos últimos anos, diversos trabalhos foram realizados testando diferentes métodos de análises, sejam *in situ* (GEBREGIORGIS; SAVAGE, 2006) ou em laboratório, com solo deformado e indeformado, como o método do papel de filtro (ALMEIDA *et al.*, 2015; LUCAS *et al.*, 2011) e o método da centrífuga (NASCIMENTO *et al.*, 2010), ou ainda, buscando encontrar modelos matemáticos que se utilizam de alguns parâmetros físicos e químicos de fácil obtenção (CARDUCCI *et al.*, 2011; MELLO *et al.*, 2005) para se estimar diretamente os parâmetros gerados por Genuchten (1980).

Porém, poucas recomendações são encontradas na literatura quanto ao número mínimo de amostras e a profundidade adequada de coleta, informações de grande importância, pois caso a amostra coletada a campo não seja representativa, independente do método de avaliação empregado, o resultado não será adequado. Mota *et al.* (2017), destacam ainda que, mesmo em

uma área considerada homogênea, há variabilidade espacial distinta para os parâmetros da equação de “Genuchten”, logo, um ponto amostral único não representa o valor médio para os componentes que são utilizados para o cálculo da CRAS. Porém uma amostragem com um maior número de repetições, tornaria inviável os investimentos necessários para a obtenção da CAD representativa, sendo desejável então se trabalhar com o menor número possível de amostras para uma boa representatividade.

Nesse contexto, esse trabalho teve como objetivo determinar o número mínimo ideal de amostras indeformadas de solo necessárias para a obtenção de sua CRAS em um LATOSSOLO com cana soca, em busca de maior precisão no manejo da irrigação e representatividade com menor custo ao irrigante.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

As amostragens do solo foram realizadas no primeiro semestre de 2017, logo após o quarto corte da cultura, em 9 trincheiras com 0,70 m de profundidade, entre as linhas simples da cultura, distribuídas ao longo de um talhão com área de 6,93 hectares. Foram coletadas amostras indeformadas, com anéis volumétricos de 0,04 m de altura e 0,045 m de diâmetro, com um volume aproximado de 0,00006362 m³ nas profundidades de 0-0,2; 0,2-0,4 e de 0,4-0,6 m para determinação das CRAS, da macroporosidade (MA), microporosidade (MI), porosidade total (PT) e densidade do solo (DS). Amostras de solo deformadas também foram coletadas nas mesmas profundidades para a análise granulométrica, sendo que todas as análises foram realizadas conforme a metodologia proposta por Teixeira *et al.* (2017).

Posteriormente a coleta, as amostras indeformadas foram submetidas à potenciais mátricos específicos de 0, 3, 6 e 10 KPa em mesa de tensão, e 50, 100, e 200 KPa em câmara de Richards com placa porosa. Para determinação da CRAS foi utilizado o modelo proposto por Genutchen (1980) e a modelagem dos coeficientes alfa, m, n, umidade residual do solo e umidade de saturação do solo, foi feita por meio do software Soil Water Retention Curve (SWRC) versão 3.0 beta (DOURADO NETO *et al.*, 2000),

Os dados de macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade e teores de argila, areia e silte do solo, obtidos nas nove trincheiras foram avaliados no SISVAR (FERREIRA, 2011) em análise descritiva observando-se os valores de média, desvio padrão e tipo de distribuição por meio do teste de hipótese de Shapiro-Wilks, com a intenção de verificar a homogeneidade entre os diferentes pontos coletados.

A CAD foi calculada multiplicando-se por 10 a diferença entre a umidade na capacidade de campo e no ponto de murcha, sendo estes pontos obtidos respectivamente nas umidades correspondentes a 10 e 1500 KPa (ponto estimado pelo software SWRC). Para os valores de CAD obtidos em cada ponto e profundidade de coleta, foram calculados a média, o desvio-padrão, coeficiente de variação e o número mínimo amostral (NMA) para estimar a CAD que foi baseada no intervalo de confiança para a média, dada pela equação 1, descrita em Thompson (1992), citado por Rozane *et al.* (2011) e Hernandez *et al.* (2011),

$$n = \frac{t^2 S^2}{d^2 m^2} \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

n = tamanho da amostra;

t = valor da distribuição t de Student a 5 % de probabilidade;

S² = variância amostral;

d = erro na estimativa da média, sendo que para melhor efeito de comparação, o NMA foi calculado considerando-se o valor de $d = 0,2$ (NMA 0,2);

m = média amostral.

Na sequência, foram realizadas simulações entre o número total de amostras coletadas, compondo-se conjuntos aleatórios com o número mínimo de amostras indicadas pelo NMA para se comparar os resultados das várias médias possíveis de serem obtidas, para que se estabelecesse a porcentagem dos possíveis resultados que diferiram da média esperada, em relação ao número total de combinações possíveis.

Por fim, para se demonstrar os erros de manejo que podem ocorrer ao se utilizar valores de CAD que não correspondem aos valores corretos do solo, foram realizadas cinco diferentes simulações de manejo da irrigação para um período de 60 dias utilizando-se o valor de CAD resultante de cada uma das simulações, as duas variações de resultados estimados pelos valores positivos e negativos de **d** (NMA 0,2), além do valor máximo e mínimo obtidos pelas possíveis combinações.

Para tanto, utilizaram-se nessas simulações os valores de evapotranspiração da cultura (ETc) média diária igual a 4,1 mm dia⁻¹ e profundidade efetiva do sistema radicular da cana-de-açúcar igual a 1,0 m, valores esses obtidos de Avilez (2018), que trabalhou com simulações de manejo da irrigação na mesma área deste trabalho.

Os valores limites ideais de água disponível para o manejo da irrigação, foram considerados como 60 % e 90 % da CAD, mantendo a recomendação de Avilez (2018), pois

estes valores garantem à cultura disponibilidade mínima de água para evitar a deficiência hídrica e máxima que ainda permite ao solo armazenar um volume adicional de água proveniente de uma possível chuva.

Foram obtidas lâminas líquidas (LL) de irrigação tendo como base solos com as quatro diferentes CADs mencionadas anteriormente. Também foram aplicadas em um solo com a CAD obtida na média geral das amostras coletadas no solo estudado, para se demonstrar a diferença do comportamento da água disponível (AD) neste solo, quando manejado com LL que foram calculadas para CADs diferentes.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados mostram que porosidade, densidade do solo, CAD e os teores de argila, areia e silte, apresentaram distribuição do tipo normal em todas as profundidades analisadas (Tabela 1), demonstrando que ocorre uma distribuição uniforme dos valores em torno da média, permitindo representar o comportamento de determinado parâmetro em função da frequência de sua ocorrência (TORMAN *et al.*, 2012).

Comportamento justificado pelos valores de coeficiente de variação (CV), onde apenas a macroporosidade, apresentou valores superiores a 30 %, que são classificados de acordo com Pimentel-Gomes (1985) como muito altos, sendo, respectivamente 59,3 % para a camada de 0,0 - 0,2 m, 44 % para 0,2 - 0,4 m, 33,7 % para a camada de 0,4 - 0,6 m e 38,6 % para a média das profundidades.

Ao se observar os dados granulométricos nas diferentes profundidades, verifica-se um incremento nos teores de argila nas maiores profundidades, situação essa já esperada, devido a movimentação natural da argila dispersa em água, das camadas mais superficiais para as camadas mais profundas do solo. Os valores médios entre as diferentes profundidades avaliadas, de 158,7 g kg⁻¹ de argila, 755,6 g kg⁻¹ de areia e 85,7 g kg⁻¹ de silte, permitem incluir esse solo na classe textural franco-arenosa (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2015).

A porosidade total média considerando todas as profundidades avaliadas, foi de 0,34 m³ m⁻³, a macroporosidade de 0,07 m³ m⁻³ e 0,27 m³ m⁻³ para microporosidade, valores que somados estão abaixo dos 0,50 m³ m⁻³ de porosidade total esperados, com distribuição ideal em 1/3 de macroporos e 2/3 de microporos indicados por Kiehl (1979), para a produção agrícola. Ainda de acordo com o autor, a maioria das plantas apresentam desenvolvimento radicular satisfatório quando o volume de macroporos está acima de 0,10 m³ m⁻³,

demonstrando que os valores de macroporosidade encontrados em todas as profundidades, estão abaixo do valor crítico.

Tabela 1. Valores de média, coeficiente de variação (CV), valor-p para Shapiro-Wilk ($pr < W$) e tipo de distribuição (TD) para os parâmetros físicos de macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro), porosidade total (P, Total), densidade do solo (Densidade), tores de argila, areia e silte e capacidade de água disponível (CAD) num latossolo com cana soca.

| | Porosidade ($m^3 m^{-3}$) | | | DENSIDADE ($Mg m^{-3}$) | Granulometria ($g kg^{-1}$) | | | CAD mm cm^{-1} |
|---------------|-----------------------------|-------|-------|------------------------------|-------------------------------|-------|-------|---------------------|
| | Macro | Micro | Total | | Argila | Areia | Silte | |
| 0,0 - 0,2 (m) | | | | | | | | |
| Média | 0,08 | 0,26 | 0,34 | 1,6 | 131,6 | 783,9 | 84,5 | 1,2 |
| CV (%) | 59,3 | 12,3 | 10,8 | 5,1 | 13,6 | 3,7 | 21,8 | 17,9 |
| pr<W | 0,51 | 0,18 | 0,90 | 0,60 | 0,80 | 0,35 | 0,35 | 0,57 |
| TD | N | N | N | N | N | N | N | N |
| 0,2 - 0,4 (m) | | | | | | | | |
| Média | 0,05 | 0,28 | 0,33 | 1,7 | 149,8 | 767,5 | 82,7 | 1,2 |
| CV (%) | 44,0 | 10,2 | 9,5 | 3,6 | 14,6 | 3,0 | 19,7 | 24,2 |
| pr<W | 0,31 | 0,28 | 0,99 | 0,25 | 0,32 | 0,36 | 0,75 | 0,67 |
| TD | N | N | N | N | N | N | N | N |
| 0,4 - 0,6 (m) | | | | | | | | |
| Média | 0,09 | 0,27 | 0,36 | 1,6 | 187,8 | 729,0 | 83,2 | 1,2 |
| CV (%) | 33,7 | 6,8 | 9,2 | 6,1 | 7,1 | 1,2 | 12,8 | 15,2 |
| pr<W | 0,39 | 0,18 | 0,98 | 0,69 | 0,49 | 0,82 | 0,96 | 0,93 |
| TD | N | N | N | N | N | N | N | N |
| 0,2 - 0,6 (m) | | | | | | | | |
| Média | 0,07 | 0,27 | 0,34 | 1,6 | 158,7 | 755,6 | 85,7 | 1,2 |
| CV (%) | 38,6 | 9,1 | 8,6 | 4,3 | 11,5 | 3,5 | 18,7 | 15,4 |
| pr<W | 0,30 | 0,05 | 0,51 | 0,41 | 0,41 | 0,06 | 0,18 | 0,85 |
| TD | N | N | N | N | N | N | N | N |

N = Distribuição Normal

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Resultados semelhantes foram obtidos por Centurion *et al.* (2007) que encontraram valores decrescentes de porosidade total e macroporosidade, ao comparar áreas de cultivo de cana-de-açúcar com cana planta, cana soca de segundo ano e cana soca de quarto ano, chegando a valores de macroporosidade menores que $0,010 m^3 m^{-3}$ nas áreas de cana soca de quarto ano.

Tal situação pode ser explicada pelo efeito da compactação do solo devido ao tráfego de máquinas na área, levando-se em consideração o fato de se tratar de uma área de cana soca no seu 4º corte. Efeitos esses que são corroborados pelos valores de densidade do solo, onde é possível observar que as profundidades de 0,0 a 0,2 m e 0,4 a 0,6 m apresentaram uma densidade média de $1,6 Mg m^{-3}$, sendo a maior média encontrada na profundidade de 0,2 a 0,4 m, com

valor de $1,7 \text{ Mg m}^{-3}$, única profundidade com valor de DS superior ao intervalo de 1,4 a $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$, que segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2006) é característico de solos franco-arenosos.

Sendo importante destacar que se justifica o maior efeito da compactação ser observado na camada de 0,2 a 0,4 m, tendo em vista que na profundidade de 0,0 a 0,2 m existe uma maior concentração das raízes e da matéria orgânica no solo. Assim como no presente trabalho, Centurion *et al.* (2007) também encontrou uma maior compactação em camadas abaixo da região superficial do solo, com valores de densidade do solo de $1,4 \text{ Mg m}^{-3}$ na profundidade de 0,0 a 0,10 m e de $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$ para profundidade de 0,20 a 0,30 m.

Os valores médios da CAD entre as três profundidades (0,0 – 0,6 m) coletadas para cada ponto amostral (Tabela 2), apresenta média geral de $1,2 \text{ mm cm}^{-1}$ com um desvio padrão (DP) de $0,2 \text{ mm cm}^{-1}$, e coeficiente de variação (CV) de 15,4 %. Este valor ($1,2 \text{ mm cm}^{-1}$) se encontra dentro da faixa de 0,9 a $1,5 \text{ mm cm}^{-1}$ apontada por Bernardo, Soares e Mantovani (2006) como esperados para essa classe textural.

Tabela 2. Determinação do número mínimo de amostras indeformadas que devem ser coletadas para determinação da CAD (mm cm^{-1}) num latossolo com cana soca.

| Pontos | Profundidade (m) | | | |
|---------|-----------------------------|---------|---------|---------|
| | 0,0-0,6 | 0,0-0,2 | 0,2-0,4 | 0,4-0,6 |
| | CAD (mm cm^{-1}) | | | |
| 1 | 1,2 | 1,3 | 1,3 | 1,2 |
| 2 | 1,3 | 1,4 | 1,2 | 1,3 |
| 3 | 1,5 | 1,3 | 1,8 | 1,5 |
| 4 | 1,2 | 1,1 | 1,4 | 1,3 |
| 5 | 1,4 | 1,5 | 1,4 | 1,1 |
| 6 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,1 |
| 7 | 1,0 | 1,0 | 1,1 | 1,0 |
| 8 | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 1,1 |
| 9 | 1,0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Média | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| D.P. | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,2 |
| CV (%) | 15,4 | 17,9 | 24,2 | 15,2 |
| T 5% | 2,306 | 2,306 | 2,306 | 2,306 |
| NMA 0,2 | 3 | 4 | 8 | 3 |

D,P, = Desvio Padrão, CV = Coeficiente de Variação, T 5 % = o valor da distribuição t de Student a 5 % de probabilidade, NMA 0,2 = número mínimo amostral (NMA) com variação máxima de $0,2 \text{ mm cm}^{-1}$.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Porém ao se avaliar os valores amostrados de maneira independente para cada profundidade, nota-se que a maior variação ocorreu na profundidade de 0,2-0,4 m com CV de

24,2 % e desvio padrão de 0,3 mm cm⁻¹, seguida pela profundidade de 0,0-0,2 m com CV de 17,9 % e DP de 0,2 mm cm⁻¹, já a profundidade de 0,4-0,6 m apresentou a menor variação, com CV de 15,2 % e DP de 0,2 mm cm⁻¹, fato esse diretamente influenciado pela menor variação dos valores de porosidade para esta mesma profundidade.

Os valores de NMA (Tabela 2), tem seu cálculo influenciado diretamente pelos valores do desvio padrão, onde para o NMA 0,2 aceita-se um erro na estimativa da média de 0,2 mm cm⁻¹ (16,6 % em torno da média), para a profundidade de 0,0 a 0,6 m, que representa a média das três profundidades avaliadas e a profundidade de 0,4 a 0,6 m foram as que apresentaram o menor valor de NMA, sendo necessárias apenas 3 amostras em todo o talhão. Já na profundidade de 0,2-0,4 m, o número mínimo encontrado foi de 8 amostras, seguida pela profundidade de 0,0-0,2 m, onde seriam necessárias 4 amostras.

Esse resultado pode se justificar pelo fato da profundidade de 0,4-0,6 m ser a que se encontra mais preservada, ou seja com menor interferência das operações mecanizadas que foram realizadas para a instalação do sistema de irrigação que se encontra a 0,4 m de profundidade e posteriormente para o plantio da cultura que foi feito a 0,2 m de profundidade. Segundo Mota *et al.* (2017), as ações decorrentes do manejo na superfície do solo, em geral, concorrem para causar variabilidade espacial na estrutura e nos parâmetros da curva característica de água no solo.

Deve-se considerar que a profundidade efetiva do sistema radicular e a distribuição das raízes ao longo do perfil de manejo variam em função da cultura de interesse. Neste caso, trata-se de área cultivada com cana-de-açúcar com 4 cortes, tendo como regra prática o manejo da irrigação considerado uma profundidade de manejo e CAD associada de 0,8 à 1,0 metro (ALBUQUERQUE; DURÃES, 2008), e assim, a menor variação no perfil de 0,4-0,6 metro se encontraria na profundidade de maior concentração do sistema radicular de acordo com os resultados encontrados por Sousa *et al.* (2013), que avaliando o sistema radicular da cultura da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento enterrado, observaram que 80 % do sistema radicular da cultura se encontrava em até 0,4 m de profundidade e quase 100 % até 0,6 m de profundidade.

A cultura da cana-de-açúcar tradicionalmente é irrigada por aspersão, onde ocorre a simulação da chuva com movimento vertical de água no solo, porém, a irrigação por gotejamento em sub-superfície também se apresenta como opção de sistema de irrigação com tendência crescente de uso. Neste caso, com o movimento da água no solo há a formação do bulbo úmido a partir dos gotejadores, resultando em uma formação diferente do sistema radicular, e neste caso, se o manejo da irrigação se der pelo monitoramento da umidade do

solo, trabalhos como este, ganham ainda mais relevância dado ao provável descompasso entre as características físico-químicas do solo ao longo do seu perfil, influenciando assim na formação do bulbo de umedecimento e na distribuição do sistema radicular.

Como o NMA pode gerar uma série de combinações entre os valores dos nove pontos amostrados nas diferentes profundidades na Tabela 3 consta a probabilidade de ocorrência dos valores médios obtidos para 3 amostras, sendo esse número de amostras o menor número obtido para NMA 0,2 entre todas as profundidades do solo.

Os resultados de NMA 0,2 (Tabela 3) demonstram que com as 9 amostras coletadas, seriam possíveis 84 combinações diferentes, considerando 3 amostras por combinação. Observa-se que apesar de todas as profundidades, incluindo a média geral, terem apresentado a mesma média de $1,2 \text{ mm cm}^{-1}$ e o mesmo D.P. de $0,1 \text{ mm cm}^{-1}$, a camada entre 0,4-0,6 m, novamente é a que apresenta o menor CV entre as camadas, com o valor de 7,0 %, seguido pela média geral entre as camadas com 7,3 %, e as demais de 0,0-0,02 m com 8,3 % e 0,2-0,4 m com 11,1 %.

Tabela 3. Probabilidade de ocorrência das médias entre as combinações possíveis em diferentes faixas de valores.

| | Profundidade (m) | | | |
|------------------------------|------------------|---------|---------|---------|
| | 0,0-0,6 | 0,0-0,2 | 0,2-0,4 | 0,4-0,6 |
| Nº Combinações (NC) | 84 | 84 | 84 | 84 |
| Média | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| Coefficiente de Variação (%) | 7,3 | 8,3 | 11,1 | 7,0 |
| NCMd=1.2 | 28 | 25 | 22 | 29 |
| NCMd=1.2 (%) | 33 | 30 | 26 | 35 |
| NCMd<0,1 | 28 | 25 | 22 | 29 |
| NCMd<0,1 (%) | 33 | 30 | 26 | 35 |
| NCMd>0,1<0,2 | 47 | 45 | 35 | 48 |
| NCMd>0,1<0,2 (%) | 56 | 54 | 42 | 57 |
| NCMd>0.2 | 9 | 14 | 27 | 7 |
| NCMd>0.2 (%) | 11 | 17 | 32 | 8 |
| Valor Máximo | 1,4 | 1,4 | 1,5 | 1,4 |
| Valor Mínimo | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 1,0 |

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Mesmo sendo utilizado o número de 3 amostras para cada combinação, que representa o NMA 0,2, ou seja, que permite uma variação de até $0,2 \text{ mm cm}^{-1}$, (Tabela 3) é possível verificar que entre as 84 combinações possíveis, para a profundidade média de 0,0-0,6 m, 28 combinações apresentariam médias iguais a $1,2 \text{ mm cm}^{-1}$, o que representa 33 % de

probabilidade, enquanto que 47 combinações (56 %) apresentariam valores iguais a $1,1 \text{ mm cm}^{-1}$ ou $1,3 \text{ mm cm}^{-1}$ e outras 9 combinações (11 %) apresentariam valores menores que $1,1 \text{ mm cm}^{-1}$ ou maiores que $1,3 \text{ mm cm}^{-1}$.

Valores muito próximos aos encontrados para a profundidade 0,4-0,6 m, com 29 (35 %) combinações com $\text{CAD} = 1,2 \text{ mm cm}^{-1}$, 48 combinações (57 %) com $\text{CAD} = 1,1 \text{ mm cm}^{-1}$ ou $1,3 \text{ mm cm}^{-1}$ e 7 combinações (8 %) para CADs menores que $1,1 \text{ mm cm}^{-1}$ ou maiores que $1,3 \text{ mm cm}^{-1}$. A camada de 0,2-0,4 m foi a que apresentou entre as profundidades, o maior NC, na faixa de maior variação, com 27 combinações (32 %) com médias menores que $1,1 \text{ mm cm}^{-1}$ ou maiores que $1,3 \text{ mm cm}^{-1}$, seguida por 35 amostras (42 %) com $\text{CAD} = 1,1 \text{ mm cm}^{-1}$ ou $1,3 \text{ mm cm}^{-1}$ e 22 combinações (26 %) com valores de CAD iguais a $1,2 \text{ mm cm}^{-1}$.

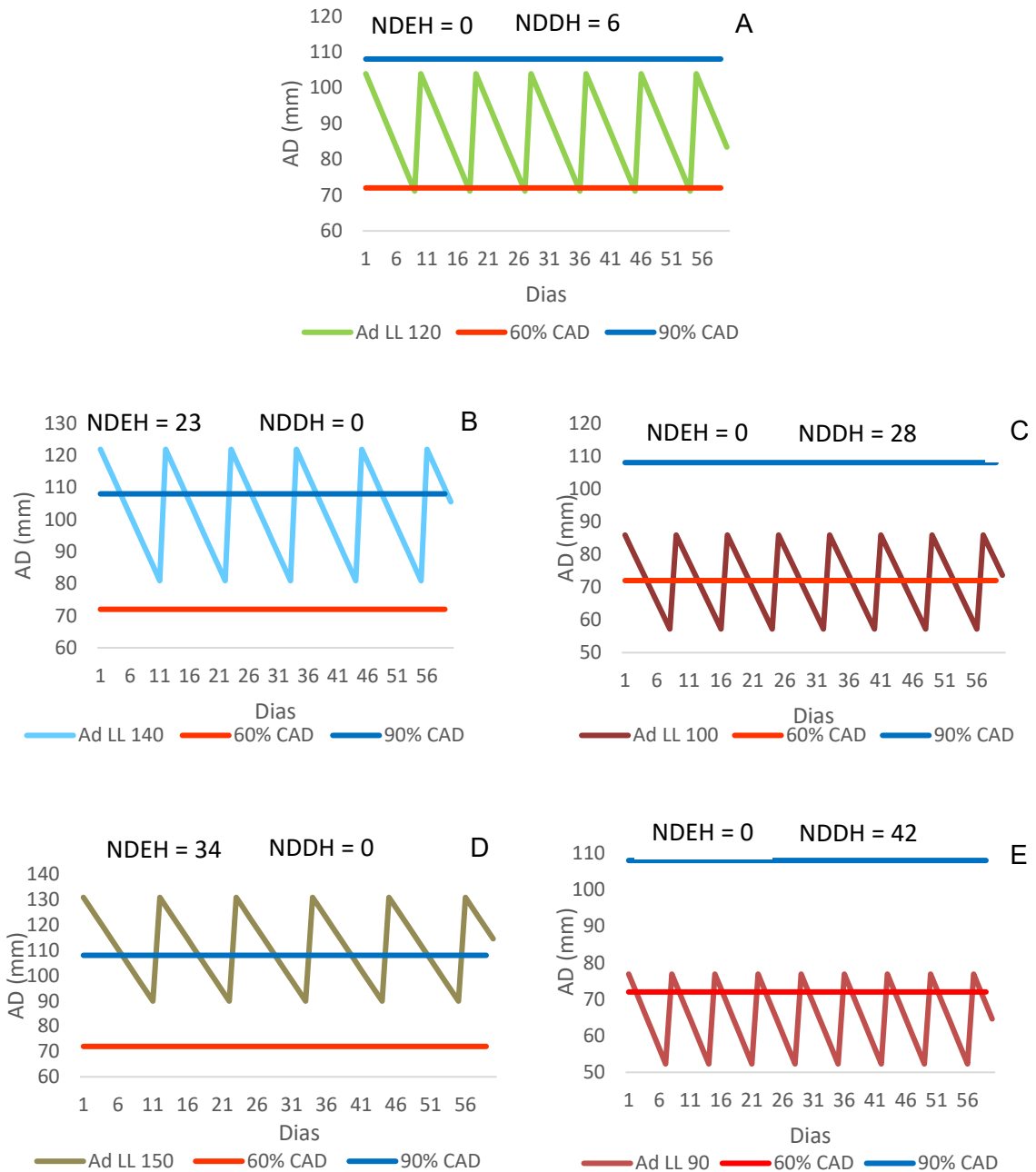
Utilizando-se como valor correto para o manejo da irrigação o valor da média geral da CAD igual a $1,2 \text{ mm cm}^{-1}$ e comparando-se com o valor máximo de $1,5 \text{ mm cm}^{-1}$ e mínimo de $0,9 \text{ mm cm}^{-1}$, além dos valores estimados aceitos de $1,0$ e $1,4 \text{ mm cm}^{-1}$ e considerando os valores de ETc média diária igual a $4,1 \text{ mm dia}^{-1}$ (Avilez *et al.*, 2018) e de profundidade efetiva do sistema radicular da cana-de-açúcar, igual a $1,0 \text{ m}$ (Avilez, 2018), é possível visualizar (Figura 2) a diferença entre as simulações de manejo da irrigação comparando o teor de água disponível (AD) em um solo com $\text{CAD} = 120 \text{ mm}$ e utilizando uma lâmina líquida de irrigação (LL) calculada para esta CAD, em comparação com as lâminas líquidas calculadas para solos com CAD de 90, 100, 140 e 150 milímetros.

Os resultados demonstram que quando se utilizou a CAD de 120 mm (Figura 2A), o teor de água disponível (AD) do solo, permaneceu durante quase todo o período, dentro da faixa entre 60 e 90 % da CAD, intervalo este estabelecido por Avilez (2018), como sendo a faixa de manejo adequada de irrigação, onde para este período, a cultura não permaneceu por nenhum dia com excedente hídrico, e por apenas 6 dias apresentou deficiência hídrica.

Quando foi utilizada a LL correspondente a CAD de 140 mm (Figura 2B), os valores de AD permaneceram por 23 dias acima do limite superior e nenhum dia com deficiência hídrica. Já para a Figura 2C, que apresenta os dados de irrigação calculados para um solo de 100 mm de CAD, a cultura permaneceria 28 dias com deficiência hídrica e nenhum dia com excedente hídrico.

Para o manejo com LL calculada para um solo com 150 mm de CAD (Figura 2D), ocorreria um período de 34 dias de deficiência e nenhum dia de excedente hídrico. Para o manejo com a LL referente ao solo com CAD de 90 mm (Figura 2E), apenas nos dias próximos as irrigações, o solo apresentava armazenamento de água acima do limite inferior, totalizando 42 dias de deficiência hídrica.

Figura 2. Simulações do teor de água disponível (mm) durante 60 dias em um solo com 120 mm de capacidade de água disponível (CAD), comparando-se o efeito da aplicação de lâminas líquidas de irrigação (LL) calculadas para a CAD correta A: 120 mm, com LL calculadas para solos com CAD de B: 140 mm, C:100 mm, D: 150 mm e E: 90 mm.



NDEH = Número de dias com excedente hídrico.

NDDH = Número de dias com déficit hídrico.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

A figura 2 permite inferir que quando ao utilizar uma CAD proveniente de uma amostragem aleatória, fora de uma profundidade representativa e com um número de repetições abaixo do ideal, para uma representação adequada da área, o valor obtido pode apresentar um grande distanciamento em relação ao real armazenamento de água do solo durante o ciclo da cultura, induzindo a recomendações equivocadas da lâmina de irrigação a ser utilizada, resultando em armazenamento de água no solo inferior a umidade crítica ou superior ao recomendado para o solo, indicando o mal uso dos recursos hídricos e da energia, que segundo Mota *et al.* (2017) pode prejudicar o potencial produtivo das culturas, além de provocar outros prejuízos devido a erosão e lixiviação dos nutrientes.

4.4 CONCLUSÃO

O solo classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico avaliado apresentou características físicas homogêneas com pequenas variações entre pontos e profundidades amostradas, porém, para fins de manejo da irrigação da cultura da cana-de-açúcar, a melhor representatividade da CAD foi obtida com o número mínimo de três amostras retiradas na profundidade de 0,4 a 0,6 m, resultando numa variação provável de $0,2 \text{ mm cm}^{-1}$.

O cálculo da CAD a partir da CRAS obtida por amostragem única aleatória pode comprometer a produtividade potencial da cultura a partir de um erro inicial que fundamenta o programa de manejo da irrigação adequado, onde ao se utilizar valores de CAD acima dos valores corretos, a cultura apresentará dias com excedente hídrico, o contrário ocorrendo para valores de CAD abaixo dos valores corretos.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. (Ed.). **Uso e manejo de irrigação**. Embrapa Informação Tecnológica; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008.

ALMEIDA, E. L.; TEIXEIRA, A. S.; SILVA FILHO, F.C.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; LEÃO, R. A. O. Método do papel-filtro para obter a curva de retenção de água no solo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 5, p. 1344-1352, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140546>. Acesso em: 24 jan. 2022.

AVILEZ, A. M. A. **Determinação do coeficiente de cultura "Kc" na cultura da cana de açúcar com imagens landsat utilizando o modelo safer no noroeste paulista, Brasil**. 2018. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2018a. Disponível em: http://www2.feis.unesp.br/irrigacao/pdf/alberto_arroyo_dissertacao_final.pdf. Acesso em: 24 fev. 2019.

AVILEZ, A. M. A.; HERNANDEZ, F.B.T.; BISPO, R.C.; GIOVANELLI, L.B. Necessidade hídrica da cana-de-açúcar no noroeste paulista. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 171-188, 2018. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.15809/irriga.2018v1n1p171-188>. Acesso em: 22 jan. 2021.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. Viçosa: Ed. da UFV, 2006.

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; ZEVIANI, W. M. Modelagem da curva de retenção de água de Latossolos utilizando a Equação Duplo Van Genuchten. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 77-86, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000100007>. Acesso em: 28 mar. 2019.

CENTURION, J. F.; FREDDI, O. S.; ARATANI, R. G.; METZNER, A. F. M.; BEUTLER, A. N.; ANDRIOLI, I. **Influência do cultivo da cana-de-açúcar e da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos vermelhos**. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. p. 199-209, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/LwGw6Mh7J6hVRzQ9DR8SdTc/?lang=pt>. Acesso em: 24 jan. 2022.

DOURADO-NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 191-192, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162000000100031>. Acesso em: 6 set. 2017.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>. Acesso em: 10 mar. 2019.

GEBREGIORGIS, M. F.; SAVAGE, M. J. Field, laboratory and estimated soil-water content limits. **Water SA**, Pretória, v. 32, n. 1816-7950, p. 155-162, 2006. Disponível em: <http://www.wrc.org.za>. Acesso em: 14 mar. 2019.

GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980. Disponível em: http://people.ucalgary.ca/~hayashi/glgy607/reading/van_Genuchten1980.pdf. Acesso em: 9 mar. 2019.

GRIGOLON, G. B. **Curva de retenção de água no solo determinada a partir de um número mínimo de pares de umidade e tensão na câmara de Richards**. 82 f. 2013. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

HERNANDES, A.; ROZANE, D. E.; SOUZA, H. A.; ROMUALDO, L. M.; NATALE, W. Amostragem para diagnose do estado nutricional e avaliação da fertilidade do solo em caramboleiras. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 3, p. 657-663, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000300022>. Acesso em: 4 fev. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico de pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 425 p.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Ceres, 1979. 263 p.

LUCAS, J. F. R.; TAVARES, M. H. F.; CARDOSO, D. L.; CÁSSARO, F. A. M. Curva de retenção de água no solo pelo método do papel-filtro. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 1967-1973, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140546>. Acesso em: 22 jan. 2022.

MELLO, C. R.; OLIVEIRA, G. C.; FERREIRA, D. F.; LIMA, J. M.; LOPES, D. Modelos para determinação dos parâmetros da equação de van Genuchten para um Cambissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 23-29, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662005000100004>. Acesso em: 28 mar. 2019.

MELO, M. C.; GUIMARÃES, L. M.; MELO, E. L.; SILVA, P. C.; DRUMOND, L. C. D. Determinação da função de condutividade hidráulica de um latossolo do cerrado. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, Viçosa, v. 04, 2018. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.18540/jcecv14iss2pp0196-0201>. Acesso em: 22 jan. 2022.

MOTA, J. C. A.; LIBARDI, P. L.; BRITO, A. S.; MORAES, S. O.; NASCIMENTO, I. V.; ALENCAR, T. L. Variabilidade espacial dos parâmetros da equação de van Genuchten em um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Agro@mbiente On-Line**, [Boa Vista], v. 11, n. 2, p. 92-100, 2017. Disponível em: <https://revista.ufrb.br/agroambiente/article/view/4023/2262>. Acesso em: 17 fev. 2019.

NASCIMENTO, P. S.; BASSOI, L. H.; PAZ, V. P. S.; VAZ, C. M. P.; NAIME, J. M.; MANIERI, J. M. Estudo comparativo de métodos para a determinação da curva de retenção de água no solo. **Irriga**, Botucatu, n. 1808-3765, p. 193-207, 2010. Disponível em: <http://actaarborea.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/viewFile/19/19>. Acesso em: 16 maio 2017.

NUNES, M. S. **Comparação de métodos via solo e via demanda evaporativa para manejo de irrigação**. 102 f. 2014. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014. Disponível em: http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde_arquivos/11/TDE-2015-05-20T085746Z-6367/Publico/NUNES, MARIO SANTOS.pdf. Acesso em: 3 set. 2017.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba, 1985.

ROZANE, D. E.; ROMUALDO, L. M.; CENTURION, J. F.; BARBOSA, J. C. Dimensionamento do número de amostras para avaliação da fertilidade do solo The numbers of sample design for evaluation of the soil fertility. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 111-118, 2011.

SOUSA, A. C. M.; MATSURA, E. E.; ELAIUY, M. L. C.; SANTOS, L. N. S.; MONTES, C. R.; PIRES, R. C. M. Distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar irrigada com efluente de esgoto doméstico por gotejamento subsuperficial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, n. 4, p. 647-657, 2013. Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v33n4/06.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2019.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. 574 p.

TEIXEIRA, W.G.; BHERING, S. B. Retenção de água no solo pelos métodos da mesa de tensão e da câmara de richards. *In*: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. p. 1-574.

TORMAN, V. B. L.; COSTER, R.; RIBOLDI, J. Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação. **HCPA**, Porto Alegre, n. 2357-9730, p. 227-234, 2012. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/hcpa/article/viewFile/29874/19186>. Acesso em: 10 mar. 2019.

WANG, Y.; SHAO, M.; HAN, X.; LIU, Z. Spatial variability of soil parameters of the van genuchten model at a regional scale. **CLEAN - Soil, Air, Water**, Weinheim, v. 43, n. 2, p. 271-278, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/clen.201300903>. Acesso em: 22 jan. 2022.

5. CAPITULO 2

AValiação da Profundidade Efetiva do Sistema Radicular de Duas Variedades de Cana em Quinto Corte no Noroeste Paulista.

RESUMO:

O uso da irrigação é uma prática crescente no Brasil e no mundo, garantindo não apenas que a cultura atinja sua produtividade potencial, mas a possibilidade de aumentar a diversificação de culturas. No entanto, para que estes resultados sejam alcançados, deve-se realizar o manejo adequado da irrigação, sendo imprescindível a informação adequada sobre a capacidade de água disponível (CAD), que utiliza em seu cálculo a profundidade efetiva do sistema radicular (PESR). Nesse contexto, esse trabalho teve como objetivo determinar a PESR de duas variedades de cana-de-açúcar, a RB 96-6928 e a CTC 4, em uma área de cultivo comercial de cana-de-açúcar irrigado por gotejamento de subsuperfície, no município de Andradina - SP, logo após o quinto corte, utilizando imagens digitais do sistema radicular em perfis de solo. Os dados analisados no presente estudo, demonstraram que a PESR foi obtida a 0,4 m de profundidade para a variedade RB 96-6928 e a 0,6 m para a variedade CTC 4.

Palavras-chave: gotejamento; cana-de-açúcar; manejo da irrigação.

ABSTRACT:

The use of irrigation is a growing practice in Brazil and in the world, ensuring not only that the crop reaches its potential productivity, but the possibility of increasing crop diversification. However, for these results to be achieved, proper irrigation management must be accomplished, and adequate information on the available water capacity (AWC) is essential, which uses the effective depth of the root system (EDRS) in its calculation. In this context, this study aimed to determine the EDRS of two sugarcane varieties, RB 96-6928 and CTC 4, in a commercial sugarcane area cultivation irrigated by subsurface drip irrigation, in Andradina - SP, soon after the fifth cut, using digital images of the root system in soil profiles. The data analyzed in the present study showed that the EDRS was obtained at 0.4 m depth for the RB 96-6928 variety and at 0.6 m for the variety CTC 4.

Keywords: drip; sugarcane; irrigation management.

5.1 INTRODUÇÃO

O uso da irrigação é uma prática crescente no Brasil e no mundo, sendo que, se bem manejada, a irrigação proporciona não apenas o aumento da produção, garantindo que a cultura atinja sua produtividade potencial, como também aumenta a eficiência do uso da água, possibilitando uma maior conversão desta em alimento, além de possibilitar o aumento da diversificação de culturas, contribuindo significativamente na produção agropecuária e consequentemente no PIB do país (FAO, 2017).

Segundo Carvalho *et al.* (2020), entre 2006 e 2015 a área irrigada no Brasil aumentou em 51,9%. Parte desse crescimento deve-se a incorporação da prática da irrigação em culturas onde anteriormente o uso da irrigação não era facilmente encontrado, como no caso da cultura da cana-de-açúcar, onde o uso da irrigação foi por muito tempo uma prática questionável, tem-se hoje mais do que claro que somente com o uso da irrigação pode-se aumentar consideravelmente a produtividade da cultura da cana-de-açúcar (FARIAS *et al.*, 2008).

De acordo com Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA (2021), o Brasil possuía em 2019 uma área irrigada de 8,2 milhões de hectares, sendo que 3,66 milhões correspondiam a área da cultura da cana-de-açúcar equipada para irrigação, onde deste montante, 2,9 milhões (79,5%) da área realiza apenas fertirrigação, que é a utilização dos sistemas de irrigação para aplicação de efluentes do processo agroindustrial (vinhaça e águas residuárias), já os demais 749 mil hectares (20,5%), correspondem as áreas destinadas para irrigação, sendo esta parcela dividida entre áreas de irrigação de salvamento (déficit hídrico de até 800 mm) representando 15,5% das áreas com equipamento de irrigação, 4,2% correspondendo as áreas de irrigação de déficit (déficit hídrico menor que 1000 mm), já a irrigação plena (déficit hídrico acima de 1000 mm) corresponde aos outros 0,8% da área (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA, 2019).

Dentre os principais sistemas utilizados nas áreas de cultivo da cana-de-açúcar, para a irrigação de salvamento, o canhão autopropelido ou carretel enrolador é o sistema mais utilizado, pois por ser um sistema totalmente móvel, permite o fácil deslocamento entre áreas, o que o torna economicamente mais viável devido ao seu uso periódico. Já nas áreas de irrigação complementar e plena, o método de irrigação localizada tem ganhado destaque, principalmente com o sistema de irrigação por gotejamento (OLIVEIRA *et al.*, 2020), pois apesar do seu maior valor de aquisição, a utilização do sistema de gotejamento enterrado se torna economicamente viável devido ao longo ciclo da cultura que pode chegar a pelo menos de 8 a 10 anos quando irrigado (CAMPOS *et al.*, 2017; COSTA, 2016) e ao espaçamento que deve ser de pelo menos 1,5 metros em áreas de colheita mecanizada (ROSSETTO; SANTIAGO, 2021).

Apesar de ainda pouco representativa a irrigação plena da cana-de-açúcar apresenta um significativo incremento de produtividade. Silva *et al.* (2019) obtiveram um valor médio de de 193,4 toneladas de colmos por hectare (TCH), utilizando uma lâmina de 110% da ETc, representando um acréscimo de 49,8% em relação a lâmina de 50% da ETc. Já Licks (2020), estimou que entre as safras de 13/14 e 17/18, as áreas de cana-de-açúcar de sequeiro na região de Araçatuba-SP teriam apresentado um ganho médio de 10,0 t ha⁻¹ se tivessem recebido um irrigação de 20% da demanda hídrica, 25,0 t ha⁻¹ para 50% e 49,8 t ha⁻¹ para 100% da demanda hídrica.

Contudo, para que as áreas irrigadas possam manifestar produtividades superiores, deve-se dar igual atenção a todas as etapas envolvidas no processo, desde o planejamento, passando pelo projeto, instalação, operação, manutenção dos equipamentos no campo, seleção das cultivares, realização das práticas culturais adequadas e o manejo adequado da irrigação (FAO, 2017).

Independente da forma a ser utilizada para o manejo da irrigação, é indispensável o conhecimento da CAD (Capacidade de água disponível) sendo esta, a capacidade do solo de reter umidade, de forma que as plantas possam utilizar esta umidade. No entanto, a CAD de um solo está diretamente relacionada aos seus parâmetros físicos como textura, porosidade, matéria orgânica (NUNES, 2014; LOPES SOBRINHO *et al.*, 2019) e a profundidade efetiva do sistema radicular (PESR) da cultura (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006), que corresponde a profundidade onde está concentrado 80% do sistema radicular da planta (AQUINO *et al.*, 2015).

Dessa forma, conhecer a profundidade do sistema radicular da cultura, é fundamental para o manejo correto da irrigação (PIRES *et al.*, 2000; SOUZA, J. M. *et al.*, 2018), lembrando que a distribuição do sistema radicular depende de vários fatores pedológicos como resistência a penetração, densidade, porosidade e fertilidade (PIRES *et al.*, 2000).

Nesse contexto, esse trabalho teve como objetivo determinar a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura da cana-de-açúcar afim de apresentar o valor mais adequado a ser utilizado no manejo da irrigação.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS:

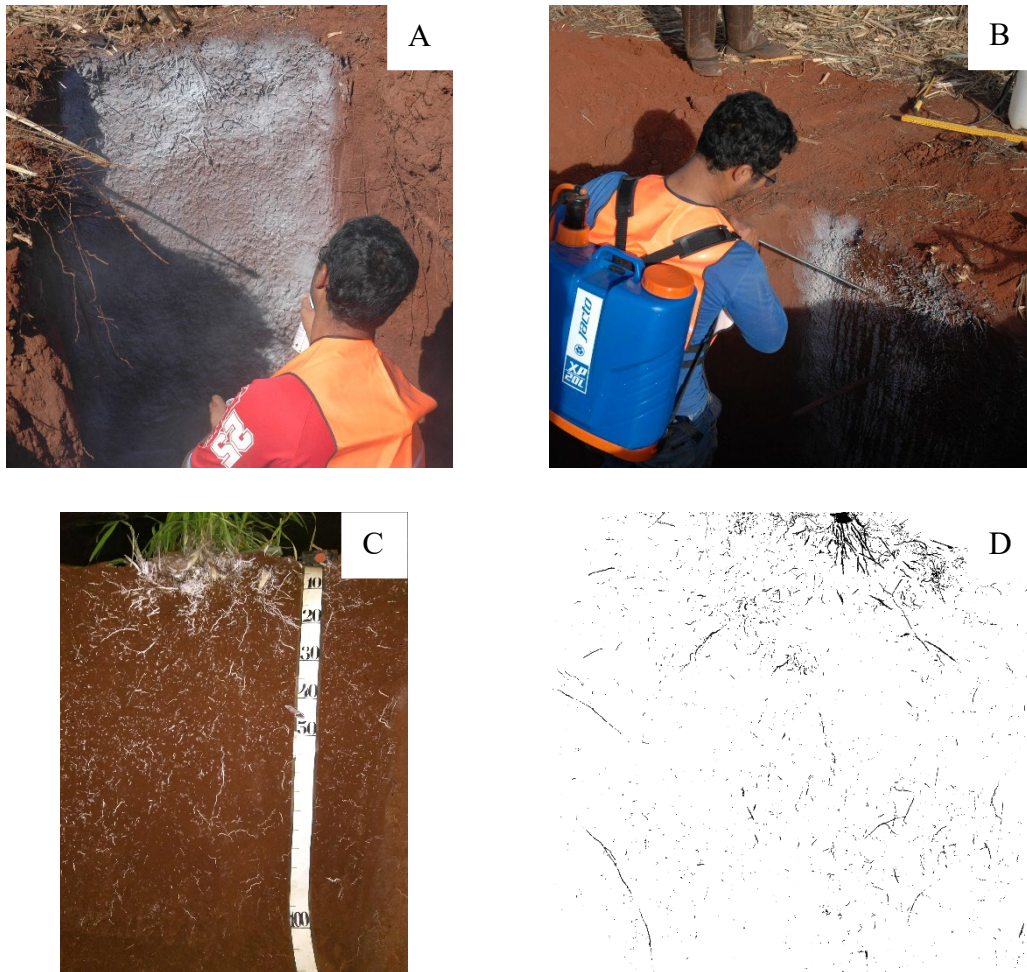
5.2.1 Determinação da profundidade efetiva do sistema radicular

As amostragens foram realizadas no segundo semestre de 2018, logo após o quinto corte das duas variedades de cana, que ocorreu no final de junho para a variedade RB 96-6928 e no final de setembro para a variedade CTC 4. As coletas foram conduzidas em 4 trincheiras, sendo 3 trincheiras abertas em uma área com a variedade RB 96-6928 (T1, T2 e T3) e uma trincheira em um talhão com a variedade CTC 4 (T4). As trincheiras foram abertas com aproximadamente 1,0 metro de profundidade x 1,0 metro de largura e 1,5 metro de comprimento, com a linha da cultura estando ao centro dos dois perfis opostos de menor comprimento, sendo avaliados estes dois perfis em cada trincheira (P1 e P2).

Para aquisição de imagens digitais do sistema radicular da cultura foi utilizada a metodologia proposta por Jorge (1996), onde o perfil de solo foi escarificado manualmente, para maior exposição das raízes, em seguida pintado com tinta spray branco fosco de secagem rápida (Figura 1.A) e posteriormente lavado com uma bomba costal utilizando um bico com ponta em leque de alta vazão (Figura 1.B), permanecendo na superfície do perfil as raízes pintadas de branco e contrastando com a cor do solo, sendo então fotografadas (Figura 1.C).

Utilizando o programa Safira (JORGE; SILVA, 2010) foi quantificada a área superficial das raízes em mm^2 (Figura 1.D), onde estes dados foram processados para as camadas de 0,0 a 0,2 m, 0,2 a 0,4 m, 0,4 a 0,6 m e 0,6 a 0,8 m de profundidade. Os dados de área das raízes foram calculados em porcentagem da área de cada camada, em relação a área total do perfil, assim como para a área acumulada, somando-se a porcentagem de cada camada com as camadas anteriores, sendo os resultados avaliados pela média, desvio padrão da média e coeficiente de variação para cada uma das variedades.

Figura 1. Etapas da aquisição de imagens digitais para a avaliação da profundidade efetiva do sistema radicular da cultura.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

A caracterização física dos perfis (Tabela 1) foi realizada utilizando amostras de estrutura preservada, coletadas por meio de anéis volumétricos e amostras deformadas nas profundidades de 0,0-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6 e 0,6-0,8 metros para determinação da Capacidade de Água Disponível (CAD), macroporosidade (MA), microporosidade (MI), porosidade total (PT), densidade do solo (DS) e análise granulométrica, sendo que todas as análises foram realizadas conforme a metodologia proposta pela Embrapa (2017) e a classificação textural realizada de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2015).

Tabela 1. Caracterização física do solo dos perfis avaliados.

| Local | Porosidade (%) | | | Densidade (g/cm ³) | CAD (mm/cm) | Argila | Areia g/Kg | Silte | Classe textural |
|-------|----------------|-------|-------|-----------------------------------|----------------|--------|---------------|-------|-----------------|
| | Macro | Micro | Total | | | | | | |
| T1P1 | 7 | 26 | 33 | 1,62 | 0,9 | 180 | 749 | 71 | Franco-arenosa |
| T1P2 | 11 | 24 | 35 | 1,54 | 0,9 | 160 | 772 | 68 | Franco-arenosa |
| T2P1 | 10 | 25 | 35 | 1,57 | 1,0 | 182 | 749 | 70 | Franco-arenosa |
| T2P2 | 10 | 26 | 36 | 1,56 | 1,3 | 182 | 751 | 67 | Franco-arenosa |
| T3P1 | 10 | 27 | 36 | 1,53 | 1,3 | 186 | 741 | 73 | Franco-arenosa |
| T3P2 | 12 | 25 | 37 | 1,51 | 1,1 | 176 | 753 | 71 | Franco-arenosa |
| Média | 10 | 26 | 35 | 1,56 | 1,08 | 178 | 753 | 70 | |
| T4P1 | 8 | 43 | 52 | 1,34 | 1,5 | 503 | 347 | 150 | Argila |
| T4P2 | 9 | 41 | 50 | 1,36 | 1,2 | 519 | 341 | 140 | Argila |
| Média | 8,5 | 42 | 51 | 1,35 | 1,35 | 511 | 344 | 145 | |

Macro: Macroporosidade, Micro: Microporosidade, Total: Porosidade Total, CAD: Capacidade de Água Disponível

Fonte: Elaboração do próprio autor.

O solo deformado coletado para as análises físicas, também foi utilizado para a caracterização química (Tabela 2) e analisado para fertilidade do solo, realizada de acordo com Raij *et al.* (2001), sendo que devido à proximidade com a trincheira 1 e por pertencer a mesma classe textural (Tabela 1), as amostras das trincheiras 2 e 3 não foram avaliadas para fertilidade.

Tabela 2. Caracterização da fertilidade do solo para os perfis avaliados

| Local | Profundidade. (m) | P-resina mg dm ⁻³ | MO g dm ⁻³ | pH | K CaCl ₂ | Ca | Mg | H+AL mmolc dm ⁻³ | AL | SB | CTC | V | m |
|-------|----------------------|---------------------------------|--------------------------|-----|------------------------|----|----|--------------------------------|----|------|------|----|----|
| | | | | | | | | | | | | | |
| T1 | 0,0-0,2 | 11 | 14 | 5,2 | 1,1 | 16 | 8 | 18 | 0 | 25,1 | 43,1 | 58 | 0 |
| T1 | 0,2-0,4 | 5 | 11 | 5,0 | 0,7 | 11 | 6 | 20 | 1 | 17,7 | 37,7 | 47 | 5 |
| T1 | 0,4-0,6 | 3 | 10 | 4,9 | 0,7 | 11 | 4 | 20 | 1 | 15,7 | 35,7 | 44 | 6 |
| T1 | 0,6-0,8 | 2 | 9 | 5,1 | 0,6 | 10 | 4 | 18 | 0 | 14,6 | 32,6 | 45 | 0 |
| T1 | Média | 5 | 11 | 5 | 0,8 | 12 | 6 | 19 | 1 | 18 | 37 | 49 | 3 |
| T4 | 0,0-0,2 | 5 | 22 | 4,4 | 2,1 | 15 | 13 | 52 | 10 | 30,1 | 82,1 | 37 | 25 |
| T4 | 0,2-0,4 | 2 | 19 | 4,2 | 0,7 | 12 | 10 | 52 | 18 | 22,7 | 74,7 | 30 | 44 |
| T4 | 0,4-0,6 | 1 | 15 | 4,1 | 0,6 | 5 | 3 | 64 | 13 | 8,6 | 72,6 | 12 | 60 |
| T4 | 0,6-0,8 | 1 | 12 | 4,1 | 0,5 | 5 | 2 | 52 | 13 | 7,5 | 59,5 | 13 | 63 |
| T4 | Média | 2 | 17 | 4 | 1,0 | 9 | 7 | 55 | 14 | 17 | 72 | 23 | 48 |

Fonte: Elaboração do próprio autor.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos seis perfis analisados a camada de 0,0-0,2 m concentrou a maior parte do sistema radicular da cana-de-açúcar, em média 75% (Tabela 3), a menor quantidade de raízes (56%)

ocorreu na T2P2 e a maior (83%) na T2P1 e T3P1, sendo essa camada a que apresentou o menor coeficiente de variação, com 14%, valor considerado como uma média variação (PIMENTEL-GOMES, 1985). Resultado semelhante foi encontrado por Aquino *et al.* (2015), que avaliando o sistema radicular da variedade SP80-1816 em sistema de sequeiro, logo após o segundo e terceiro corte, encontraram a profundidade efetiva do sistema radicular a 0,18 e 0,21 metros respectivamente, considerando uma distância de 0,45 m da linha de plantio.

Tabela 3. Porcentagem de área de raiz e de área acumulada (mm^2) do sistema radicular da cana-de-açúcar para a variedade RB96-6928.

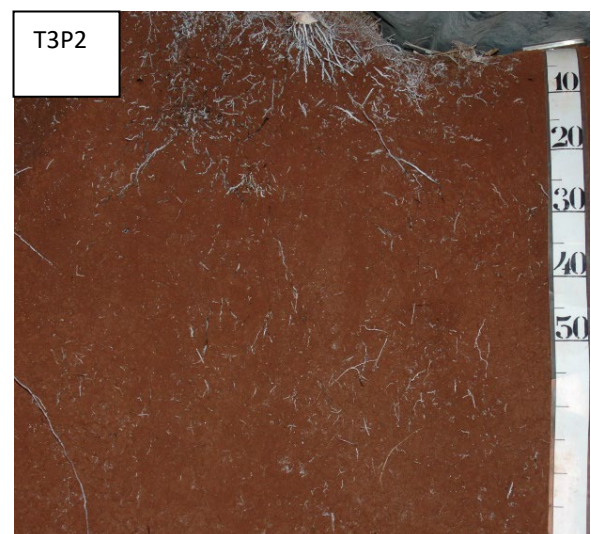
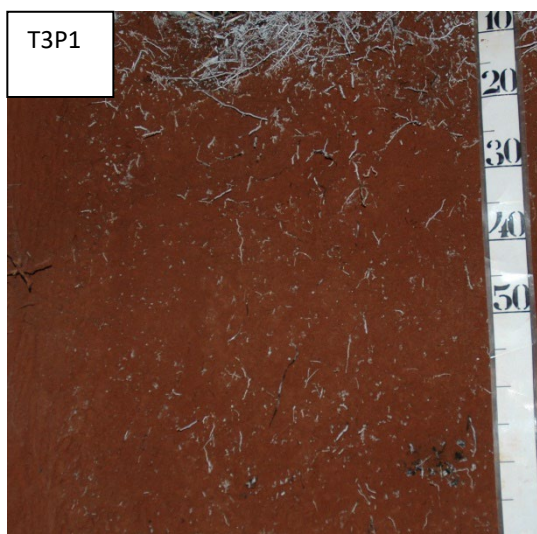
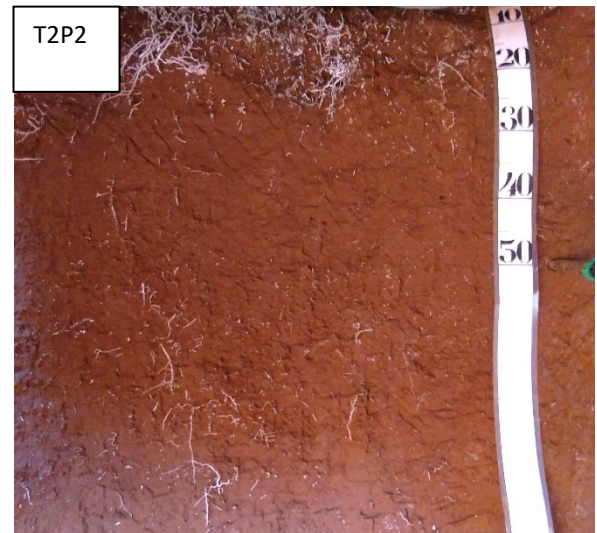
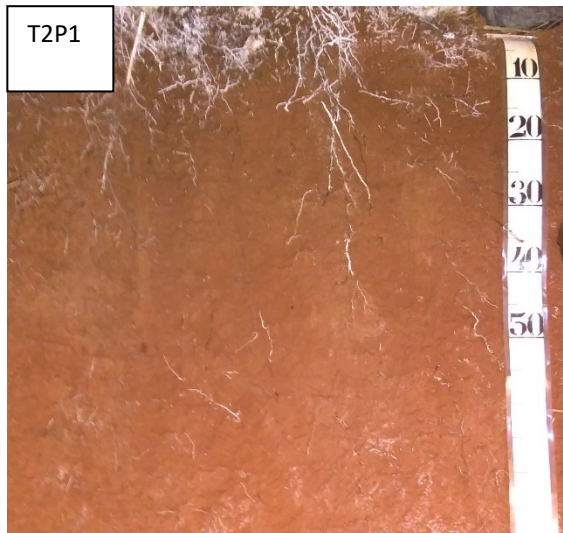
| Profundidade (m) | T1P1 | T1P2 | T2P1 | T2P2 | T3P1 | T3P2 | Média | D.P. | C.V. |
|---------------------|---------------------------------------|------|------|------|------|------|-------|------|------|
| | % de Área (mm^2) | | | | | | | | % |
| 0,0-0,2 | 82 | 72 | 83 | 56 | 83 | 74 | 75 | 11 | 14 |
| 0,2-0,4 | 15 | 17 | 3 | 2 | 6 | 10 | 9 | 6 | 70 |
| 0,4-0,6 | 2 | 10 | 2 | 2 | 7 | 10 | 5 | 4 | 74 |
| 0,6-0,8 | 1 | 2 | 12 | 41 | 5 | 6 | 11 | 15 | 138 |
| | % de Área Acumulada (mm^2) | | | | | | | | % |
| 0,0-0,2 | 82 | 72 | 83 | 56 | 83 | 74 | 75 | 11 | 14 |
| 0,2-0,4 | 97 | 88 | 86 | 58 | 89 | 84 | 84 | 14 | 16 |
| 0,4-0,6 | 99 | 98 | 88 | 59 | 95 | 94 | 89 | 15 | 17 |
| 0,6-0,8 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | - | - |

T: Trincheira, P: Profundidade, D.P.: Desvio Padrão, C.V.: Coeficiente de Variação
Fonte: Elaboração do próprio autor.

A avaliação da camada de 0,2 a 0,4 m contém, em média 9% do sistema radicular, tendo no T2P2 a menor porcentagem de raízes (2%), enquanto T1P1 apresenta a maior quantidade de raízes (17%), com CV de 70%, classificado por Pimentel-Gomes (1985) como muito alto. Resultados semelhantes ocorrem as camadas de 0,4 a 0,6 e 0,6 a 0,8, que apresentaram respectivamente média de 5 e 11% de concentração com valores de CV de 74 e 138%.

Os altos valores do CV nas camadas de 0,0 a 0,2; 0,2 a 0,4 e 0,4 a 0,6 m, foram influenciados pelos dados observados na trincheira 2, que apresentou os menores valores de porcentagem de área radicular para a camada de 0,2 a 0,4 m e 0,4 a 0,6 m, sendo que nesta última camada o valor de 2% foi igual a T1P1, já na profundidade de 0,6 a 0,8 m, a T2P2 apresentou uma concentração do sistema radicular de 41%, valor este 373% maior que a média entre todas as trincheiras, seguido pela T2P1, com 12% de concentração. Diferenciação essa, confirmada visualmente na Figura 2, onde observa-se ausência de raízes entre 0,3 a 0,5 m.

Figura 2. Imagens dos perfis utilizadas para avaliação da profundidade específica do sistema radicular da variedade RB96-6928.



T: Trincheira, P: Profundidade
Fonte: Elaboração do próprio autor.

A menor concentração de raízes observadas nas profundidades centrais do perfil 2 da trincheira 2, pode ter sido influenciada pelo sistema de irrigação, onde é possível observar (Figura 3) que, ao contrário da trincheira 1 e das informações de projeto, nas trincheiras 2 e 3 as linhas do sistema de gotejamento não estão posicionadas logo abaixo das linhas de cana-de-açúcar, dessa forma as linhas da cultura, avaliadas nas trincheiras 2 e 3, se encontravam aproximadamente ao centro das duas linhas de irrigação e não exatamente acima da linha de irrigação como na trincheira 1.

Figura 3. Posição do sistema de irrigação em relação a linha da cultura nas trincheiras.

Trincheira 1



Trincheira 2



Trincheira 3

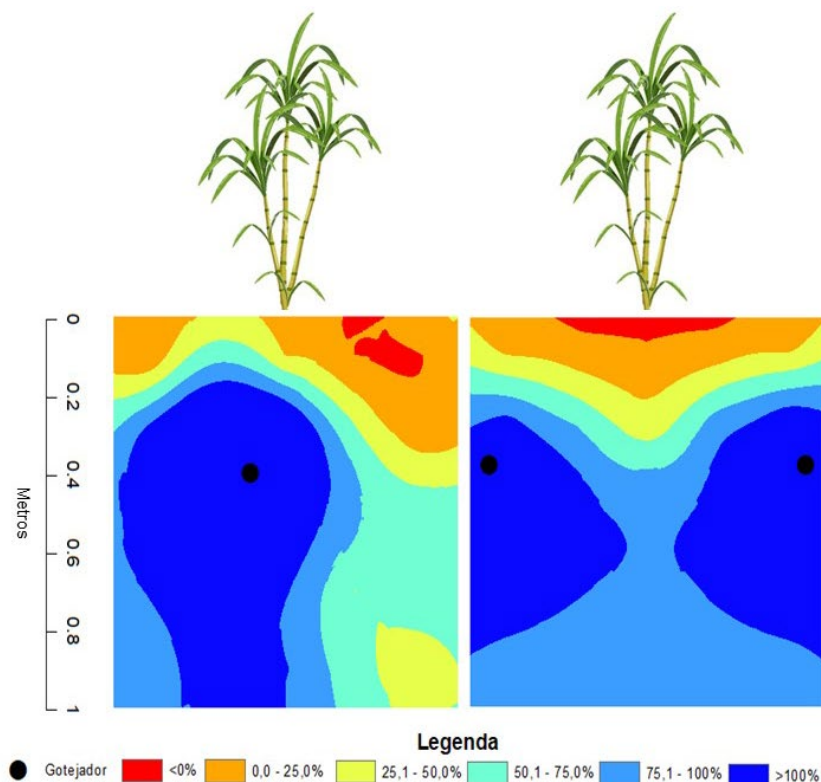


Trincheira 4



Essa alteração no alinhamento do sistema de irrigação influencia diretamente o crescimento do sistema radicular, pois modifica a distribuição da umidade no perfil do solo. Pode-se observar na Figura 4, o perfil de umidade formado por uma e por duas linhas de gotejamento de subsuperfície e considerando-se o bulbo úmido como sendo a faixa de umidade acima de 75% da CAD, identifica-se que quando a linha da cultura está posicionada acima da linha de gotejamento (imagem a esquerda), o bulbo úmido é formado antes dos 0,2 m de profundidade se estendendo por todo perfil avaliado, já quando a cultura está localizada entre duas linhas de gotejadores, este bulbo úmido é formado a uma profundidade de 0,4 m, situação está que pode ter influenciado para uma maior concentração do sistema radicular dos perfis da trincheira 2 na camada de 0,6-0,8 m em comparação com as camadas de 0,2-0,4 e 0,4-0,6 cm.

Figura 4. Classes de umidade em porcentagem da capacidade de água disponível, de um perfil de solo em função de uma linha e de duas linhas de irrigação por gotejamento de subsuperfície.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Já nos perfis da trincheira 3, que também se encontram posicionadas em função do sistema de irrigação da mesma forma que os perfis da trincheira 2, essa diferenciação na distribuição do sistema radicular ocorreu de forma bem mais harmônica com a trincheira 1,

sendo que a T3P1 apresentou uma concentração do sistema radicular de 83% na camada de 0-0,20 m (Tabela 3) enquanto a T3P2 apresentou uma concentração de 74% para a mesma profundidade, porém em relação a área acumulada, os dois perfis apresentavam para a camada de 0,2-0,4 m, valores de 89 e 84% respectivamente, concentrações acumuladas próximas a média geral que foi de 84%, sendo que com exceção da T2P2, todas as demais atingiram a PESR até os 0,4 m de profundidade, uniformidade esta observada nos valores de CV que foram de 14, 16 e 17% para as profundidades de 0,0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m de profundidade.

Resultado semelhante foi obtido por Ohashi *et al.* (2015), que avaliaram o sistema radicular dos cultivares IACSP94-2094, IACSP94-2101 e SP79-1011, irrigados por um sistema de gotejamento de subsuperfície a 0,2 metros de profundidade, na região de campinas em um solo com teor de argila entre 400 a 510 g kg⁻¹ nas profundidades de 0,1 a 0,8 m, e encontraram, a partir do segundo corte da cultura, mais de 80% das raízes até a profundidade de 0,4 m para os três cultivares avaliados.

Já Silva-Olaya; Pellegrino Cerri; Cerri (2017) em estudo conduzido em área de plantio de cana-de-açúcar com a variedade RB86-7515 logo após o primeiro corte, avaliando a profundidade de distribuição do sistema radicular, utilizando os métodos do monólito e da sonda, encontraram para as duas metodologias, uma concentração próxima a 80% das raízes até 0,6 m de profundidade. É importante destacar que devido ao perfilhamento mais superficial, o sistema radicular da cana soca tende a ser mais superficial em relação a cana planta.

Em relação aos dados de distribuição do sistema radicular da variedade CTC 4, pode-se observar na Tabela 4 que a média de porcentagem de área de raiz foi de 45, 27, 20 e 8% para as profundidades 0,0-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6 e 0,6-0,8 m respectivamente, sendo possível observar visualmente na Figura 5 uma distribuição muito mais uniforme ao longo da profundidade em comparação aos perfis da variedade RB96-6928 na Figura 2. Já os valores de CV variaram de 2,3% para a camada de 0,4-0,6 cm, a 33,8% para a camada de 0,6-0,8 cm, sendo que devido ao baixo número de repetições, os valores de CV sofrem grandes alterações mesmo diante de diferenças relativamente pequenas.

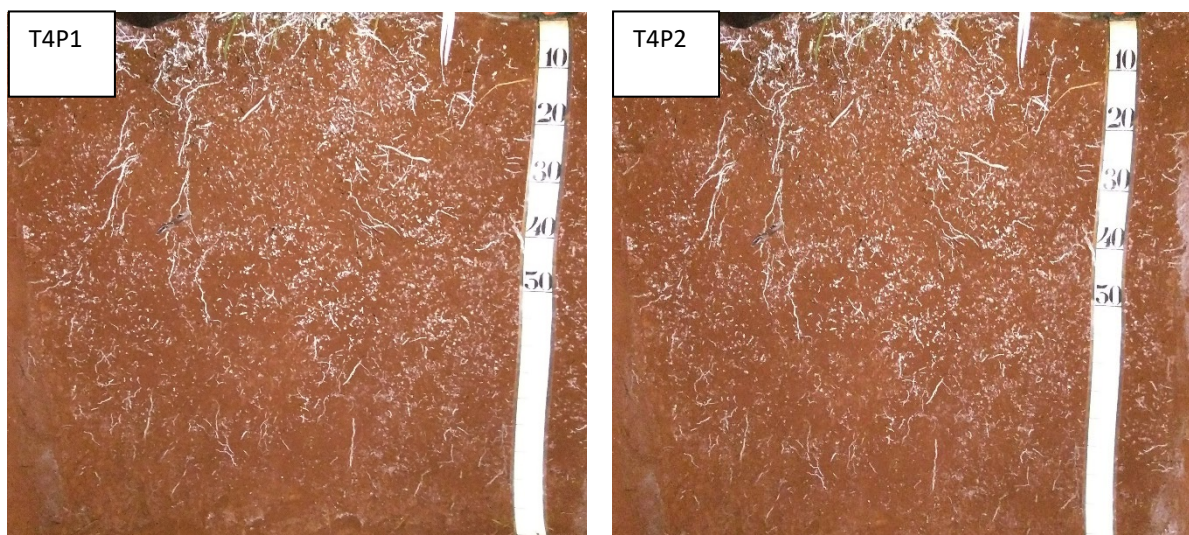
Tabela 4. Porcentagem de área e de área acumulada do sistema radicular da cana-de-açúcar em função da profundidade para a variedade CTC 4.

| Profundidade (cm) | T4P1 | T4P2 | Média | D.P. | C.V. |
|----------------------|-----------------------------------|------|-------|------|------|
| | Área (mm ²) | | | | % |
| 0-20 | 49 | 41 | 45 | 5.7 | 12.8 |
| 20-40 | 22 | 33 | 27 | 7.9 | 29.0 |
| 40-60 | 20 | 20 | 20 | 0.4 | 2.3 |
| 60-80 | 10 | 6 | 8 | 2.7 | 33.8 |
| | Área Acumulada (mm ²) | | | | % |
| 0-20 | 49 | 41 | 45 | 5.7 | 12.8 |
| 20-40 | 71 | 74 | 72 | 2.2 | 3.1 |
| 40-60 | 90 | 94 | 92 | 2.7 | 2.9 |
| 60-80 | 100 | 100 | 100 | - | - |

T: Trincheira, P: Profundidade, D.P.: Desvio Padrão, C.V.: Coeficiente de Variação
 Fonte: Elaboração do próprio autor.

Distribuição semelhante foi relatada por Vasconcelos *et al.* (2003), onde utilizando cinco métodos diferentes para avaliar o sistema radicular de uma soqueira de cana-de-açúcar, aos oito meses do quinto ciclo, em um Latossolo Vermelho distrófico típico álico, de textura média com 330 g kg⁻¹ de argila no município de Tarumã-SP, obtiveram uma média entre todos os métodos utilizados, com 47% das raízes entre 0,0 e 0,2 m, 24% entre 0,4 e 0,4 m, 17% entre 0,4 e 0,6 m e 12% entre 0,6 e 0,8 m.

Figura 5. Imagens dos perfis utilizadas para avaliação da profundidade específica do sistema radicular da variedade CTC 4.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em relação a PESR o mesmo autor obteve em todos os métodos utilizados, uma concentração das raízes acima de 80% na profundidade de 0,4 a 0,6 m, mesmo resultado obtido no presente trabalho para a variedade CTC4, onde os dois perfis avaliados apresentaram uma

média de 75% para a profundidade de 0,2-0,4 m, chegando na PESR apenas na camada de 0,4-0,6 m com uma média de 92% do sistema radicular concentrado até 0,6 m de profundidade.

Dessa forma é possível observar que a variedade CTC 4 apresentou uma PESR a 0,6 m, enquanto para a variedade RB96-6928 a PESR encontrada foi de 0,4 m, resultado esse explicado em maior parte pelas características físicas do solo (Tabela 1), sendo que o solo onde se encontra a variedade CTC 4 possui uma classe textural Argilosa com uma média de 511 g kg⁻¹ de argila, enquanto o solo onde se encontra cultivada a variedade RB96-6928, possui uma textura Franco-arenosa com um teor médio de 178 g kg⁻¹ de argila.

Essa diferença textural influencia diretamente no maior valor da CAD observada no talhão da CTC 4 em relação ao talhão da RB96-6928, onde os valores médios foram respectivamente 1,35 e 1,08 mm cm⁻¹. Neste contexto o maior valor da CAD pode assim ter favorecido um desenvolvimento radicular mais profundo devido a uma maior retenção da umidade no solo.

Essa mesma tendência poderia ser corroborada pelos dados de fertilidade do solo apresentados na Tabela 2, onde observa-se que enquanto o solo do talhão da RB96-6928 apresentava uma CTC média de 37 mmolc dm⁻³, o talhão da CTC 4 apresentou uma CTC média de 72 mmolc dm⁻³, porém a maior parte desta CTC estava ocupada com alumínio, apresentando valores de m% de 25 e 44% para as profundidades de 0,0 a 0,2 m e de 0,2 a 0,4 m respectivamente, valores estes considerados altos de acordo com Souza e Lobato (2004), já as profundidades de 0,4 a 0,6 e de 0,6 a 0,8 m, apresentaram valores de 60 e 63% de saturação por alumínio, sendo essa concentração considerada muito alta pelo mesmo autor supracitado. Neste contexto, devido aos elevados valores de m% principalmente abaixo 0,4 m de profundidade, esperava-se que ocorresse uma inibição do crescimento do sistema radicular, já que o Al provoca uma restrição do crescimento da raiz devido a inibição da mitose (ECHART; CAVALLI-MOLINA, 2001).

Porém outro fator que corrobora com o maior crescimento radicular da CTC 4 em comparação a RB96-6928, é a própria caracterização agrônômica da variedade (Tabela 5), onde se observa nos dados da Associação Rural dos Fornecedores e Plantadores de Cana da Média Sorocabana - ASSOCANA (2020), que a variedade CTC 4 é recomendada para ambientes de produção de A-C, enquanto a RB96-6928 é recomendada para ambientes A-B, demonstrando assim que a CTC 4 se demonstra mais adaptadas a solos menos férteis que a RB96-6928.

Outro ponto de comparação entre as variedades que deve ser considerado é o período de maturação, onde a CTC 4 é uma cana de ciclo médio e de produtividade muito alta, tendo esta sido colhida em final de setembro, enquanto a RB96-6928 é uma variedade precoce e de

média produtividade, tendo esta sido colhida em final de junho, concomitante a essa diferença, a CTC 4 apresenta uma capacidade de rebrota de soqueira melhor que a RB96-6928, dessa forma com uma maior produtividade, melhor capacidade de rebrota e com um ciclo que abrange um maior período de dias em estações favoráveis ao desenvolvimento vegetativo da planta, justifica-se que a CTC 4 tenha apresentado uma maior PESR.

Tabela 5. Comparação entre as características agronômicas das variedades CTC 4 e RB96-6928

| CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS | CTC 4 | RB 96-6928 |
|-----------------------------|------------|------------|
| Ambientes de Produção | A - C | A - B |
| Produtividade | Muito Alta | Média |
| Brotação da Soca | Ótima | Boa |
| Exigência em Fertilizantes | Média | Média |
| Maturação | Média | Precoce |
| Época de Corte | Jun -Set | Abr - Jun |

Fonte: Adaptado de Associação Rural dos Fornecedores e Plantadores de Cana da Média Sorocabana - ASSOCANA (2020)

5.4 CONCLUSÃO

A PESR encontrada no presente trabalho foi de 0,6 m para a variedade CTC 4 e de 0,4 m para a variedade RB 96 - 6928, variação comumente encontrada na revisão de literatura, dessa forma, recomenda-se que a PESR utilizada para o manejo da irrigação na cultura da cana-de-açúcar seja de 0,6 m.

Os resultados encontrados demonstram que a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura da cana-de-açúcar pode sofrer influência da variedade, do tipo de solo e do posicionamento do sistema de irrigação quando este é realizado em subsuperfície.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Levantamento da cana-de-açúcar irrigada e fertirrigada no Brasil**. Brasília: ANA, 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Atlas Irrigação: Uso da água na agricultura irrigada**. Brasília: ANA, 2021.

AQUINO, G. S.; MEDINA, C. C.; PORTEIRA JÚNIOR, A. L.; SANTOS, L. O.; CUNHA, A. C. B.; KUSSABA, D. A. O.; SANTOS JÚNIOR, J. H.; ALMEIDA, L. F.; SANTIAGO, A. D. Sistema radicular e produtividade de soqueiras de cana-de-açúcar sob diferentes quantidades de palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 50, p. 1150-1159, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015001200004>. Acesso em: 22 set. 2019.

- ASSOCIAÇÃO RURAL DOS FORNECEDORES E PLANTADORES DE CANA DA MÉDIA SOROCABANA - ASSOCANA. 2020. Disponível em: http://www.assocana.com.br/arquivos/upload/files/documentos/variedades_2020.pdf. Acesso em: 25 out. 2021.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. Viçosa: Ed. da UFV, 2006.
- CAMPOS, F. H.; BIGATON, A.; SILVA, H. J. T.; MARQUES, P. V.; COELHO, R. D.; CARVALHO, D. F. Análise de rentabilidade de irrigação na cana-de-açúcar: estudo de caso de uma usina de Goiás. **Revista IPECEGE**, Piracicaba, v. 3, n. 2, p. 124-133, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.22167/r.ipecege.2017.2.124>. Acesso em: 22 jan. 2022.
- CARVALHO, D. F.; MARTINS, R. D. C.; SANTOS, J. J.; TELES, G. C.; GENTILE, M. A.; OLIVEIRA, M. S. D. Evolution and current scenario of irrigated area in Brazil: Systematic data analysis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 24, n. 8, p. 505-511, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/AGRIAMBI.V24N8P505-511>. Acesso em: 7 set. 2021.
- COSTA, R. I. **Irrigação por gotejamento em uma usina de cana de açúcar - um estudo de viabilidade econômica**. 2016. 67 f. 2016. - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2016. Disponível em: <http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/1801000030/tce-27032017-110521/?&lang=br>. Acesso em: 19 abr. 2019.
- ECHART, C. L.; CAVALLI-MOLINA, S. Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 3, p. 531-541, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000300030>. Acesso em: 26 out. 2021.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: Embrapa, 2017.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. **Agricultura irrigada sustentável no Brasil: identificação de áreas prioritárias**. 017. p. 243. Disponível em: <http://www.abid.org.br/arquivo/agricultura-FAO.pdf>. Acesso em: 7 set. 2021.
- FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P. D.; AZEVEDO, H. M.; NETO, J. D. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 356-362, 2008. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br>. Acesso em: 28 maio 2017.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico de pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 425 p.
- JORGE, L. A. C. **Recomendações práticas para aquisição de imagens digitais analisadas através do SIARCS**. São Carlos - SP: 1996. Disponível em: <http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2019.

JORGE, L. A. de C.; SILVA, D. J. da C. B. **SAFIRA**: manual de utilização. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2010.

LICKS, E. B. **Viabilidade de irrigação para a produção de cana-de-açúcar nos municípios de Araçatuba e de Piracicaba**. 2020. 124 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-08052020-102317/publico/Elis_Braga_Licks_versao_revisada.pdf. Acesso em: 7 set. 2021.

LOPES SOBRINHO, O. P. L.; SILVA, G. S.; PEREIRA, A. I. S.; SOUSA, A. B.; CASTRO JÚNIOR, W. L.; SANTOS, L. N. S. A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e o manejo da irrigação. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 12, n. 4, p. 1605-1625, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n4p1605-1625>. Disponível em: 22 jan. 2022.

NUNES, M. S. **Comparação de métodos via solo e via demanda evaporativa para manejo de irrigação**. 2014. 102 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014. Disponível em: http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde_arquivos/11/TDE-2015-05-20T085746Z-6367/Publico/NUNES, MARIO SANTOS.pdf. Acesso em: 3 set. 2017.

OHASHI, A. Y. P.; PIRES, R. C. D. M.; RIBEIRO, R. V.; SILVA, A. L. B. D. O. Root growth and distribution in sugarcane cultivars fertigated by a subsurface drip system. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 2, p. 131-138, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0295>. Acesso em: 23 out. 2021.

OLIVEIRA, M. H. R.; SOUZA, A. E. C.; AVILA, E. A. D. S.; OLIVEIRA, R. S.; SILVA, R. M.; VENTURA, M. V. A. Produtividade da cana-de-açúcar sob irrigação localizada: uma revisão sistemática. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 9, n. 7, p. 1-22, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.3966>. Acesso em: 7 set. 2021.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba-SP, 1985.

PIRES, R. C. D. M.; FOLEGATTI, M. V.; PASSOS, F. A.; AMBROSANO, G. M. B.; MINAMI, K. Profundidade efetiva do sistema radicular do morangueiro sob diferentes coberturas do solo e níveis de água. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 4, p. 793-799, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000400017>. Acesso em: 7 set. 2021.

RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas : Instituto Agrônomo, 2001.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D. **AGEITEC - Agência Embrapa informação tecnológica. Árvore do Conhecimento - Cana-de-Açúcar**., 2021. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_33_711200516717.html. Acesso em: 7 set. 2021.

SILVA-OLAYA, A. M.; PELLEGRINO CERRI, C. E.; CERRI, C. C. Comparação de métodos de amostragem para avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar. **Revista de Ciências Agrícolas**, Rio Largo, v. 34, n. 1, p. 7-16, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.22267/RCIA.173401.59>. Acesso em: 21 out. 2021.

SILVA, E. M. P.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; RIBEIRO, V. Q. Produtividade de colmos e eficiência do uso da água em cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial. **Irriga**, Botucatu, v. 24, n. 1, p. 162-176, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.15809/irriga.2019v24n1p162-176>. Acesso em: 22 jan. 2022.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. (org.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

SOUZA, J. M. D.; REIS, E. F. D.; BONOMO, R.; GARCIA, G. D. O. Wet bulb and Conilon coffee root distribution under drip irrigation. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 42, n. 1, p. 93-103, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-70542018421018617>. Acesso em: 7 set. 2021.

VASCONCELOS, A. C. M.; CASAGRANDE, A. A.; PERECIN, D.; JORGE, L. A. C.; LANDELL, M. G. A. Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 849-858, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-06832003000500009>. Acesso em: 16 jan. 2021.

6. CAPITULO 3

AVALIAÇÃO DE BULBO ÚMIDO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO DE SUBSUPERFÍCIE EM LATOSSOLO VERMELHO

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi dimensionar o bulbo úmido de um sistema de irrigação por gotejamento de subsuperfície, a fim de chegar a uma recomendação de amostragem média da umidade do solo para fins de manejo da irrigação. Os dados foram coletados em julho de 2018 após o quinto corte da cana-de-açúcar, em 2 trincheiras, em que foram coletadas amostras com sua estrutura preservada nas profundidades de 0,0-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6; 0,6-0,8 e 0,8-1,0 metros para determinação das curvas de retenção, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo. A determinação do bulbo úmido em cada trincheira, foi realizada 12 horas após um período de 6 horas de irrigação. Posteriormente foi realizado uma interpolação dos pontos pelo método de Krigagem, e para se realizar a delimitação do bulbo úmido, utilizou-se como critério a curva de retenção de água no solo. Foi observado que a área de bulbo úmido nos perfis avaliados foram de 0,61 e 0,70 m², sendo que essa distribuição ocorreu principalmente abaixo dos 0,20 metros superficiais, provocando um déficit hídrico na camada superficial do solo.

Palavras-chave: cana-de-açúcar; gotejamento; área molhada.

ABSTRACT

The objective of this work was to dimension the wet bulb of a subsurface drip irrigation system, in order to determine a recommendation of average soil moisture sampling for irrigation management purposes. Data were collected in July 2018 after the fifth sugarcane cut, in 2 trenches, in which samples were collected with their structure preserved at depths of 0.0-0.2; 0.2-0.4; 0.4-0.6; 0.6-0.8 and 0.8-1.0 meters to determine retention curves, macroporosity, microporosity, total porosity and soil density. The determination of the wet bulb in each trench was performed 12 hours after a period of 6 hours of irrigation. Subsequently, an interpolation of the points was performed by the Kriging method, and to carry out the delimitation of the wet bulb, the soil water retention curve was used as a criterion. It was observed that the wet bulb area in the evaluated profiles was 0.61 and 0.70 m², and this distribution occurred mainly below the surface 0.20 meters, causing a water deficit in the soil surface layer.

Keywords: sugarcane; drip irrigation; wet area.

6.1 INTRODUÇÃO

A prática da irrigação apresenta diversas vantagens ao produtor rural, sendo a principal vantagem a garantia de poder fornecer água às culturas garantindo que as mesmas não venham a perder produtividade devido a ocorrência de períodos de déficit hídrico, garantindo dessa forma o retorno do investimento realizado e a sustentabilidade da região produtora. Entre os diferentes métodos de irrigação, a microirrigação ou irrigação localizada, que compreende os sistemas de irrigação por gotejamento e microaspersão, apresenta ainda como vantagem em relação aos demais métodos, uma maior economia de água e energia elétrica, além de facilitar a aplicação de fertilizantes e outros produtos químicos (FRIZZONE *et al.* 2012).

No entanto, para que o uso da irrigação possa realmente garantir produtividades próximas ao máximo potencial da cultura, além de se realizar todos os demais tratamentos culturais de maneira adequada, é necessário manejar o sistema de irrigação de maneira correta, fornecendo assim as lâminas certas no momento apropriado, o que muitas vezes não ocorre, sendo que a maior parte dos usuários da agricultura irrigada não utiliza, ainda, qualquer tipo de critério para o manejo da irrigação (NUNES, 2014).

Operacionalmente o manejo da irrigação pode ser realizado entre outras formas, pela estimativa da evapotranspiração da cultura ou através do monitoramento da umidade do solo, sendo que neste último caso a umidade atual do solo pode ser determinada de maneira direta ou indireta, sendo a direta por meio da determinação da umidade em estufa enquanto os métodos indiretos estimam a umidade por meio de sensores como os watermarks, tensiômetros, TDR, sonda de nêutrons, entre outros (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006; MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2007; SILVA; GERVÁSIO, 1999).

Segundo Coelho, Silva e Miranda (2010), ao se utilizar esses sensores para definir quando ou quanto irrigar, a maior dificuldade encontrada por seus usuários consiste em definir o número de sensores a serem instalados na área, bem como o local de sua instalação. O primeiro questionamento está muito mais relacionado a critérios econômicos e a variação espacial da cultura e do solo. Já em relação ao local de instalação, estes devem ser instalados em locais representativos, sendo preciso estabelecer critérios que levem em consideração a distribuição da lâmina média de irrigação do sistema com a área de maior ocorrência do sistema radicular das culturas, tendo em vista que a distribuição das raízes está diretamente relacionada com a capacidade de água disponível do solo, delimitando a profundidade em que a planta

consegue explorar a umidade disponível (AQUINO *et al.*, 2015; VASCONCELOS; GARCIA, 2005).

Nesse contexto esse trabalho teve como objetivo, determinar o bulbo úmido de um sistema de irrigação por gotejamento de subsuperfície (GSS), a fim de chegar à recomendação do local mais adequado para a amostragem média da umidade do solo para fins de manejo da irrigação.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS:

6.2.1 Metodologia de coleta e avaliação de propriedades físicas do solo

As amostragens do solo foram realizadas em julho de 2018, logo após o quinto corte da variedade RB96 - 6928, em 3 trincheiras, com 1,0 m de profundidade, abrangendo parte do espaçamento entre as linhas simples da cultura e o espaçamento entre a linha dupla, buscando assim manter uma linha da cultura com a linha do sistema de gotejamento ao centro do perfil. Todas as amostras foram coletadas nos dois lados transversais a linha de plantio, obtendo-se assim dados referentes a dois perfis por trincheira, sendo feita posteriormente a média entre esses lados para se obter um perfil médio por trincheira.

Em cada perfil foram coletadas amostras de estrutura preservada por meio de anéis volumétricos nas profundidades de 0,0-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6; 0,6-0,8 e 0,8-1,0 metros para determinação das curvas de retenção de água no solo (CRAS). A partir da CRAS determinou-se a umidade no ponto de murcha permanente (PMP) e capacidade de campo (CC), que correspondem respectivamente a umidade do solo no potencial matricial de 1500 kPa e 10 kPa, além da umidade crítica para a cultura da cana-de-açúcar (UC) sendo está a umidade correspondente a 50% da Capacidade de Água Disponível - CAD (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006; STEDUTO *et al.*, 2012)

As amostras de estrutura preservada, também foram utilizadas para determinação da macroporosidade (MA), microporosidade (MI), porosidade total (PT) e densidade do solo (DS). Amostras de solo deformadas também foram coletadas nas mesmas profundidades para a análise granulométrica, sendo que todas as análises foram realizadas conforme a metodologia proposta por Embrapa (2017) e a classificação textural realizada de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2015).

6.2.2 Determinação da profundidade efetiva do sistema radicular

Juntamente com a avaliação de umidade do perfil, foi avaliada a profundidade efetiva do sistema radicular (PESR) da cultura, que corresponde a profundidade onde está concentrado 80% do sistema radicular da planta (AQUINO *et al.*, 2015). Para tanto foi utilizado a metodologia proposta por Jorge, (1996) para aquisição de imagens digitais do sistema radicular da cultura, onde o perfil de solo foi escarificado manualmente para maior exposição das raízes e em seguida pintado com uma tinta branca e posteriormente lavado, permanecendo assim apenas as raízes pintadas de branco para contrastar com a cor do solo, sendo estas fotografadas na sequência.

Posteriormente utilizou-se o programa Safira (JORGE; SILVA, 2010) para fazer a quantificação do volume das raízes em mm^3 , onde estes dados foram processados para as camadas de 0,0 a 0,2m, 0,2 a 0,4m, 0,4 a 0,6m e 0,6 a 0,8m de profundidade, calculando-se a porcentagem do volume de raiz de cada camada em relação ao volume total do perfil.

6.2.3 Determinação do bulbo úmido

A avaliação da umidade da primeira trincheira ocorreu no dia 03 de julho de 2018, quando o local apresentava um período de 93 dias sem chuva maior que 10 mm, enquanto as trincheiras 2 e 3 foram avaliadas cinco dias depois, apresentando 98 dias sem chuva, demonstrando assim que nenhum dos resultados de umidade obtidos tiveram interferência de uma possível precipitação.

A determinação do bulbo úmido em cada trincheira foi realizada 12 horas após um período de irrigação, sendo que devido a uma variação operacional da empresa e pelo fato das avaliações terem ocorrido em dias diferentes, o período de irrigação da trincheira 1 foi de 6 horas, enquanto das trincheiras 2 e 3 foi de 12 horas. Utilizou-se para a avaliação da umidade, uma malha de 1,0 x 1,0 m, dividida em quadrantes de 0,2 x 0,2 m, onde foram coletas ao centro, amostras de solo que foram acondicionadas em sacos plásticos e posteriormente determinadas a umidade gravimétrica e volumétrica de cada quadrante.

Após a determinação do teor de umidade volumétrica, estes valores foram convertidos em porcentagem da CAD, e em seguida inseridos no programa ArcGis 10.0 para realizar uma interpolação dos pontos pelo método de Krigagem. Na sequência os perfis de umidade de cada trincheira, foram divididos em seis classes de umidade em relação a porcentagem da CAD, sendo a classe 1: inferior ou igual a 0,0%, classe 2: entre 0,1 o 25,0%, classe 3: entre 25,1 o 50,0%, classe 4: entre 50,1 o 75,0%, classe 5: entre 75,1 o 100,0% e classe 6:

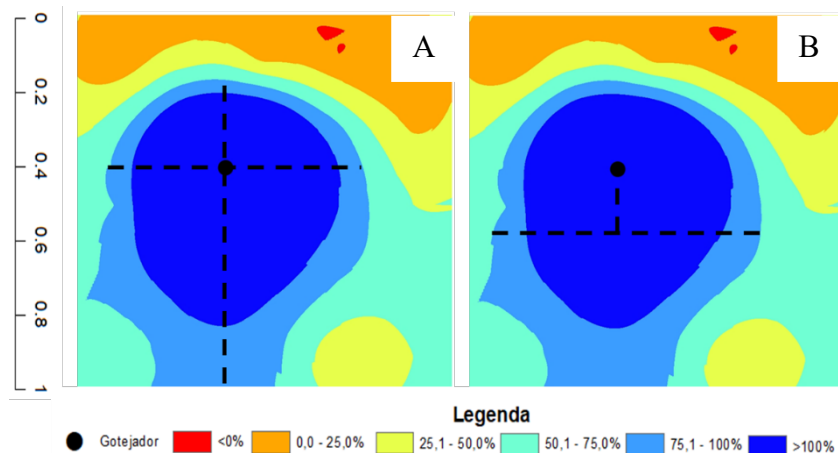
acima de 100,0%, sendo utilizada as áreas ocupadas pelas Classes 4, 5 e 6 para delimitação do bulbo úmido.

6.2.4 Definição do local de amostragem da umidade do solo

Tendo em vista que segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2006) a disponibilidade real de água (DRA) representa a quantidade de água entre umidade crítica da cultura e a capacidade de campo, sendo que para a cultura da cana-de-açúcar esses valores representam a umidade entre 50 e 100% da CAD e que durante a irrigação não se deve buscar elevar a umidade do solo acima da capacidade de campo, pois a partir deste valor o excedente hídrico está sujeito a percolação pelo efeito da gravidade. Determinou-se então como critério de um intervalo ótimo de umidade para o manejo da irrigação os valores entre 50% da CAD e a umidade de CC, definindo-se assim os locais correspondentes a classe 5 do perfil de umidade (75,1 o 100,0% da CAD) como sendo a classe ideal para instalação de um sensor de umidade do solo.

Para que essa localização pudesse ser apresentada de maneira cartográfica, com uma localização referente a distância e profundidade (x,y), adotou-se como ponto de referência em cada perfil as distâncias entre a linha de gotejamento e o início, meio e fim da faixa de umidade da classe 5 (Figura 1-A), medindo-se assim o raio úmido na altura da linha do gotejamento (RULG), a altura úmida e a profundidade úmida em relação ao tubo gotejador, o raio úmido máximo (RU-Máximo) e a profundidade do RU-Máximo (Figura 1-B) em relação ao sistema de irrigação (PRUM). Na sequência, foram calculados aos coeficientes de variação (CV), buscando a angulação que possui a menor variação da distância média da classe ótima de umidade do solo.

Figura 1. Medição das distâncias recomendadas para instalação do sensor de umidade do solo.



6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.3.1 Caracterização do solo

De acordo com os dados da Tabela 1, onde são apresentadas as informações das características físicas das trincheiras, é possível observar que em relação a macroporosidade, microporosidade e porosidade total, as médias obtidas foram respectivamente 10,7; 25,5 e 36,2%, enquanto a densidade apresentou um valor médio de 1,54 g cm⁻³ e a CAD de 1,0 mm cm⁻¹, já em relação a textura do solo, todos os locais avaliados foram classificados com classe textural franco-arenosa possuindo uma média de 183 g kg⁻¹ de argila, 746 g kg⁻¹ de areia e 71 g kg⁻¹ de silte.

Tabela 1. Característica físicas do solo das trincheiras avaliadas.

| Local | Porosidade (%) | | | Densidade (g/cm ³) | CAD (mm/cm) | Argila | Areia g/Kg | Silte | Classe textural |
|--------------|----------------|-------|-------|--------------------------------|-------------|--------|------------|-------|-----------------|
| | Macro | Micro | Total | | | | | | |
| Trincheira 1 | 10 | 25 | 35 | 1,6 | 0,9 | 174 | 755 | 71 | Franco-arenosa |
| Trincheira 2 | 11 | 25 | 37 | 1,5 | 1,1 | 187 | 745 | 68 | Franco-arenosa |
| Trincheira 3 | 11 | 26 | 37 | 1,5 | 1,1 | 188 | 739 | 73 | Franco-arenosa |
| Média | 10,7 | 25,5 | 36,2 | 1,54 | 1,0 | 183 | 746 | 71 | - |
| DP | 0,6 | 0,8 | 1,2 | 0,03 | 0,1 | 7,8 | 8,1 | 2,5 | - |
| CV (%) | 6 | 3 | 3 | 2 | 12 | 4 | 1 | 4 | - |

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em relação as características físicas do solo, é possível observar ainda que segundo a classificação sugerida por Pimentel-Gomes (2002) para experimentos agrícolas, os coeficientes de variação (CV) com valores inferiores a 10% são classificados como baixos, já os coeficientes médios são encontrados entre valores de 10% a 20%, valores altos entre 20% a 30% e muito altos acima de 30%. Dessa forma é possível afirmar que com exceção da CAD que apresentou valores médios de CV, todos os demais parâmetros físicos apresentaram baixos valores de CV. Dessa forma é possível afirmar que não existem diferenças físicas entre as trincheiras avaliadas que possam interferir significativamente nos demais resultados a seguir.

6.3.2 Avaliação das diferentes classes de umidade.

Para definição do limite de profundidade do bulbo úmido e das diferentes classes de umidade, adotou-se como referência uma PESR de 0,6 m obtida no capítulo anterior. Em relação aos dados de avaliação das diferentes classes de umidade (Tabela 2) é possível

observar que a classe 5, onde a umidade se encontra entre 75,1 á 100,0% da CAD foi a que apresentou a maior área com um valor médio de 0,35 m², sendo que em relação aos valores de CV, tanto a classe 5 de umidade, quanto as classes 1, 2, 3 e 4, apresentaram valores classificados como muito altos, mostrando que existiu uma grande variação entre os perfis avaliados.

Tabela 2. Área das diferentes classes de umidade e umidade média das trincheiras avaliadas.

| Perfil | Área do perfil correspondente a % da CAD (m ²) | | | | | | Bulbo Úmido | Umid.Média (% da CAD) |
|--------|--|-----------|----------|----------|-----------|---------|-------------|-----------------------|
| | < 0 | 0,1-25,0% | 25,1-50% | 50,1-75% | 75,1-100% | >100,1% | | |
| 1 | 0,00 | 0,16 | 0,14 | 0,26 | 0,19 | 0,26 | 0,35 | 75 |
| 2 | 0,00 | 0,01 | 0,17 | 0,13 | 0,48 | 0,20 | 0,42 | 79 |
| 3 | 0,08 | 0,13 | 0,07 | 0,13 | 0,37 | 0,23 | 0,31 | 70 |
| Média | 0,03 | 0,10 | 0,12 | 0,17 | 0,35 | 0,23 | 0,36 | 74,8 |
| DP | 0,05 | 0,08 | 0,05 | 0,07 | 0,15 | 0,03 | 0,06 | 4,8 |
| CV (%) | 164 | 76 | 39 | 42 | 43 | 12 | 15 | 6 |

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Sendo essa variação justificada pela diferença no período de irrigação, onde o perfil 1 recebeu 6 horas de irrigação e os perfis 2 e 3 receberam 12 horas de irrigação, porém o mesmo comportamento não foi observado em relação a área de bulbo úmido (Tabela 2), sendo que para esta avaliação, leva-se em consideração a soma das classes 4, 5 e 6, porém limitando-se a área dessas classes até a PESR, assim, enquanto o perfil 1 apresentou um valor de bulbo úmido de 0,35 m², o perfil 2 apresentou um valor de 0,42 m² e o perfil 3 de 0,31 m².

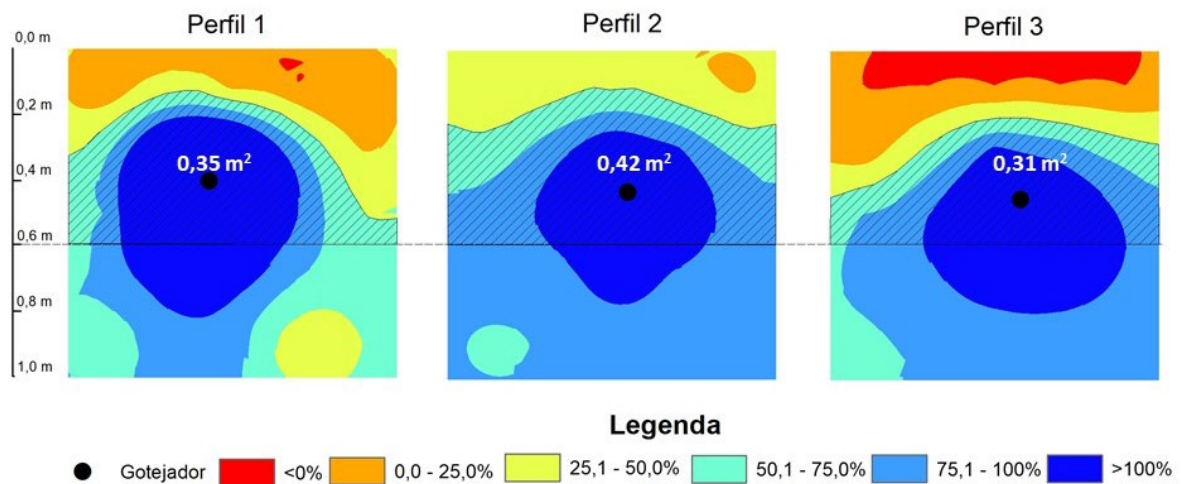
Ainda em relação as classes de umidade, apenas a classe 6 que possui valores acima de 100,1% da CAD, apresentou valores médios de CV, mostrando que valores próximos a uma área de saturação de 0,23 m² já foram atingidos com o menor período de irrigação. Já em relação aos valores médios de umidade dos perfis, ou seja, a média geral de umidade em todo o 1 m² do perfil avaliado, apresentou valores baixos de CV (6%), com uma média de 74,8%, demonstrando que a escolha da faixa de umidade entre 75,1 e 100,0% da CAD, representa bem não apenas a melhor faixa de água disponível para a cultura como também a umidade média do perfil.

Pode-se observar na Figura 2, que nos três perfis avaliados, a maior umidade se encontra abaixo da camada de maior concentração do sistema radicular, demonstrando que mesmo no menor período de irrigação, a maior parte da água aplicada não será utilizada para suprir

a demanda hídrica da cultura. Já nos perfis que receberam um período maior de irrigação, essa diferença se demonstra ser ainda maior. Segundo Bezerra e Campeche (2015), para solos leves a aplicação de grandes volumes de água contribui mais para um aumento da profundidade molhada do que para um aumento no diâmetro molhado, representando assim uma prática de desperdício.

Dessa forma, ao se comparar a distribuição das classes de umidade no perfil do solo entre as duas profundidades, é possível demonstrar que nas condições de Latossolo com alto teor de areia, a profundidade utilizada para instalação do sistema de gotejamento não se mostrou a mais adequada, fazendo com que mesmo diante de um manejo da irrigação adequado para suprir a demanda hídrica da cultura, a camada superficial do solo permaneça com déficit hídrico.

Figura 2. Classes de umidade dos perfis de solo e umidade média e área do bulbo úmido.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

6.3.3 Recomendação de local para monitoramento da umidade do solo.

Conhecendo-se as diferentes classes de umidade dos perfis de solo, e já tendo-se definido a classe 5 de umidade, com valores entre 75,1 a 100% da CAD, como a classe ideal para instalação de um sensor de umidade, é possível observar na Tabela 3, os dados que delimitam a profundidade e a largura da faixa adequada para o monitoramento da umidade no solo. Onde afim de evitar um erro amostral devido a proximidade com outras classes de umidade, será utilizada como referência o centro da classe de umidade.

Tabela 3. Distâncias entre a classe de umidade de 75,1 a 100% da CAD para o tubo gotejador.

| Perfis | RULG (m) | | | Altura (m) | | | Profundidade (m) | | | RU-Máximo (m) | | | PRUM |
|--------|----------|------|--------|------------|------|--------|------------------|------|--------|---------------|------|--------|------|
| | Início | Fim | Centro | Início | Fim | Centro | Início | Fim | Centro | Início | Fim | Centro | |
| T1 | 0,28 | 0,34 | 0,31 | 0,19 | 0,23 | 0,21 | 0,41 | 0,60 | 0,51 | 0,27 | 0,35 | 0,31 | 0,12 |
| T2 | 0,27 | 0,49 | 0,38 | 0,18 | 0,25 | 0,22 | 0,34 | 0,58 | 0,46 | 0,27 | 0,51 | 0,39 | 0,01 |
| T3 | 0,26 | 0,40 | 0,33 | 0,15 | 0,20 | 0,18 | 0,35 | 0,55 | 0,45 | 0,29 | 0,49 | 0,39 | 0,20 |
| Média | 0,27 | 0,41 | 0,34 | 0,17 | 0,23 | 0,20 | 0,37 | 0,58 | 0,47 | 0,28 | 0,45 | 0,36 | 0,11 |
| DP | 0,01 | 0,07 | 0,04 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,01 | 0,09 | 0,05 | 0,10 |
| CV (%) | 4 | 18 | 11 | 12 | 11 | 11 | 10 | 4 | 6 | 5 | 20 | 13 | 89 |

RULG: Raio úmido na altura da linha do gotejamento

RU-Máximo: Raio úmido máximo

PRUM: Profundidade do raio úmido máximo

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Dessa forma, é possível observar na tabela acima que a referência de distância central para a faixa de umidade entre 75,1 a 100% da CAD com menor variação entre os perfis foi a da profundidade com uma média de 0,47 m e CV de 6%, sendo a única classificada com baixo valor de CV, em seguida o RULG e a Altura, apresentaram respectivamente valores médios de 0,34 e 0,20 m, com valores de CV de 11%, sendo esse valor classificado como médio de acordo com Pimentel-Gomes (2002), já os dados centrais de RU-Máximo apresentaram valores médios de 0,36 m com CV de 13%, também classificado como médio, porém esse parâmetro apresentou uma grande variação em sua profundidade (CV de 89%), o que descarta a sua recomendação.

De acordo com os dados apresentados, recomenda-se o monitoramento da umidade do solo em torno de 0,47 m a baixo do tubo gotejador, porém levando-se em consideração que o tubo gotejador já se encontra a 0,4 metros de profundidade, o instrumento de monitoramento deverá ser instalado a 0,87 m da superfície, o que dificultaria a sua instalação e também limitadas pelas opções de mercado. Nestas condições, a utilizados dos dados do RULG e da Altura, permitiram uma praticidade maior dentro do coeficiente de variação médio, assim recomenda-se a instalação desses sensores de umidade também a uma distância de 0,34 m ao lado de linha de gotejamento ou a 0,20 m acima da mesma.

6.4 CONCLUSÃO

As trincheiras apresentaram uma área média de 0,36 m² de bulbo úmido, sendo que a instalação de sensores de umidade do solo para o manejo da irrigação deve ocorrer a uma distância de 0,34 m ao lado de linha de gotejamento ou a 0,20 m acima da mesma.

Comparando-se a distribuição do bulbo úmido em relação a distribuição do sistema radicular, a instalação dos gotejadores à 0,4 m de profundidade, podem influenciar negativamente no manejo da irrigação, mantendo a camada do solo onde existe a maior concentração do sistema radicular sob deficiência hídrica.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, G. S.; MEDINA, C. C.; PORTEIRA JÚNIOR, A. L.; SANTOS, L. O.; CUNHA, A. C. B.; KUSSABA, D. A. O.; SANTOS JÚNIOR, J. H.; ALMEIDA, L. F.; SANTIAGO, A. D. Sistema radicular e produtividade de soqueiras de cana-de-açúcar sob diferentes quantidades de palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 50, p. 1150-1159, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015001200004>. Acesso em: 22 set. 2019.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. Viçosa: Ed. da UFV, 2006.
- BEZERRA, A. B.; CAMPECHE, L. F. S. M. Dinâmica do bulbo mohado no solo por meio da irrigação por gotejamento em perímetros irrigados do submédio do vale do São Francisco. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 2, p. 95–102, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.15809/irriga.2015v1n2p95>. Acesso em: 15 jan. 2021.
- COELHO, E. F.; SILVA, A. J. P.; MIRANDA, J. H. Definição do posicionamento de sensores para monitoramento da água no solo em bananeira irrigada por diferentes sistemas de irrigação localizada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 608-618, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162010000400005>. Acesso em: 13 jan. 2021.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2017. 574 p.
- FRIZZONE, J. A.; FREITAS, P. D.; REZENDE, R.; FARIA, M. D. **Microirrigação: gotejamento e microaspersão**. Maringá: Eduem, 2012.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico de pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 425 p.
- MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa: Ed. da UFV, 2007.
- NUNES, M.S. **Comparação de métodos via solo e via demanda evaporativa para manejo de irrigação**. 2014. 102 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.
- PIMENTEL-GOMES, F. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002.

(Biblioteca de Ciências Agrárias Luiz de Queiroz , v. 11).

SILVA, E. L. ; GERVÁSIO, E. S. Uso do instrumento tdr para determinação do teor de água em diferentes camadas de um latossolo roxo distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 417-420, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v3n3p417-420>. Acesso em: 13 jan. 2021.

STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E.; RAES, D. **Crop yield response to water**. Rome: Food And Agriculture Organization of the United Nations, 2012.

VASCONCELOS, A. C. M.; GARCIA, J. C. **Desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar**. 2005. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Encarte110_desenvolvimento_radicular_000fizw8owz02wyiv802hvm3jdeqc1jc.pdf. Acesso em: 16 maio 2017.

7. CAPITULO 4

AVALIAÇÃO DO MANEJO DA IRRIGAÇÃO EM DOIS ANOS DE CANA SOCA NO NOROESTE PAULISTA

RESUMO:

O uso de sistemas de irrigação é uma prática cada vez mais comum em áreas de produção de cana-de-açúcar, principalmente em áreas de longos períodos de déficit hídrico como a região do noroeste paulista, onde o uso dessa prática se faz imprescindível para a garantia de altas produtividades, sendo que entre os sistemas mais utilizados para a cultura, o sistema de irrigação por gotejamento de subsuperfície tem ganho cada vez mais espaço. Porém para que a prática da irrigação apresente os resultados desejados, deve-se realizar o manejo adequado do volume de água a ser aplicado, seja esse manejo feito a partir da evapotranspiração da cultura (ETc) ou pelos dados de umidade do solo estimados a partir de sensores de solo. Neste contexto, o trabalho teve como objetivo, avaliar a eficiência do manejo da irrigação através de sensores de umidade do solo em comparação ao manejo realizado através dos dados de evapotranspiração. Os resultados demonstraram que os dados de umidade do solo podem ser utilizados com eficiência para o manejo da irrigação, sendo indicado ao menos a profundidade 0,4 m para instalação dos sensores.

Palavras-chave: cana-de-açúcar; gotejamento; umidade do solo; evapotranspiração.

ABSTRACT

The use of irrigation systems is an increasingly common practice in sugarcane production areas, especially in areas with long periods of water deficit, such as the Northwest region of São Paulo state, where the use of this practice is essential for the guarantee of high productivity, and among the most used systems for the culture, the subsurface drip irrigation system has gained more and more space. However, for the irrigation practice to present the desired results, adequate management of the volume of water to be applied must be carried out, be this management is done from the crop evapotranspiration (ET_c) or from soil moisture data estimated from of ground sensors. In this context, the goal of this work was to evaluate the efficiency of irrigation management through soil moisture sensors compared to the management performed through evapotranspiration data. The results showed that soil moisture data can be used efficiently for irrigation management, indicating at least a depth of 0.4 m for installing the sensors.

Keywords: sugarcane; drip irrigation; soil moisture; evapotranspiration.

7.1 INTRODUÇÃO:

A cultura da cana-de-açúcar representa uma das principais culturas no Brasil, principalmente no estado de São Paulo, sendo a principal atividade econômica e fonte de empregos em diversas cidades. No entanto nos últimos anos, a agroindústria sucroalcooleira vem sofrendo com problemas de diversas naturezas, entre eles, as estiagens que impõem deficiência hídrica à cultura contribuindo para a diminuição da produtividade (DALRI *et al.*, 2008).

A cultura da cana-de-açúcar apesar de ser conhecida por ser uma cultura tradicionalmente de cultivo em sequeiro, possui uma demanda hídrica entre 1000 e 1500 mm por ciclo vegetativo (AVILEZ *et al.*, 2018; BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006). No entanto a precipitação pluviométrica e a evapotranspiração de referência de Penman-Monteith (ALLEN *et al.*, 1998) média anual na região do noroeste paulista, uma das principais regiões produtoras de cana-de-açúcar do estado de São Paulo, é de 1.421 e 1.111 mm respectivamente (SANTOS; HERNANDEZ; ROSSETTI, 2010), onde no entanto as precipitações são mais elevadas entre os meses de dezembro a março, levando a ocorrência de deficiência hídrica no solo, principalmente entre os meses de julho a outubro (BISPO; HERNANDEZ; TEIXEIRA, 2017).

Neste contexto a irrigação de cana-de-açúcar, que antes se resumia a utilização de autopropelidos para aplicação da vinhaça, vem crescendo a cada ano, com a utilização de sistemas com pivô central e gotejamento de subsuperfície para irrigação parcial ou plena com o objetivo de suprir a demanda parcial ou total da demanda hídrica da cultura (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA, 2021) e assim garantir o máximo potencial produtivo (LOPES SOBRINHO *et al.*, 2019).

Porém independente do sistema de irrigação a ser utilizado, para que este funcione de maneira eficiente e uniforme, deve-se realizar o manejo correto da quantidade e da frequência de aplicação de água, para que não haja excesso ou deficiência hídrica no solo e na cultura (BISCARO, 2009). Segundo Bernardo; Soares e Mantovani (2006) no manejo racional dos sistemas de irrigação, os aspectos sociais e ecológicos devem ser levados em consideração juntamente com o uso racional da água e a procura pela máxima produtividade potencial, mantendo as condições de umidade do solo e de fitossanidade favoráveis ao desenvolvimento adequado da cultura.

Ainda segundo os mesmos autores, o volume adequado a ser fornecido pelos sistemas de irrigação, é calculado com base no consumo hídrico das culturas, sendo esta quantidade

podendo ser estimada pela evapotranspiração real ou pela variação do teor de umidade do solo, sendo, no entanto, a evapotranspiração real utilizada com mais frequência.

Já para Albuquerque e Durães (2008), os métodos mais promissores de manejo da irrigação combinam os dados de clima e da cultura para determinar a lâmina de água a ser aplicada e as informações de solo para indicar o momento de irrigar. Dessa forma, segundo os autores supracitados, além do monitoramento do teor de água ou do potencial matricial da água do solo, parâmetros de solo, como a capacidade de armazenamento de água na zona radicular e o potencial matricial ou o teor de água mínimo (crítico) para retorno da irrigação para as culturas, devem ser conhecidos.

Neste contexto o trabalho teve como objetivo, avaliar a eficiência do manejo da irrigação utilizando-se dados de umidade do solo obtidos por meio de sensores em comparação ao manejo realizado através dos dados de balanço hídrico do solo, estimado por diferentes formas de obtenção da evapotranspiração atual da cultura.

7.2 MATERIAL E MÉTODOS:

7.2.1 Determinação da umidade do solo

Estes dados do armazenamento de água do solo ao longo das safras, foram obtidos de diferentes maneiras, sendo a primeira por meio de sensores do potencial matricial de água no solo, popularmente conhecido como “Manejo via Solo”, já na segunda conhecida como “Manejo via Clima” o armazenamento de água no solo é obtido por meio de um balanço hídrico entre as entradas de água (irrigação + chuva) e a saída de água (percolação e evapotranspiração real da cultura).

A coleta de dados para os cálculos do armazenamento de água do solo usado no manejo da irrigação ocorreram durante a quarta (2016/2017) e quinta safra (2017/2018), sendo para tanto utilizada uma torre equipada com dois dataloggers da marca Campbell Scientific, sendo um do modelo CR23X, que contava entre outros sensores, com um pluviômetro e na safra 2016/2017 com dois sensores de potencial matricial de água no solo da marca Watermark, instalados a uma profundidade de 0,2 e 0,4 m e uma distância de 0,4 m da linha da cultura e um sensor de temperatura do solo (107-LC) instalado na mesma distância da linha que os sensores de umidade e a 0,4 m de profundidade. Já na safra de 2017/2018, o Watermark que se encontrava na profundidade de 0,2 m precisou ser trocado por um novo, e junto com essa troca houve a instalação de mais um sensor a 0,6 m.

Os dados de potencial matricial dos sensores a 0,2 m e a 0,4 m e a média entre eles, foram utilizados para a estimativa da umidade volumétrica do solo, utilizando-se uma curva de retenção de água no solo, determinada pela extração da umidade do solo em diferentes pontos de pressão em câmaras de Richards com placa porosa (TEIXEIRA *et al.*, 2017) e posteriormente ajustada pelo modelo proposto por Genuchten (1980).

7.2.2 Determinação da Evapotranspiração Real da cultura (ET_r):

A evapotranspiração real da cultura foi obtida de duas maneiras diferentes, o primeiro método utilizado foi a determinação da ET_r por meio de parâmetros micrometeorológicos, onde o datalogger de modelo CR3000, possuía um anemômetro sônico tridimensional IRGASON da Campbell Scientific, um sensor de radiação líquida, modelo CNR4 da marca Kipp & Zonen e quatro fluxímetros para mensurar o fluxo de calor no solo, modelo HFP01-L da Campbell Scientific, a 0,4 m de profundidade, que foram utilizados para obtenção dos componentes do balanço de energia através do método das correlações turbulentas ou *Eddy Covariance* (EC), sendo esses dados processados pelo software *Eddy Pro Advanced* (V 7.0.7 - LI-COR) em suas configurações padrões, para obtenção dos valores de fluxo de calor latente (LE), consequentemente evapotranspiração real ou atual (ET_a) e o do fluxo de calor sensível (H) (BISPO, 2020).

O segundo método utilizado foi através da estimativa da necessidade hídrica da cultura, que foi realizada a partir da ET_c por meio da Equação 1, utilizando-se dados de evapotranspiração de referência (ET_o) estimadas diariamente a partir do cálculo da ET_o por Penman-Monteith parametrizado pela FAO (ALLEN *et al.*, 1998) fornecida pela estação agrometeorológica da área comercial.

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

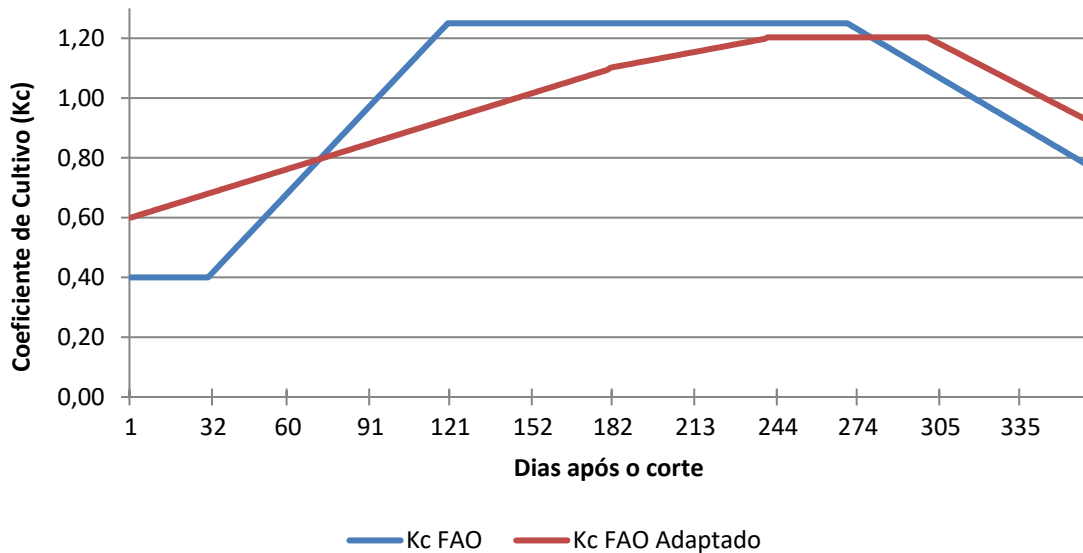
ET_c = Evapotranspiração da Cultura (mm dia⁻¹).

ET_o = Evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹).

K_c = Coeficiente de Cultura.

Os valores dos coeficientes de cultivo (K_c) utilizados no trabalho (Figura 1), foram fornecidos pela fazenda comercial, sendo estes adaptados de Allen *et al.* (1998) para a região e para cana soca, seguindo o conceito dos coeficientes de cultivo simples (K_c single) proposto por DOORENBOS e PRUITT, (1977), sendo assim denominada de K_c FAO Adaptado, enquanto o K_c proposto por Allen *et al.* (1998) foi denominado na Figura a seguir de K_c FAO.

Figura 1. Valores de coeficientes de cultivo (K_c) para cana-de-açúcar sugeridos por Allen *et al.* (1998) e adaptados para a região do Noroeste Paulista.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

A curva do K_c FAO adaptado apresenta uma divisão em quatro segmentos, sendo o primeiro correspondente a fase I (Brotação e estabelecimento da cultura), com uma variação de valores de 0,6 até 1,2 e uma duração de 180 dias, já a fase II (Estabelecimento e perfilhamento) apresenta uma duração de 60 dias e uma variação de K_c entre 1,1 e 1,2; já a fase III (Crescimento máximo) se mantém no valor máximo de K_c de 1,2 com uma duração de 60 dias, fechando assim nos 300 dias após o corte da safra anterior, enquanto a fase IV (Maturação) apresenta valores decrescentes variando de 1,2 até 0,9 durante 65 dias, fechando assim o ciclo da cultura com 365 dias (AVILEZ, 2018).

Após a determinação da ET_c , utilizou-se a mesma metodologia do balanço hídrico médio mensal desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955) e apresentado por Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002) para depreciar a evapotranspiração da cultura e assim chegar aos valores de ET_r a serem utilizados no cálculo do armazenamento de água no solo.

7.2.3 Cálculo do armazenamento de água no solo.

Tanto para o método do manejo da irrigação via solo, quanto via clima, o cálculo do armazenamento de água no solo tem início a partir da informação da capacidade de água disponível (CAD), apresentado na Equação 2 a seguir, sendo este cálculo realizado

multiplicando-se a diferença entre a umidade na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente pela profundidade efetiva do sistema radicular (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006), onde se utilizou um valor de profundidade efetiva igual a 0,6 m. No entanto, tendo em vista que por se tratar de um sistema de irrigação por gotejamento em subsuperfície, o formato do bulbo úmido deve ser levado em consideração, dessa forma a Equação 3 apresenta o cálculo do coeficiente de redução (Kr) utilizado pela unidade comercial onde on trabalho foi desenvolvido, para corrigir o valor da CAD em função do bulbo úmido.

$$CAD = (\theta_{cc} - \theta_r) \times Z \times Kr \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

θ_{cc} = Umidade do solo na capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)

θ_r = Umidade do solo no ponto de murcha permanente ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)

Z = Profundidade efetiva do sistema radicular (mm)

Kr = Coeficiente de redução

$$Kr = \frac{Abu \times Yo}{Xo \times Yo \times Zo} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

Abu = Área do bulbo úmido (m^2)

Xo = Largura do perfil de solo utilizado para avaliação do bulbo úmido (m)

Yo = Espaçamento entre emissores (m)

Zo = Profundidade efetiva do sistema radicular (m)

Dessa forma, tendo em vista que para avaliação do bulbo úmido, a largura do perfil utilizado foi de 1,0 m, sendo encontrada uma área média de bulbo úmido de $0,36 \text{ m}^2$, com espaçamento entre emissores e uma profundidade efetiva do sistema radicular de 0,6 m, obteve-se um $Kr = 0,6$ e utilizando-se os valores de θ_{cc} e θ_{cr} , obtidos pela curva de retenção de água no solo, sendo respectivamente de $0,219$ e $0,101 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$, obteve-se uma CAD de 42,48 mm. Com base neste valor, determinou-se 50% da CAD como limite crítico de armazenamento de água no solo e 125% da CAD como limite para excedente hídrico.

O armazenamento de água no solo diário foi calculado para o manejo via solo, utilizando-se a mesma equação da CAD (Equação 2), substituindo-se a umidade na capacidade de campo (θ_{cc}), pela umidade atual do solo (θ_a), sendo o mesmo cálculo utilizado para determinar o primeiro dia do armazenamento de água no solo diário para o manejo via clima, sendo os demais dias calculados subtraindo-se do armazenamento do dia anterior a ETr e somando-se a precipitação fornecida pela chuva ou pela irrigação. Na sequência os dados de

armazenamento para as diferentes formas de manejo avaliadas, foram comparadas entre si na forma de gráficos quanto aos valores de seus desvios.

7.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados climáticos e as informações referentes as safras (Tabela 1), tanto em seu período integral quanto referente ao período de avaliação, dessa forma é possível observar que a quarta safra que teve início no dia 28 de junho de 2016 e foi colhida em 27 de junho de 2017 com produtividade de 127 toneladas de colmos ha^{-1} (TCH), período com evapotranspiração de referência (ETo) de 1580 mm, precipitação de 1061 mm e irrigação de 584 mm. Já para o período de avaliação desta mesma safra, a ETo e a chuva acumuladas foram de 1189 e 876 mm respectivamente, com uma irrigação total de 500 mm.

Na quinta safra, que teve o seu ciclo com a colheita da safra anterior, foi colhida em 25 de junho de 2018, totalizando 364 dias e uma produtividade de 121 TCH, contabilizando em todo o seu ciclo uma ETo total de 1434 mm e uma precipitação de 921 mm, com uma irrigação de 560 mm. Já para o período avaliado, a evapotranspiração total foi de 1138 mm, com uma precipitação de 872 mm e 369 mm de irrigação.

Tabela 1. Comparação entre os dados climáticos da safra inteira e para o período avaliado.

| Safra | Período Avaliado | | | | Safra Inteira | | | | | | |
|-----------|------------------|------|---------------|-----------|---------------|------|---------------|-----------|------------|------------|----------------|
| | ND | ETo | Chuva (mm) | Irrigação | ND | ETo | Chuva (mm) | Irrigação | Início | Colheita | Prod. (TCH) |
| 2016/2017 | 258 | 1189 | 876 | 500 | 365 | 1580 | 1061 | 584 | 28/06/2016 | 27/06/2017 | 127 |
| 2017/2018 | 290 | 1138 | 872 | 369 | 364 | 1434 | 921 | 560 | 27/06/2017 | 25/06/2018 | 121 |

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Dessa forma é possível observar que para as duas safras avaliadas a ETo foi maior que a precipitação pluviométrica, gerando um déficit hídrico de 519 mm no primeiro ano e de 513 mm no segundo, valores superiores ao déficit médio encontrado por Santos, Hernandez e Rossetti (2010), que avaliando o balanço hídrico na mesma região do noroeste paulista, encontraram um déficit médio de 310 mm. Sendo que em ambos os períodos a lâmina de irrigação fornecida foi superior ao déficit hídrico, porém estes valores não são capazes de informar se houve ou não deficiência hídrica para a cultura da cana de açúcar neste mesmo período, pois estes valores de evapotranspiração são de referência e não da cultura, tendo em

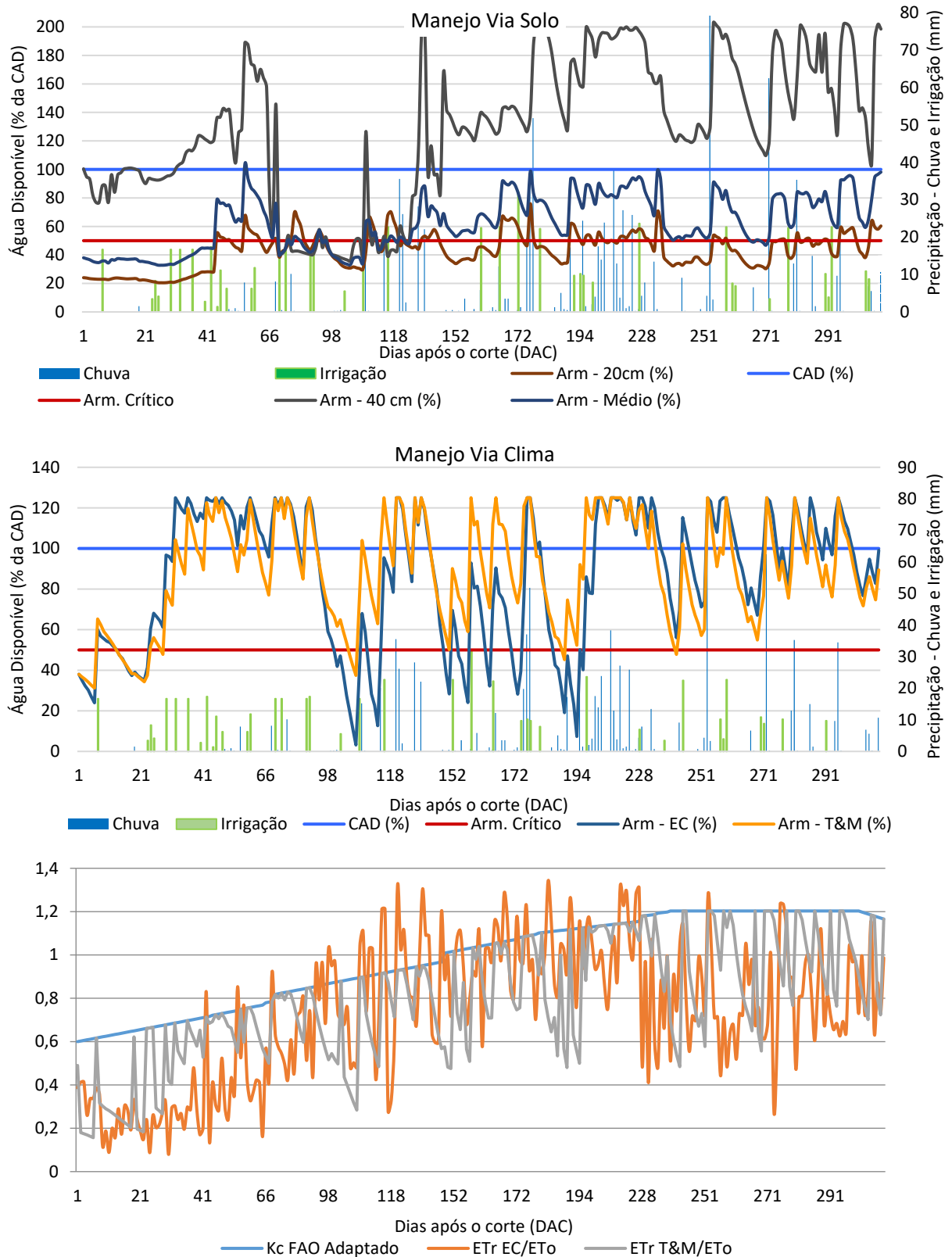
vista ainda que os dados informados não levam em consideração o período do ano, onde pontualmente pode-se ter ocorrido tanto déficit quanto excedente hídrico.

Na Figura 2 é possível observar ao longo de todo o período de avaliação da safra de 2016/2017 que ocorreu até o 291º dia após o corte da safra anterior (DAC), o armazenamento de água no solo estimado pelo manejo via solo e pelo manejo via clima, além das relações E_{Tr}/E_{To} e $E_{Tr}/T\&M/E_{To}$ que representam a proporção da E_{Tr} em relação da E_{To} e que em condições hídricas sem restrições, devem ser equivalentes aos valores de K_c utilizados pela cada fase da cultura, demonstrando assim se estes valores estão coerentes com a demanda hídrica da cultura ou se a cultura passou por algum déficit hídrico ao longo do seu desenvolvimento.

Dessa forma é possível observar na Figura 2 em relação ao manejo via solo, onde o armazenamento de água no solo é estimado pelos sensores a 0,2 e 0,4 m de profundidade e a média entre eles, que com exceção do período entre 66º e 118º DAC, onde todos os dados demonstram um déficit hídrico, nos demais períodos observa-se uma discrepância entre os dois sensores, sendo que o sensor a 0,4 m de profundidade apresenta sempre em sua maior parte, valores de armazenamento acima do limite de 100% da CAD que é considerado o máximo de armazenamento desejado no manejo da irrigação, assim como dos 125% da CAD que foi o limite considerado por este trabalho para determinação do excedente hídrico.

Já o sensor enterrado a 0,2 m, apresenta na maior parte do tempo, um armazenamento abaixo de 50% da CAD, identificado como armazenamento crítico, ou seja, abaixo da disponibilidade de água ideal para a cultura. Já o armazenamento calculado com a média dos dois sensores, se manteve durante quase todo o ciclo de avaliação dentro da faixa desejada de manejo, sendo os valores de armazenamento mais coerentes com os obtidos pelo manejo via clima, onde os valores se mostraram muito próximos, tanto quando foram obtidos a partir da transformação da E_{Tc} em evapotranspiração real (E_{Tr}) pelo método de Thornthwaite e Mather (Arm - T&M), quanto pela utilização da E_{Tr} obtida pelo *Eddy Covariance* (Arm - EC), com exceção do período entre 108º e 194º DAC, onde os maiores valores da E_{Tr} obtidas pelo EC, provocaram uma permanência maior na zona de déficit hídrico.

Figura 2. Armazenamento (Arm) de água no solo para os manejos “via Solo” e “via Clima” e relações $E_{Tr} EC/E_{To}$, $E_{T\&M}/E_{To}$ e K_c FAO Adaptado na safra 2016/2017.



Arm: Armazenamento, CAD: Capacidade de água disponível, EC: *Eddy Covariance*, T&M: Thorthwaite e Mather, Kc: Coeficiente de cultura, E_{Tr}: Evapotranspiração real, E_{To}: Evapotranspiração de referência.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em comparação aos métodos utilizados para estimativa da ETr, é possível observar ainda na Figura 2, que a relação ETr T&W/ETo, apresentou valores sempre abaixo dos valores de Kc FAO adaptado, devido ao fato dessa metodologia adotar a ETc como valor máximo da ETr. Enquanto a relação ETr EC/ETo apresentou até o 41º DAC valores abaixo da relação ETr T&W/ETo e que em nenhum momento atingiram a curva do Kc FAO adaptado, demonstrando coerência com os dados de umidade do solo para o armazenamento calculado com sensor a 0,2 m de profundidade e o armazenamento médio, que permaneceram abaixo do crítico para o mesmo período, mesmo após o início das irrigações.

Comportamento este semelhante ao encontrado por Bispo (2020) e Avilez *et al.* (2020) que utilizando o algoritmo *Surface Energy Balance Algorithm for Land* - SEBAL (TEIXEIRA *et al.*, 2009; FEITOSA *et al.*, 2016) para estimativa da relação ETr/ETo na mesma área e período deste trabalho, encontraram valores abaixo do esperado e justificado por Avilez (2018) que demonstrou que o sistema de irrigação desta mesma unidade comercial, possui uma lâmina máxima de 3,3 mm dia⁻¹, inferior a lâmina média de projeto recomendada de 4,1 mm dia⁻¹ segundo o autor.

Já entre o 91º e o 228º DAC, a relação ETr EC/ETo apresentou valores superiores em comparação a relação ETr T&W/ETo, sendo que neste período foram registrados 712 mm de chuva, o que corresponde a 81% do total para o período de avaliação, reforçando a observação feita no parágrafo anterior, de que a diferença entre as duas relações foi proporcionada principalmente pelo déficit hídrico. Já em comparação a curva do Kc FAO adaptado, os valores superiores da relação ETr EC/ETo demonstram que a cultura atingiu nesta safra valores máximos de demanda hídrica antes dos 240 DAC como vem sendo adotado pela unidade comercial onde o experimento foi realizado, estando estes resultados mais coerentes com os valores de Kc propostos por Allen *et al.* (1998).

Avaliando o período seguinte, observa-se que a partir do 228º DAC a relação ETr EC/ETo voltou a apresentar valores abaixo da relação ETr T&W/ETo, ultrapassando a curva do Kc FAO adaptado apenas após duas chuvas de 79 e 62 mm respectivamente, porém como o mesmo comportamento não se repete após chuvas superiores a 30 mm e o armazenamento de água no solo obtido pelo manejo via clima e manejo via solo, com exceção ao obtido pelo sensor a 0,2 m de profundidade, indicam que o armazenamento está acima do considerado crítico, reforça-se a observação dos resultados demonstrarem maior semelhança com o Kc FAO, onde os valores para este período são menores que para o Kc FAO adaptado.

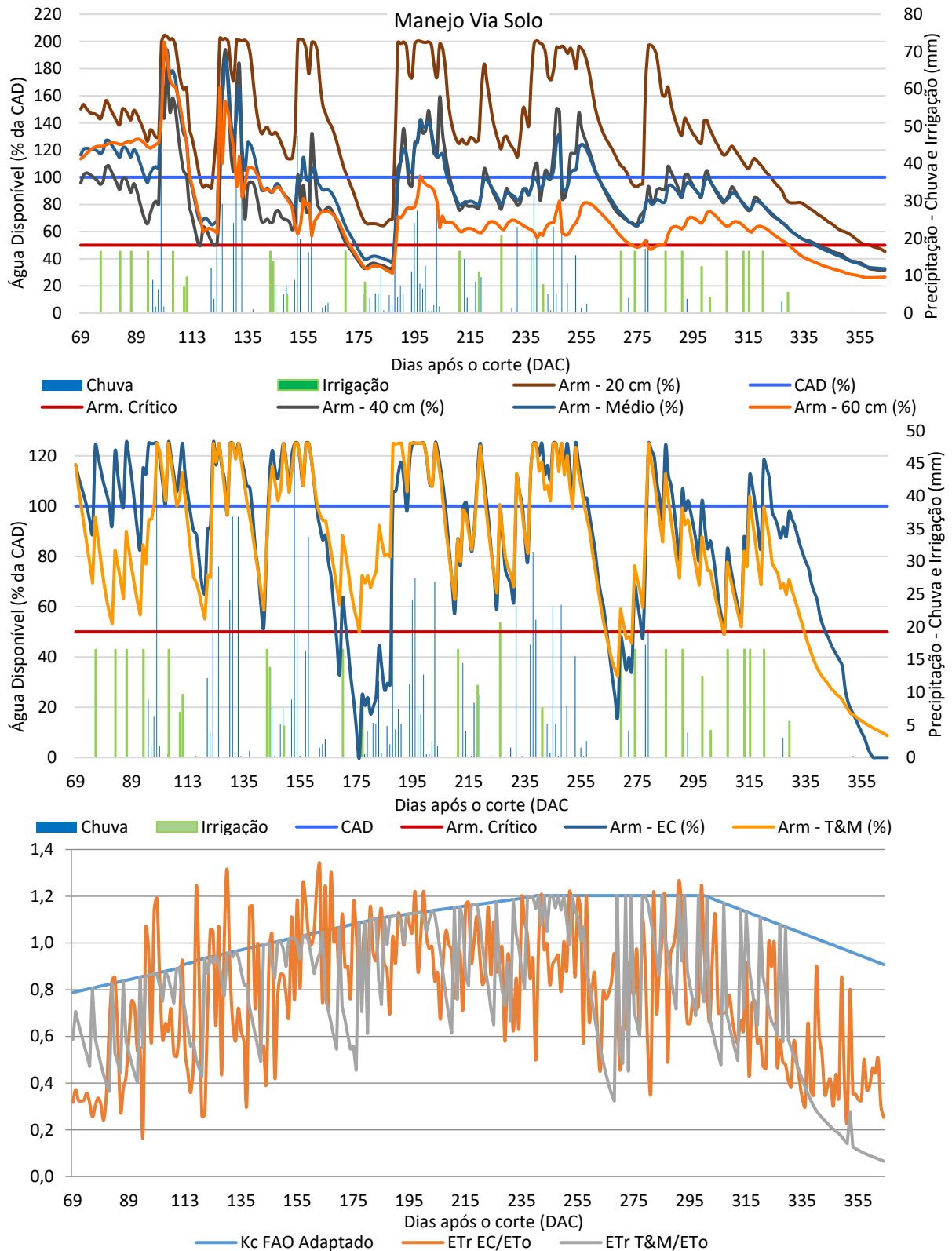
Na quinta safra (2017/2018) é possível observar na Figura 3 que após a troca do sensor a 0,2 m de profundidade e a adição do sensor a 0,6 m, o comportamento do novo sensor a 0,2

m se mostrou completamente diferente ao ano anterior, permanecendo por quase todo o período avaliado com armazenamento de água acima de 100% da CAD. Oposto a esse comportamento, o sensor que foi adicionado na profundidade de 0,6 m, foi o que apresentou o menor armazenamento em quase todo o período, sendo o único a entrar no limite crítico nos mesmos períodos indicados pelo armazenamento obtido pelo EC.

Já os armazenamentos obtidos pelo Watermark instalado á 0,4 m e pela média entre os três sensores, mantiveram valores extremamente semelhantes já a partir das primeiras chuvas registradas, apresentando comportamento muito semelhantes ao armazenamento obtido via clima, onde tanto o armazenamento obtido a partir dos dados de ETr pelo método do EC , quanto por T&M oscilaram ao longo do período avaliado entre 50 e 125% da CAD, com exceção de três momentos, sendo o primeiro aos 175° DAC, sendo antecedido por 18 dias sem chuva maior que 10 mm e com apenas uma irrigação de 16 mm, e o segundo período aos 270° DAC, sendo este antecedido por 15 dias sem registo de chuva maior que 10 mm e sem nenhuma irrigação, já terceiro momento de déficit hídrico ocorreu no final do ciclo quando não houve mais a ocorrência de chuvas e a irrigação já havia sido suspensa.

Ainda na Figura 3 é possível observar que os dados da relação ETr EC/ETo, começa a ultrapassar frequentemente a curva do Kc FAO adaptado já a partir do 95° DAC, período muito semelhante ao observado na safra anterior, deixando de ultrapassar com frequência a linha do Kc utilizado já a partir do 200° DAC, indicando mais uma vez a necessidade de ajuste dos valores dos coeficientes de cultura utilizados.

Figura 3. Armazenamento de água no solo para os manejos “via Solo” e “via Clima” e relações $E_{Tr} EC/E_{To}$, $E_{Tr} T\&M/E_{To}$ e K_c FAO Adaptado na safra 2017/2018.



Arm: Armazenamento, CAD: Capacidade de água disponível, EC: *Eddy Covariance*, T&M: Thorthwaite e Mather, K_c : Coeficiente de cultura, E_{Tr} : Evapotranspiração real, E_{To} : Evapotranspiração de referência.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Na Tabela 2 a seguir, é possível observar o número de dias onde houve a ocorrência de excedente ou déficit hídrico tanto para o manejo via solo quanto via clima, para as duas safras avaliadas, sendo possível observar que para a primeira safra não houve nenhuma similaridade entre os valores obtidos pelo manejo via clima e via solo, resultado ocorrido devido aos valores extremos dos sensores a 0,2 e 0,4 m de profundidade, onde o primeiro apresentou 0 dias de excedente hídrico e 174 dias de déficit, contra 141 dias de excedente e 31 dias de déficit do segundo sensor, sendo que apenas os valores obtidos a partir da média entre os sensores apresentou um valor relativamente próximo aos dados obtidos pelo manejo via clima, com 77 dias de déficit hídrico e 0 dias de excedente.

Tabela 2. Comparação dos dias de excedente e déficit hídrico para os manejos via solo e via clima nas safras de 2016/2017 e 2017/2018.

| Estimativa ETr | Safra 2016/2017 | | Safra 2017/2018 | |
|------------------|-------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| | Manejo Via Clima (Dias) | | | |
| | Excedente Hídrico | Déficit Hídrico | Excedente Hídrico | Déficit Hídrico |
| ETC_FAO_TW | 27 | 22 | 28 | 10 |
| ETC_EC | 32 | 50 | 32 | 52 |
| Profundidade (m) | Manejo Via Solo (Dias) | | | |
| | Excedente Hídrico | Déficit Hídrico | Excedente Hídrico | Déficit Hídrico |
| 0.2 | 0 | 174 | 178 | 6 |
| 0.4 | 141 | 31 | 28 | 43 |
| 0.6 | - | - | 24 | 59 |
| Média | 0 | 77 | 29 | 40 |

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Esses valores extremos encontrados expressam a importância de não se trabalhar com apenas um único sensor de potencial matricial por profundidade para o manejo de irrigação, pois em casos de valores extremos como os obtidos no primeiro ano de avaliação, um número maior de dados proporcionaria a possibilidade da exclusão dos dados discrepantes e assim uma melhor representação da área, recomendando-se assim pelo menos três sensores para cada profundidade em áreas homogêneas (AZEVEDO; SILVA, 1999), recomendação esta que não foi seguida no presente trabalho devido ao número insuficiente de sensores. Outro ponto importante que também pode representar uma fonte de erro neste presente trabalho, é a ausência de calibração dos dados de umidade do solo estimados pela curva de retenção de água no solo a partir dos dados de potencial matricial dos sensores, com a umidade direta medida a partir do método da estufa, que é tido como o método padrão para medição direta da umidade do solo (ALBUQUERQUE; DURÃES, 2008; BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006)

Já na segunda safra, os valores de excedente hídrico foram muito semelhantes entre os dois métodos utilizados no manejo via clima e para os dados obtidos a partir dos sensores a 0,4 e 0,6 metros de profundidade e a média geral entre todos os sensores, havendo discrepância apenas com os valores encontrados no sensor mais superficial. Já para o déficit hídrico houve uma variação maior entre o armazenamento obtido pelo EC com 52 dias e o método de Thornthwaite e Mather com 10 dias, sendo que o primeiro valor ficou mais próximo ao encontrado pelo Watermark a 0,2 m de profundidade e o segundo sendo semelhante aos demais valores obtidos pelos dados de solo.

Na sequência são apresentados os dados da Tabela 3, com as médias das diferenças absolutas entre os armazenamentos de água obtidos pelos métodos via solo e via clima, onde é possível observar que para o primeiro ano avaliado, os dados de armazenamento obtidos pela média dos sensores foi o que apresentou a menor diferença em comparação aos dados obtidos pelo manejo via clima, com uma diferença média de 28 e 32% em relação método de Thornthwaite e Mather e ao método do *Eddy Covariance*.

Tabela 3. Desvios da porcentagem de armazenamento de água no solo entre os manejos via solo e via clima nas safras de 2016/2017 e 2017/2018.

| Safra | Arm-20 cm | Arm-20 | Arm-40 | Arm-40 | Arm-60 | Arm-60 | Arm-Médio | Arm-Médio |
|-----------|-----------|-----------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-----------|--------------|
| | - Arm-T&M | cm - Arm-ETr-EC | cm - Arm-T&M | cm - Arm-EC | cm - Arm-T&M | cm - Arm-EC | - Arm-T&M | - Arm-ETr-EC |
| 2016/2017 | 45 | 46 | 56 | 56 | - | - | 28 | 32 |
| 2017/2018 | 54 | 51 | 21 | 21 | 30 | 28 | 21 | 20 |

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Já na segunda safra avaliada a menor diferença média foi novamente encontrada entre o armazenamento obtido pela média dos sensores e o EC com 20% de diferença, seguido pela diferença entre a média dos sensores de solo e o método de T&M e o armazenamento encontrado pelo sensor a 0,4 m de profundidade e os dois métodos via clima, com uma variação média de 21%.

Estes resultados demonstram que existe uma grande coerência entre os dados de armazenamento de água no solo obtidos a partir dos dados de potencial matricial de água no solo, onde os melhores resultados são obtidos com o sensor a 0,4 m de profundidade ou com a média entre sensores em mais de uma profundidade.

7.4 CONCLUSÃO

O manejo da irrigação a partir dos dados de umidade do solo, utilizando-se sensores de potencial matricial do solo (Watermark), se mostrou eficiente em comparação ao manejo realizado com os dados de evapotranspiração da cultura.

Para um melhor resultado do manejo da irrigação via solo, deve-se utilizar sensores instalados preferencialmente em três profundidades, sendo elas a 0,2; 0,4 e 0,6 metros ou a 0,2 e a 0,4 metros quando não se dispõem de sensores suficientes, ou até mesmo na profundidade única de 0,4 m.

Recomenda-se uma reavaliação dos valores de Kc utilizados pela unidade comercial produtora de cana-de-açúcar, onde o trabalho foi desenvolvido.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília, DF: Ed. da ANA, 2021.

ALBUQUERQUE, P. E. P. de.; DURÃES, F. O. M. (ed.). **Uso e manejo de irrigação**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 297p. Irrigation and Drainage, Paper 56.

AVILEZ, A. M. A. **Determinação do coeficiente de cultura “Kc” na cultura da cana de açúcar com imagens landsat utilizando o modelo safer no noroeste paulista, Brasil**. 2018. Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2018.

Disponível em:

https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/fitossanidadeengenhariaruralesolos715/irrigacao5868/alberto_arroyo_dissertacao_final.pdf. Acesso em: 16 jan. 2021.

AVILEZ, A. M. A.; HERNANDEZ, F.B.T.; BISPO, R.C.; GIOVANELLI, L.B. Necessidade hídrica da cana-de-açúcar no noroeste paulista. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 171-188, 2018. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.15809/irriga.2018v1n1p171-188>

AVILEZ, A. M. A.; HERNANDEZ, F. B. T.; GALVÃO, I. M.; CASTRO, T. A. H.

Determinação dos coeficientes de cultivo e a evapotranspiração real da cana-de-açúcar com o uso do modelo SAFER. **Agrometeoros**, Piracicaba, v. 28, n. 2015, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.31062/agrom.v28.e026831>. Acesso em: 22 jan. 2022.

AZEVEDO, J. A.; SILVA, E. M. **Tensiômetro: dispositivo prático para controle da irrigação**. Planaltina, 1999. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/76016/1/cirtec-01.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2021.

- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. Viçosa: Ed. da UFV, 2006.
- BISCARO, G. A. **Sistemas de irrigação por aspersão**. Dourados: Ed. da UFGD, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/2434/1/sistemas-de-irrigacao-por-aspersao.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2022.
- BISPO, R. de C. **Medições e modelagem da evapotranspiração em cana-de-açúcar no noroeste paulista**. 2020. 94 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/193298>. Acesso em: 13 nov. 2021.
- BISPO, R. de C.; HERNANDEZ, F. B. T.; TEIXEIRA, A. H. de C. Balanço hídrico e estimativa do consumo relativo de água da cultura da cana-de-açúcar na região noroeste paulista. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 94-101, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.15809/irriga.2017v1n1p94-101>. Acesso em: 22 jan. 2022.
- DALRI, A. B.; CRUZ, R. L.; GARCIA, C. J. B.; DUENHAS, L. H. Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade de cana-de-açúcar. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 1, p. 1-11, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.15809/irriga.2008v13n1p1-11>. Acesso em: 24 jan. 2022.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, J. O. **Crop water requirement**. Rome: FAO, 1977. 144 p. Irrigation and Drainage Paper, 24.
- FEITOSA, D. G.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M.; TEIXEIRA, A. H. C.; NEALE, C. M. Energy balance in the watershed of Ipê, Northwestern São Paulo State, Brazil. *In:* , 2016. **Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering.**, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1117/12.2242137>. Acesso em: 19 abr. 2021.
- GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980. Disponível em: http://people.ucalgary.ca/~hayashi/glgy607/reading/van_Genuchten1980.pdf. Acesso em: 9 mar. 2019.
- LOPES SOBRINHO, O. P.; SILVA, G. S.; PEREIRA, A. I. S.; SOUSA, A. B.; CASTRO JÚNIOR, W. L.; SANTOS, L. N. S. A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e o manejo da irrigação. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 12, n. 4, p. 1605-1625, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n4p1605-1625>. Acesso em: 22 jan. 2022.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.
- SANTOS, G.O.; HERNANDEZ, F.B.T.; ROSSETTI, J.C. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 4, p. 142-149, 2010.

TEIXEIRA, A. H. C.; BASTIAANSEN, W. G. M.; AHMAD, M. D.; BOS, M. G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil Part A: calibration and validation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 149, p. 477-490, 2009.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. 574 p.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O manejo da irrigação por meio do monitoramento da umidade do solo em uma cultura da cana soca se mostrou satisfatório em comparação com o uso da ETr, devendo, no entanto, se tomar vários cuidados para se obter as informações adequadas a serem utilizadas nos cálculos.

O manejo da irrigação por meio da umidade do solo, na cultura da cana soca em latossolo franco arenoso foi satisfatório em comparação com o uso da evapotranspiração, mas alguns cuidados precisam ser tomados na obtenção das informações a serem utilizadas nos cálculos

Para se utilizar sensores de potencial matricial como o Watermark, é fundamental a coleta adequada de amostras de solo para obtenção da curva de retenção, recomendando-se a coleta de pelo menos três amostras na profundidade entre 0,4 e 0,6 m dentro de uma área homogênea.

O uso de sensores de potencial matricial depende de uma coleta adequada das amostras de solo para obtenção da curva de retenção, recomenda-se a coleta de ao menos 3 amostras na profundidade de 0,4 a 0,6 m dentro de uma área de solo homogêneo.

Considerando-se um sistema de irrigação por gotejamento em subsuperfície, as informações de profundidade efetiva do sistema radicular da cultura e a área do bulbo úmido, são fundamentais para o correto cálculo da CAD, sendo encontrados para o local de estudo, os valores de PESR de 0,6 m e área de bulbo úmido de 0,36 m², proporcionando uma redução da CAD para 60% do valor que seria considerado em uma irrigação por aspersão.

Para uma melhor representação da umidade do solo, é recomendada a instalação de pelo menos um sensor de umidade do solo a 0,4 m de distância lateral da linha de gotejamento e a 0,4 m de profundidade, ou quando possível o uso de outros sensores a 0,2 e 0,6 m de profundidade na mesma distância da linha de irrigação.

Recomenda-se que os resultados obtidos no presente trabalho sejam utilizados para realização do manejo da irrigação em um próximo trabalho a efeito de validação.