

MARCELO SCHULER DE MELO FILHO

**UNIFORMIDADE DA IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO NA CULTURA DA
CANA-DE-AÇÚCAR EM DOIS ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO**

RECIFE
2015

MARCELO SCHULER DE MELO FILHO

**UNIFORMIDADE DA IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO NA CULTURA DA
CANA-DE-AÇÚCAR EM DOIS ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFRPE, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Manassés Mesquita da Silva

RECIFE
2015

Ficha catalográfica

M528u Melo Filho, Marcelo Schuler de
Uniformidade da irrigação por aspersão na cultura da
cana-de-açúcar em dois estádios de desenvolvimento /
Marcelo Schuler de Melo Filho. – Recife, 2015.
51 f. : il.

Orientador: Manassés Mesquita da Silva.
Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de
Engenharia Agrícola, Recife, 2015.
Referências.

1. Saccharum spp. 2. Irrigação pressurizada 3. Eficiência
de irrigação I. Silva, Manassés Mesquita da, orientador
II. Título

CDD 630

MARCELO SCHULER DE MELO FILHO

**UNIFORMIDADE DA IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO NA CULTURA DA
CANA-DE-AÇÚCAR EM DOIS ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO**

Orientador:

Prof. Manassés Mesquita da Silva, D.Sc.
UFRPE/DEAGRI

Examinadores:

Prof. Ênio Farias de França e Silva, D.Sc.
UFRPE/DEAGRI

Profa. Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida, D.Sc.
UFRPE/CODAI

Prof. José Dantas Neto, D.Sc.
UFCG/CTRN/UEA

*Aos meus pais, Alcione
Barbosa Ribeiro de Melo e
Marcelo Schuler de Melo (in
memorian) pelo exemplo.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal Rural de Pernambuco, através do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola que me permitiu avançar mais essa etapa profissional.

A Capes pela concessão da bolsa.

Agradeço a Deus por tudo alcançado até o momento, pelo aprendizado da caminhada, e pelas pessoas colocadas durante a jornada, pela esperança renovada a cada dia nos momentos de percalço.

Agradeço a Alcione Barbosa Ribeiro de Melo e Marcelo Schuler de Melo (*in memorian*) pela educação e ensinamentos diários de dignidade, pelo exemplo de pessoas e pelo encorajamento nos momentos difíceis e, sobretudo, por serem meus pais.

Agradeço a Fabiana Schuler Ribeiro de Melo

Agradeço aos familiares que sempre estiveram por perto para trazer paz e confortar, também por serem exemplos de pessoas.

Agradeço aos conhecidos, colegas e amigos, que durante todo o processo de alguma maneira me influenciaram e me ajudaram.

A José Leonildo pela cooperação nas análises de laboratório, muito obrigado pelos ensinamentos.

Agradeço a Sheila da Silva Brandão, por toda ajuda ofertada em todo o processo de pesquisa, meu mais profundo agradecimento.

Agradeço ao professor e orientador Manassés Mesquita da Silva pela orientação fornecida em todas as etapas da pesquisa.

Aos colegas, estagiários e amigos que se colocaram em campo para que a pesquisa pudesse ser realizada, a essas pessoas devo dizer que sem elas nada poderia ter acontecido: Agnes Camila Nascimento da Fonseca, Eduardo Espindola, Itammar Augusto de Souza Rodrigues, Symone Falcão, Kelly Nayara, Danilo, Júlio, Evanilson.

Aos professores do programa que contribuíram para que eu chegasse até aqui.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Análises físicas de densidade, granulometria e umidade do solo na capacidade de campo e ponto de murcha permanente. Carpina-PE, 2014.....	26
Figura 2. Valores de pressão e vazão do aspersor Plona KS 1500.....	27
Figura 3. Aspersor instalado na área com o tripé, aspersor em funcionamento e sendo aferida a pressão no bocal de saída. Carpina-PE, 2014.....	28
Figura 4. Localização dos coletores e pontos de coleta de umidade.	29
Figura 5. Sonda TDR modelo HS2 Hydrosense II.	30
Figura 6. Calibração da sonda TDR para as condições do solo da área experimental. ...	30
Figura 7. Aferição da umidade do solo antes e após a irrigação. Carpina-PE, 2014.....	31
Figura 8. Área experimental com cana baixa em primeiro plano e cana alta em segundo plano. Carpina-PE, 2014.....	32
Figura 9. Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para lâmina precipitada nas diferentes simulações de espaçamentos para cana baixa e cana alta. Carpina-PE, 2014.	36
Figura 10. Coeficiente de uniformidade (CUD) para lâmina precipitada nas diferentes simulações de espaçamentos para cana baixa e cana alta. Carpina-PE, 2014.	36
Figura 11. Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para lâmina armazenada nas diferentes simulações de espaçamentos para cana baixa e cana alta.....	37
Figura 12. Coeficiente de uniformidade (CUD) para lâmina armazenada nas diferentes simulações de espaçamentos para cana baixa e cana alta.....	38
Figura 13. Coeficiente de uniformidade (CUC) para cana baixa nas diferentes simulações de espaçamentos considerando lâmina precipitada e armazenada.....	39
Figura 14. Coeficiente de uniformidade (CUD) para cana baixa nas diferentes simulações de espaçamentos considerando lâmina precipitada e armazenada.....	39
Figura 15. Coeficiente de uniformidade (CUC) para cana alta nas diferentes simulações de espaçamentos considerando lâmina precipitada e armazenada.	40
Figura 16. Coeficiente de uniformidade (CUD) para cana alta nas diferentes simulações de espaçamentos considerando lâmina precipitada e armazenada.	40
Figura 17. Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para redistribuição de água no solo.	42
Figura 18. Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) para redistribuição de água no solo.	42
Figura 19. Média de lâmina precipitada para cana baixa e cana alta nos diferentes espaçamentos entre aspersores.	44
Figura 20. Média de lâmina armazenada no solo para cana baixa e cana alta nos diferentes espaçamentos entre aspersores.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características físicas do solo da área experimental. Carpina-PE, 2014.....	26
Tabela 2. Valores classificação de sistemas de irrigação por aspersão com base nos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD).....	32
Tabela 3. Coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD) para água precipitada nos estádios de desenvolvimento de cana baixa e cana alta.....	33
Tabela 4. Coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD) para água armazenada de 0-0,12 m nos estádios de desenvolvimento de cana baixa e cana alta.	34
Tabela 5. Coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD) para redistribuição de água no solo nos estádios de desenvolvimento de cana baixa e cana alta. Carpina-PE, 2014.	41

SUMÁRIO

RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 Cultura da Cana-de-Açúcar	15
2.2 Irrigação	18
2.2.1 Recursos Hídricos e Uso da Água.....	18
2.2.2 Agricultura Irrigada.....	19
2.2.3 Irrigação por Aspersão	19
2.2.4 Coeficientes de Uniformidade de distribuição de água.....	20
2.2 Reflectometria no domínio do tempo - TDR.....	22
2.4 Redistribuição de umidade no Solo	23
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 Área Experimental	25
3.2 Parâmetros do Solo	25
3.3 Sistema de irrigação.....	26
3.4 Monitoramento das Condições de Tempo	27
3.5 Lâmina coletada	27
3.6 Umidade do solo	29
3.7 Variáveis analisadas.....	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5 CONCLUSÕES	45
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

RESUMO

MELO FILHO, Marcelo Schuler de. **Uniformidade da irrigação por aspersão na cultura da cana-de-açúcar em dois estádios de desenvolvimento.** 2015. 51f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

Desenvolveu-se o presente trabalho com o objetivo de avaliar o efeito de dois estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar nas características de distribuição de água aplicada por um sistema de irrigação por aspersão convencional acima e abaixo da superfície do solo. O Experimento foi conduzido em campo na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina (EECAC) no período de outubro a novembro de 2014. Utilizou-se uma área cultivada com cana soca em dois estádios de desenvolvimento (cana baixa e cana alta, respectivamente, com 100 e 360 dias após a colheita). O aspersor foi posicionado no meio da área cujas medidas aproximadas são de 44 x 44 m, sendo metade da área ocupada por cana baixa e a outra metade por cana alta. Foram marcados de maneira simétrica em torno do aspersor, pontos para aferição da precipitação bem como da umidade do solo, antes e depois da irrigação, constituindo-se numa malha regular de 4 x 4 m. Para simulação de diferentes espaçamentos entre aspersores utilizou-se o software Catch 3D. Foram determinados o Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), coeficiente de uniformidade (CUD), lâmina média precipitada e lâmina média armazenada, considerando os dois estádios de desenvolvimento da cultura. Observou-se ao final do experimento que a uniformidade de distribuição de precipitação em cana baixa foi maior que a observada em cana alta. Não houve diferença entre a uniformidade de armazenamento de água no solo e precipitação para área plantada com cana alta. As quantidades de água armazenada no solo e precipitada são equivalentes para cana alta.

Palavras-chave: *Saccharum spp*, Irrigação pressurizada, Eficiência de irrigação

ABSTRACT

MELO FILHO, Marcelo Schuler de. **Uniformity of sprinkler irrigation in the culture of cane sugar in two development stages.** 2015. 51f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

The aim of this work was evaluated the effect of two sugar cane development stages on the water distribution characteristics above and underneath the soil surface. The experiment was carried out in field at the Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina (EECAC) from October to November, 2014. It was used a cultivated area with sugar cane ratoon in two stages of development (low cane and high cane, respectively, with 100 and 360 days after the first harvest). The sprinkler was located in the middle of the area whose approximate measures are 44 x 44 meters, being half of the area occupied by low cane and the other half by high cane. It was marked in a symmetric way around the sprinkler, spots to measure the precipitated depth, as well as the soil moisture, before and after the irrigation, forming in a regular grid of 4 x 4 meters. To simulated different spacings among the sprinklers it was used the Catch 3D software. The Christiansen uniformity coefficient (CUC) and distribution uniformity coefficient (CUD), the average precipitated depth and the average infiltrated depth were determined, considering the two development stages of the culture. It was observed at the end of the experiment that the uniformity of precipitation distribution in low cane was bigger than that observed in high cane. There was no difference between the infiltration and precipitation uniformity for the high cane. The infiltrated and precipitated depth are equivalent to the high cane.

Keywords: *Saccharum spp*, pressurized irrigation, irrigation efficiency

1 INTRODUÇÃO

A prática da irrigação se tornou fundamental para obtenção de bons índices de produtividade em campo, além disso, a possibilidade de fornecer água artificialmente à planta permite a produção ao longo de todo o ano. Apesar desta prática permitir a geração de alimentos e ter impacto social e econômico importante, o uso da água deve ser racionalizado, pois a água é um recurso caro e finito. Enquanto algumas populações sofrem com a falta de água para as atividades mais comuns e básicas do ser humano, outras utilizam a água de forma inadequada. O emprego correto da água, seja na agricultura, no abastecimento urbano ou na indústria deve ocupar lugar de destaque na gestão dos recursos hídricos, priorizando o uso eficiente e encontrando maneiras de reduzir sua utilização, é necessário criar mecanismos que possibilitem economizar a água.

A irrigação é um fator muito importante para a produção agrícola, porém, na maioria das propriedades onde essa atividade é realizada, seu emprego não é feito de maneira correta, desde o dimensionamento até a instalação e operação dos sistemas de irrigação, muitas falhas são observadas, comprometendo o sistema. Dessa maneira, a água é desperdiçada cada vez mais, provocando uma agricultura inviável e estabelecendo um círculo insustentável, já que além de perda, a água em excesso prejudica o desenvolvimento da planta.

A melhor maneira de realizar corretamente a irrigação é dimensionando o sistema com base nas características do cultivo, após o dimensionamento o sistema deve ser avaliado para confirmar se o mesmo está operando de acordo com as características de projeto, a partir dali realizar os ajustes necessários. Outro fator impactante na irrigação é o manejo, o manejo adequado irá garantir uma irrigação equilibrada, seja via solo ou via atmosfera, o manejo é fundamental para garantir que a irrigação esteja suprimindo as reais necessidades da planta.

A irrigação por aspersão apresenta muitas vantagens, se comparada com outros tipos de irrigação, a depender principalmente das condições de relevo e da cultura, entretanto, para obter um bom desempenho do sistema, é necessário o seu contínuo monitoramento. Para Bernardo et al. (2006), nesse sistema, a qualidade da irrigação é avaliada e quantificada em termos de eficiência de distribuição a partir de dois principais coeficientes, o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD). Quantificando esses coeficientes, é possível inferir se o sistema está operando de forma adequada ou não, sendo possível

promover alterações no sistema e agregando qualidade à irrigação e maior economia dos insumos envolvidos.

No momento do dimensionamento, alguns parâmetros são considerados para a escolha do espaçamento entre os aspersores, entre eles, a eficiência de aplicação de água na superfície do solo é bastante determinante desse espaçamento, porém, o uso dessa eficiência como parâmetro pode ser considerada arbitrária.

A planta consome a água presente do volume de solo, ou seja, a água que está no perfil do solo, logo, quando se objetiva um projeto com manejo eficiente e econômico de água, é necessário entender como a água se comporta no interior deste para posteriores decisões.

Segundo Reichardt (1985), a tendência espontânea e universal de toda a matéria na natureza, é assumir um estado de energia mínima, a água obedecendo a esse conceito, move-se constantemente no sentido da diminuição de seu potencial, promovendo, uma redistribuição de umidade no perfil do solo. Dessa maneira, e dependendo do teor de água no volume do solo, essa água não obedece apenas o potencial gravitacional, mas ela responde ao gradiente de energia em que se encontra naquele momento, movimentando-se então para todos os lados, assim se redistribuindo e alcançando maior área, estando mais disponível para o sistema radicular da planta.

Apesar dos avanços em relação à uniformidade de precipitação e infiltração de água no perfil do solo, ainda carece de pesquisas sobre a redistribuição e uniformidade de armazenamento da água no perfil do solo com a presença da cultura em pleno desenvolvimento. Diante do exposto, pretende-se, por meio da presente pesquisa, avaliar a característica de distribuição de água no solo através da lâmina precipitada e armazenada e também a redistribuição de umidade no solo aplicada por um sistema de irrigação por aspersão convencional, considerando duas diferentes fases de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura da Cana-de-Açúcar

Segundo Mozambini et al. (2006) a cultura da cana-de-açúcar tem como centro de origem a ilha de Nova Guiné no sudoeste do Oceano Pacífico. No Brasil, a cana foi trazida do território português Ilha da Madeira no ano de 1533, por Martin Afonso de Souza, e introduzida na Capitania de São Vicente (SP), naquela localidade ocorreu a instalação do primeiro engenho para a produção de açúcar, o clima tropical e as boas condições de solo garantiram a fixação da cultura na região e permitiu sua expansão para outras localidades.

Segundo a classificação de Cronquist (1988), a cana de Açúcar é uma cultura pertencente ao Reino Vegetal, Divisão Magnoliophyta, Classe Liliopsida (Monocotiledônea), Família Poacea (Gramínea), e Gênero *Saccharum*, sendo as variedades de híbrido multiespecíficos com designação *Saccharum spp* plantadas comercialmente (MATSUOKA et al., 1999).

É uma das plantas com maior eficiência fotossintética, sendo uma cultura C4 de alto rendimento de matéria verde, energia e fibras (SAMPAIO et al., 1995).

As raízes da cana-de-açúcar são fasciculadas, características de plantas monocotiledôneas, podendo atingir até 4 metros de profundidade, entretanto, 80% se concentram na camada superficial do solo, essa maior profundidade irá ser influenciada pelos fatores água e solo (MONTE, 2004).

As raízes possuem características diferentes em culturas como a cana-de-açúcar. Por se tratar de uma cultura semi-perene onde os cortes são sucessivos de acordo com a colheita geralmente anual, a partir do corte da planta, o sistema radicular antigo se mantém em atividade por algum tempo, porém, gradativamente é substituído por novas raízes da soqueira, sendo esse sistema radicular mais superficial, pois os perfilhos gerados estão mais próximos da superfície em relação à cana planta, isso se acentua com os novos cortes (BACCHI, 1983). Assim, a raiz poderá promover maior redistribuição de água no solo quando a planta ainda se encontrar no primeiro ciclo.

As folhas tem principal função a produção de carboidratos (fotossíntese); síntese de outros compostos a partir de carboidratos e transpiração. A planta atinge um número máximo de 10 a 15 folhas por colmo, sendo esse fator característico da variedade e das condições de crescimento de determinada localidade (CASTILHO, 2000).

A folha tem papel fundamental quando o objetivo é avaliar a quantidade de água que fica retida no dossel vegetativo e posteriormente evaporada, ou seja, o processo de

interceptação. A retenção dessa água pode se manter constante quando o dossel está cheio, mas a porcentagem armazenada vai depender da lâmina total aplicada na irrigação, espaçamento entre as plantas e também do índice de área foliar que depende do estágio de desenvolvimento em que a planta se encontra ao longo do ciclo (STEINER et al., 1983).

É uma gramínea semiperene e expressa um bom desenvolvimento em solos onde há boa aeração e drenagem. A planta possui mais de um ciclo, o primeiro ciclo é chamado de cana planta e pode durar de 12 a 18 meses dependendo da variedade, enquanto os demais ciclos são iniciados após o primeiro corte da planta e denomina-se cana-soca. A cada corte seu potencial produtivo diminui, assim quando a aplicação de insumos agrícolas não possibilitar produtividade satisfatória, é necessário a renovação do canavial (CONAB, 2014).

Atualmente o Brasil além de ser o maior produtor da cultura, seguido da Índia e China, também é o maior produtor do açúcar e do etanol advindos dessa cultura. (CONAB, 2014). É válido ressaltar que a cultura tem um significativo papel ambiental, haja vista que o etanol, subproduto da cana-de-açúcar, utilizado como combustível em veículos é uma das alternativas mais viáveis para reduzir a emissão de gases geradores do efeito estufa, pois sua queima reduz em 70% a emissão de CO₂ na atmosfera em relação à gasolina (SOARES et al., 2009).

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, o Brasil produzirá na safra 2014/2015 cerca de 642,10 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, numa área de cerca de 9 milhões de hectares.

Dos estados produtores, São Paulo é o maior estado produtor, com 52% da área plantada, seguido por Goiás com 9,5% e Minas Gerais com 8,8%. Pernambuco ocupa a 7ª colocação com 2,9%, ficando atrás do estado de Alagoas na região Nordeste.

A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentos – FAO (2013) apresenta levantamentos ainda do ano de 2013, e revela que nesse ano ocorreu em todo o mundo uma produção de cerca de 1.877.105.111,92 de toneladas de cana-de-açúcar, com produtividade média de 70,77 ton/ha e área plantada de 265.227.34,09 ha, levando essa cultura a ser a mais plantada em todo o mundo.

Por ser produtora de grande quantidade de biomassa e ser considerada um cultivo de longa duração, o fornecimento adequado de água é fundamental nessa gramínea semiperene. Na maioria das regiões produtoras, a irrigação é utilizada para esse fornecimento de água (SARALA et. al., 2014).

De acordo com a fase fenológica, o déficit hídrico irá ter maior impacto na produtividade agrícola da cana-de-açúcar (RAMESH, 2000; PIMENTEL, 2004; INMAN-BAMBER & SMITH, 2005). Para fins de irrigação, o período de maior suscetibilidade ao déficit hídrico é o de rápido desenvolvimento da cultura, quando as plantas apresentam grande área foliar e necessitam de maior quantidade de água para a realização de troca de gases com a atmosfera (PIRES et al., 2008).

Inman-Bamber & Smith (2005) relatam que a suscetibilidade da cana-de-açúcar à deficiência hídrica é mais acentuada quando as plantas estão na fase de alongamento dos colmos, o que causa sérios prejuízos na produção de fitomassa e no rendimento de sacarose (ROBERTSON et al., 1999). No entanto, Ramesh (2000) relata a alta demanda hídrica durante a fase de formação da cana-de-açúcar, que compreende os períodos de perfilhamento e de rápido crescimento e ocorre entre 60 e 150 dias após o plantio.

Apesar de possuir fases onde a deficiência hídrica se acentua mais, a necessidade de água durante seu ciclo dependerá de vários fatores, como tipo de solo, condições climáticas, temperatura, vento, precipitação, práticas de cultivo e duração do cultivo (SCARDUA & ROSENFELD, 1987). Vários autores relatam divergentes valores ideais de lâmina de água para a cultura, Zink (1978), afirma que uma precipitação anual em torno de 1200 mm bem distribuídos é suficiente para seu bom desenvolvimento.

Para Doorenbos & Kassan (1994) as necessidades de água durante o ciclo variam de 1500 a 2500 mm distribuídos de maneira uniforme durante as fases de desenvolvimento, ressaltam ainda que variedade utilizada, a localização, clima e solo também influenciará essa quantidade. Segundo Doorenbos & Kassan (1979), produções em áreas irrigadas em torno de 100 a 150 t ha⁻¹ demandam 1.500 a 2.000 mm por ciclo de 365 dias. Uma vez que, nas áreas canavieiras brasileiras, a precipitação total anual é em torno de 1.100 a 1.500 mm ano⁻¹, torna-se indispensável a prática de irrigação complementar para se obter as produções desejadas (ALFONSI et al., 1987).

Apenas a quantidade ideal de água para a cultura não pode ser levada em consideração, dependendo da fase em que se encontra a cultura irá necessitar de mais ou menos água, de acordo com Cintra et al. (2008), nos primeiros estágios de desenvolvimento (emergência e perfilhamento), ocorre uma intensa demanda de água, sendo essas, as fases de maior sensibilidade ao déficit hídrico, já nos estágios intermediários (desenvolvimento), a cultura responde a lâmina de irrigação, porém o déficit hídrico não causa tanto prejuízo à produtividade quanto os primeiros. Já no estágio de maturação a cana-de-açúcar responde bem ao déficit hídrico.

Para essa cultura, a irrigação geralmente é considerada de três tipos:

- Irrigação de Salvação: Visa à utilização da água apenas por um período curto ou estágio de cultivo, consiste em aplicar lâminas de 40 a 80 mm após cada corte anual, com intuito de permitir o estabelecimento da soca;
- Irrigação com Déficit: Consiste em aplicar lâminas acumuladas, de 200 a 300 mm por ano com déficit em fases de menor sensibilidade ao estresse hídrico;
- Irrigação Plena: Objetiva-se aumentar a produtividade da lavoura, aplicando lâminas acumuladas que podem superar os 400 mm por ano.

Para Bernardo et al. (2006) o consumo médio de água pela cultura da cana-de-açúcar tem variado de 2,0 a 6,0 mm por dia.

2.2 Irrigação

2.2.1 Recursos Hídricos e Uso da Água

A água é o recurso mais importante no planeta Terra, seu planejamento adequado na agricultura pode conduzir a excelentes resultados na produção de alimentos em todo o mundo (PAZ et al., 2000).

Também é o recurso mais limitado e exaurido pelas atividades impactantes do homem nas bacias hidrográficas, degradando sua qualidade e prejudicando o meio ambiente (PAZ et. al., 2000). A nível mundial o uso da água na agricultura, representa cerca de 70% de toda a água doce disponível, o restante destina-se a indústria e ao abastecimento humano (CHRISTOFIDIS, 2006).

Maia Neto (1997) afirma que apesar do planeta Terra ser predominantemente ocupado por água (71%), cerca de 97% desse total se constituem de água salgada, 2,07% são águas doces em estado sólido (geleiras) e apenas 0,63% restam de água doce, que não são totalmente aproveitadas por inviabilidade técnica, econômica e sobretudo de sustentabilidade ambiental. O Brasil é o país mais rico em água potável, com 8% das reservas mundiais, entretanto, observa-se uma grande desigualdade na distribuição desses recursos hídricos a nível regional.

Rebouças (2001) afirma que a visão do alto potencial hídrico, sem escassez sobre a superfície brasileira favoreceu a ideia de abundância dos recursos hídricos, alimentando a tolerância a degradação dos mesmos.

Com o aumento da população nos últimos anos, a produção agrícola tem sido superada, isso vem causando uma preocupação com relação à segurança alimentar. Esse desequilíbrio está sendo provocado, pela degradação dos solos, uso de fertilizantes,

defensivos agrícola e escassez da água. Ao longo dos anos, se esse desequilíbrio persistir, ocorrerá uma situação de perda de controle que repercutirá sobre a estabilidade econômica, com sérias crises sociais (CHRISTOFIDIS, 2006).

No Brasil, as comunidades rurais começaram a se confrontarem em razão da utilização da água, forçando uma reflexão sobre esse consumo, procurando maneiras de reduzir esse impacto no meio ambiente sem interferir no desenvolvimento rural (RIBEIRO & GALIZONI, 2003).

2.2.2 Agricultura Irrigada

A irrigação é uma técnica conhecida e praticada há mais de 6000 anos, ela permite fornecer água as plantas de maneira artificial, em regiões onde água da chuva é insuficiente ou se apresenta má distribuída (WALKER & SKOGERBOE, 1987).

Sendo que a irrigação das culturas agrícolas para geração de alimentos é uma das atividades mais nobres para destino da água. Segundo dados da EMBRAPA (2007), cerca de 59% do consumo da água é destinado a prática da irrigação, enquanto 19% vai para a indústria e os restantes 22% para abastecimento urbano. No Brasil, quase metade da água consumida destina-se a agricultura irrigada (CARDOSO et al., 1998).

Bernardo et al. (2006) afirmam que a finalidade primordial da irrigação é fornecer água as culturas, permitindo atender suas exigências hídricas durante seu ciclo, possibilitando produtividades satisfatórias.

Segundo Dalri (2006), na agricultura a prática de irrigação é considerada tão relevante quanto à aplicação de fertilizantes e o controle de plantas invasoras, pragas e doenças, para o aumento da produtividade. E apesar de consumir grande parcela de água, essa tecnologia representa a maneira mais eficiente e aumento da produção de alimentos.

Apesar do uso nobre, em termos de disponibilidade, a utilização da água para fins de irrigação está ameaçada, tornando-se cada vez mais necessário o uso criterioso dessa técnica, com altos níveis de uniformidade e eficiência no uso da água. Por isso, a preocupação com a qualidade de irrigação se faz necessária tanto no processo de planejamento e de operação do sistema, como no manejo (REZENDE et al., 2003).

2.2.3 Irrigação por Aspersão

Entre os tipos de sistemas de irrigação existentes, o sistema de irrigação por aspersão convencional é muito utilizado em pequenas e médias propriedades, devido a

sua aplicabilidade em campo através da disponibilidade de área cultivável (ao contrário da irrigação por superfície, não ocorre perda de área), não há qualquer restrição ao horário de funcionamento do sistema, além de não causar problemas de erosão no solo (BISCARO, 2009).

Nesse sistema, a água é aspergida para as plantas, simulando a água de chuva, por meio de vários aspersores que funcionam simultaneamente numa mesma linha lateral. É bastante versátil, abrangendo uma série de sistemas desde o mais simples, como aspersão convencional semiportátil, até os mais automatizados como o pivô central (NETTO et al., 2013).

O sistema portátil de aspersão permite movimentar o equipamento conforme a necessidade da irrigação, enquanto no sistema convencional permanente as tubulações são fixas e não movidas de um local para outro, cobrindo simultaneamente toda a área irrigada. Um sistema de irrigação por aspersão convencional é composto em geral por aspersores, acessórios, tubulação (linhas laterais, linhas de derivação, linha principal, linha de recalque e linha de sucção) e conjunto motobomba (BISCARO, 2009).

Em uma irrigação eficaz, para que o sistema opere no máximo de sua capacidade é necessário que os elementos que o compõem apresentem adequado funcionamento, essa qualidade será atingida através da quantificação da uniformidade de aplicação da água (KELLER & BLIESNER, 1992). A irrigação por aspersão se caracteriza por apresentar eficiência de uniformidade na ordem de 75 a 90%. Para que essa eficiência de uniformidade seja atingida, o sistema precisa ser avaliado após a implantação do projeto, visando verificar se o seu desempenho está de acordo com o que foi preestabelecido, possibilitando, se necessário, a realização de ajustes para melhorar a sua performance e, periodicamente, com o objetivo de avaliar a qualidade da manutenção e do manejo do sistema (ROCHA et al., 1999).

2.2.4 Coeficientes de Uniformidade de distribuição de água

Muitos coeficientes são usados para expressar a variabilidade de distribuição da água aplicada por um sistema de irrigação por aspersão, na superfície do solo.

Para Frizzone (1992), na irrigação por aspersão a eficiência de aplicação, que é definida como a relação entre a quantidade de água requerida pela cultura e a quantidade total aplicada pelo sistema para suprir essa necessidade, e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), são os principais parâmetros utilizados na avaliação do sistema de irrigação por aspersão, e são decisivos no planejamento e na

operação desses sistemas. Essa avaliação é feita a partir da coleta da água do aspersor em pluviômetros localizados acima da superfície do solo.

Para Bernardo et al. (2006), o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) proposto por Christiansen em 1942, que adota o desvio médio absoluto como medida de dispersão, o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) elaborado por Criddle et al. (1956) que leva em consideração a razão entre a média do menor quartil e a lâmina média calculada, e por fim o Coeficiente de Uniformidade Estatística (Us), estabelecido por Wilcox & Swailes (1947) que utiliza o desvio-padrão como medida de dispersão, aonde se aceita valores superiores a 75%, são os três coeficientes mais usuais para a determinação da uniformidade de aplicação e distribuição de água de um sistema de irrigação por aspersão, na superfície do solo.

Além desses coeficiente, alguns outros também são empregados para mensurar a eficiência, entre eles o proposto por Hart (1961), que também adota o desvio-padrão como medida de dispersão, esse conhecido como coeficiente de uniformidade havaiano (CUH), ele ainda propôs outro coeficiente para representar a uniformidade de distribuição de água, conhecido como Eficiência Padrão da HSPA (UDH) (ROCHA et al., 1999).

O CUC é o coeficiente mais conhecido e, pela sua simplicidade o mais utilizado. Por convenção, 80% representa, em geral, o seu valor mínimo aceitável. Segundo Gomes (1994) admitem-se valores de $CUC < 80\%$, se a área a irrigar recebe chuvas durante o período de irrigação, se a planta possuir sistema radicular profundo ou, se a economia obtida no custo da instalação, compensar a redução do rendimento da cultura irrigada. O CUC não é substituído com vantagem por nenhum dos demais coeficientes propostos (FRIZZONE, 1992).

Esses coeficientes de uniformidade conseguem expressar em termos numéricos quais as variabilidades da lâmina de irrigação na superfície do solo, e é função de diversos parâmetros, entre eles estão o espaçamento entre aspersores, a velocidade do vento e a pressão de serviço operada pelo sistema (HAMAN et al., 1997), porém de acordo com Frizzone et al. (2007) é notado que esses coeficientes registram eventos ocorrentes na superfície do solo e não levam em conta os efeitos relacionados com as características do solo e principalmente, com a distribuição espacial da água aplicada.

Abaixo temos as equações 1 e 2 para determinação do CUC e CUD respectivamente.

$$CUC = \frac{\sum_{i=1}^N |x_i - x_m|}{N \cdot x_m} \quad (1)$$

$$CUD = \frac{x_{25}}{x_m} \quad (2)$$

em que:

- CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen;
- x_m - valor médio da lâminas de água coletadas, em mm;
- x_i - lâmina de água coletada do i-ésimo coletor em mm;
- N - número de coletores na área entre quatro emissores;
- CUD - coeficiente de uniformidade de distribuição;
- x_{25} - média dos 25% menores valores de lâminas de água coletadas.

2.2 Reflectometria no domínio do tempo - TDR

No manejo da irrigação via solo, é imprescindível o uso de técnicas que permitam estimar o teor de umidade no solo, facilitando assim as atividades agrícolas, permitindo manejar a irrigação de maneira adequada (SILVA & GERVÁSIO, 1999).

A Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) é uma técnica que visa determinar o teor de umidade, assim como a condutividade elétrica do solo, vem sendo empregada tanto em campo quanto em laboratório e fornece estimativas precisas, sendo necessário o ajuste de uma curva de calibração para cada tipo de solo. (SOUZA & MATSURA, 2002).

A determinação do conteúdo de água do solo é obtida na forte correlação observada entre a constante dielétrica e seu conteúdo volumétrico de água (GRECO & GUIDA, 2008), este valor é baseado no tempo de emissão/reflexão de um pulso eletromagnético, emitido por um gerador de pulsos, em hastes metálicas paralelas ou não, que servem como guia de ondas, no volume de solo (PEREIRA et al., 2006).

São diversas as vantagens da técnica da TDR como a precisão, método não destrutivo do solo, a não utilização de radiação ionizante, não acarretando perigo ao operador, além de permitir a automação e acoplamento de dispositivos multiplicadores de leituras, por essas justificativas é muito prático e seguro a adoção desta técnica, em substituição a outros métodos (COELHO & OR, 1996).

O equipamento comumente usado na agricultura é composto por um testador de cabo e hastes condutoras, e quando for necessário leitura de diversas sondas, os dados são obtidos através de um multiplexador. Contudo, a principal desvantagem dessa

técnica, é o elevado custo do equipamento, ainda alto para os padrões da agricultura brasileira (SOUZA et al., 2006).

2.4 Redistribuição de umidade no Solo

Segundo Reichardt (1985), a tendência espontânea de toda a matéria, é assumir um estado de energia mínima, a água, obedecendo a esse conceito, move-se constantemente no sentido que permita a diminuição do seu potencial. Assim, quando encontra-se no perfil do solo, a água é amplamente redistribuída dos pontos de maiores tensões para os pontos de menores tensões.

É prática comum que o dimensionamento do sistema de irrigação por aspersão seja realizado a partir de critérios que levam em consideração a distribuição de água apenas na superfície do solo, esse processo passa por duas etapas, a aplicação e a redistribuição (RIBEIRO et al., 2012)

A cultura absorve a água do volume do solo onde seu sistema radicular se encontra, sendo assim, é necessário dimensionar o sistema levando em consideração a forma como a água se comporta em seu interior, ou seja, na forma como ela se distribui (RIBEIRO et al., 2012) como enfatizado por, Frizzone et al. (2007) a uniformidade do teor de água do solo e a produtividade das culturas irrigadas são bastante dependentes da uniformidade com que a água é aplicada durante a primeira fase desse processo, logo a uniformidade de distribuição da água no perfil do solo é mais importante que na sua superfície. Por isso o processo de redistribuição deve ser considerado, se o objetivo do projeto é propiciar um manejo de água eficiente e econômico (ROCHA et al., 1999)

Diversos trabalhos têm sido realizados (NASCIMENTO et al., 1999; ROCHA et al., 1999; REZENDE et al., 2002; MARQUES et al., 2009; RIBEIRO et al., 2012; FLÓREZ-TUTA et al., 2013) para evidenciar a importância da redistribuição de água no solo, a partir da irrigação por aspersão, com intuito de realizar melhorias nos dimensionamentos dos sistemas promovendo um uso racional da água nas áreas irrigadas.

Rezende et al. (1992) analisaram uniformidade de distribuição acima e abaixo da superfície do solo irrigado por pivô-central, utilizando os coeficientes CUC e CUD e concluíram que, em todas as profundidades, os coeficientes de uniformidade foram superiores aos obtidos acima da superfície do solo. Isso é muito relevante, e permite verificar que ocorre uma maior área de absorção de umidade pelo sistema radicular da planta.

Paiva (1980) trabalhou com um sistema de irrigação por aspersão convencional, analisando o processo de redistribuição. Após o término da irrigação, os coeficientes de uniformidade aumentaram ao longo do tempo, em todas as profundidades estudadas, a distribuição foi mais uniforme nas maiores profundidades, mesmo nos ensaios onde a uniformidade de água aplicada na superfície foi muito baixa.

Perrens (1984) percebeu que a intensidade de redistribuição da água no solo está totalmente relacionada à textura do solo. Avaliando a uniformidade de umidade a 50 cm de profundidade, durante o processo de redistribuição da água no solo, para um período de dois dias, a uniformidade aumentou de 60% para 67% em um solo de textura arenosa e de 60% para 73% em um solo tipo areno-siltoso.

No processo de redistribuição de umidade o tipo de solo é de fundamental importância, pois em solos arenosos, os baixos valores de uniformidade na aplicação de água na sua superfície implicará em elevadas perdas por percolação profunda (ROCHA et al., 1999).

Considerando o fato de que a elevada uniformidade está associada a maior custo do sistema de irrigação, fica caracterizada a importância de se identificar um nível de uniformidade que seja adequado para as condições nas quais se faz a irrigação (REZENDE et al., 2002).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área Experimental

O experimento foi realizado no período de outubro a novembro de 2014, na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina (EECAC), Unidade de Pesquisa Avançada da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), localizada no Município de Carpina, na Zona da Mata Norte do Estado de Pernambuco, situando-se a 7° 51' 13'' de latitude sul e 35° 14' 10'' de longitude oeste do meridiano de Greenwich, com altitude de aproximadamente 184 m, distando 56 km da cidade de Recife-PE. O clima da região é caracterizado como megatérmico (As'), com precipitação de inverno e estação seca do verão até o outono, segundo classificação de Köppen (PEREIRA et al., 2006). A variedade de cana utilizada na presente pesquisa é a RB92579, plantada manualmente perfazendo um total de 18 gemas por metro linear ao longo dos sulcos, sendo o espaçamento entre sulcos de 1,10 m. A precipitação pluvial anual caracteriza-se por médias de 1.000 a 2.000 mm. Foram realizadas um total de quatro campanhas de irrigação com intuito de estabelecer apenas uma campanha para a realização da pesquisa.

3.2 Parâmetros do Solo

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Amarelo Distrocoeso, conforme Embrapa (1997). Para as análises físicas do solo, antes do início do experimento foram coletadas amostras indeformadas, na camada de 0-20 cm, visando à determinação da umidade do solo com vista à calibração do equipamento de TDR e também da densidade do solo, após essas análises o volume de solo foi retirado do anel onde se procedeu realizar as análises de textura, umidade de capacidade de campo e ponto de murcha permanente. Para a determinação da densidade do solo, foi utilizado o método do anel volumétrico; da capacidade de campo e ponto de murcha Extrator de Richards e da análise granulométrica pelo método do densímetro (Figura 1). Todas as análises foram realizadas de acordo com metodologia da Embrapa (1997). Foram coletadas amostras de solo através de caminhamento na área experimental.

Para cada análise, obtivemos quatro repetições de amostragem, todas foram amostras simples, então foram obtidas quatro amostras para na área com cana baixa (cana com 100 dias de corte) e quatro amostras para área com cana alta (cana com 360 dias do corte). Foram adotados os valores médios. Os resultados das análises de solo encontram-se na Tabela 1.



Figura 1. Análises físicas de densidade, granulometria e umidade do solo na capacidade de campo e ponto de murcha permanente. Carpina-PE, 2014.

Tabela 1. Características físicas do solo da área experimental. Carpina-PE, 2014.

Camada m	ds g/cm ³	Textura g/kg			Umidade m ³ /m ³		
		Areia	Silte	Argila	CC	PMP	
0,0 - 0,2	Cana Baixa	1,60	761,16	73,26	165,58	0,10	0,05
0,0 - 0,2	Cana Alta	1,48	727,28	84,66	188,06	0,12	0,06

ds - densidade do solo; CC - Capacidade de Campo; PMP - Ponto de Murcha permanente.

3.3 Sistema de irrigação

Foi utilizado o sistema de irrigação por aspersão convencional. O aspersor instalado na área do ensaio foi o modelo Mini canhão Plona KS 1500 com dois bocais cônicos de 12,0 e 5,0 mm, seu mecanismo de rotação é por impacto do braço oscilante. Para pressão de serviço de 20 mca forneceu uma vazão média de 9,87 m³/h, valor próximo ao apresentado no catálogo do aspersor (Figura 2). A leitura, assim como o controle da pressão de serviço do aspersor foi realizado por meio de um manômetro tipo Bourdon com adaptação “pitot” para aferição da pressão no bocal do aspersor, a partir do momento em que o sistema de irrigação começava a funcionar, a pressão era controlada no registro de gaveta, com monitoramento e ajustes realizados de 20 em 20 minutos durante toda a irrigação, garantindo assim a pressão adequada para realização do ensaio, foram efetuadas campanhas teste com intuito de estabelecer a melhor pressão

a se trabalhar de acordo com o tamanho proposto da malha. Por questões operacionais o tempo estabelecido para a campanha foi de 1 hora. A irrigação começou as 6 horas da manhã acabando as 7:00 horas.

BOCAL	Anel			Cônico	
					
Ømm	mca	Øm	m ³ /h	Øm	m ³ /h
12X5	25	48	7,27	52	9,10
	35	52	8,45	56	10,74
	45	56	9,50	62	12,18

Figura 2. Valores de pressão e vazão do aspersor Plona KS 1500.

3.4 Monitoramento das Condições de Tempo

Para se avaliar as possíveis influências do ambiente externo, foram mensuradas as condições climáticas de temperatura e velocidade do vento a cada 15 minutos a partir do início do ensaio. Para tanto foi utilizado um termoanemômetro portátil a 2 m de altura da superfície o solo, essa medição foi efetuada a 2 metros de distância da borda da área, a velocidade média do vento foi de 0,25 m/s e temperatura média no momento do ensaio foi de 29,4 °C. A perda de água por evaporação foi aferida em coletor afastado cerca de 2 m da área experimental, sendo nula, provavelmente devido ao horário de realização da campanha.

3.5 Lâmina coletada

A vazão foi aferida em campo através de medição do tempo de saída da água do aspersor e do volume do reservatório utilizado, foi utilizado um reservatório com volume de 200 L. O aspersor foi instalado em uma linha lateral sobre um tubo de subida de 1,7 m de altura e diâmetro nominal de 1 1/2" (Figuras 3). A área experimental compreendeu uma malha de 44 x 44 m, totalizando 144 coletores (Figura 4) da marca Fabrimar confeccionados em plástico termoresistente para coleta de água e espaçados de quatro metros, com 10,0 cm de diâmetro da seção de captação de água. Funcionando na pressão de 20,0 mca um único aspersor foi utilizado, apresentando o raio molhado de aproximadamente 24 metros.

Os coletores instalados na área serviram para coletar a água aplicada pelo aspersor no momento do teste, com intuito de receber parte da água aplicada, dado este

necessário para os cálculos dos coeficientes que estabelecem a distribuição de água pelo sistema de irrigação na superfície do solo, os mesmos foram adaptados a uma haste de alumínio vertical fixada ao solo a fim de mantê-los a aproximadamente 0,7 metros de altura do solo, permitindo a coleta da água.

A medição do volume foi realizada ao término do ensaio com provetas confeccionadas em termoplástico transparente, estabilizado, de 25,0 mL graduadas a cada 0,5 mL.



Figura 3. Aspensor instalado na área com o tripé, aspensor em funcionamento e sendo aferida a pressão no bocal de saída. Carpina-PE, 2014.

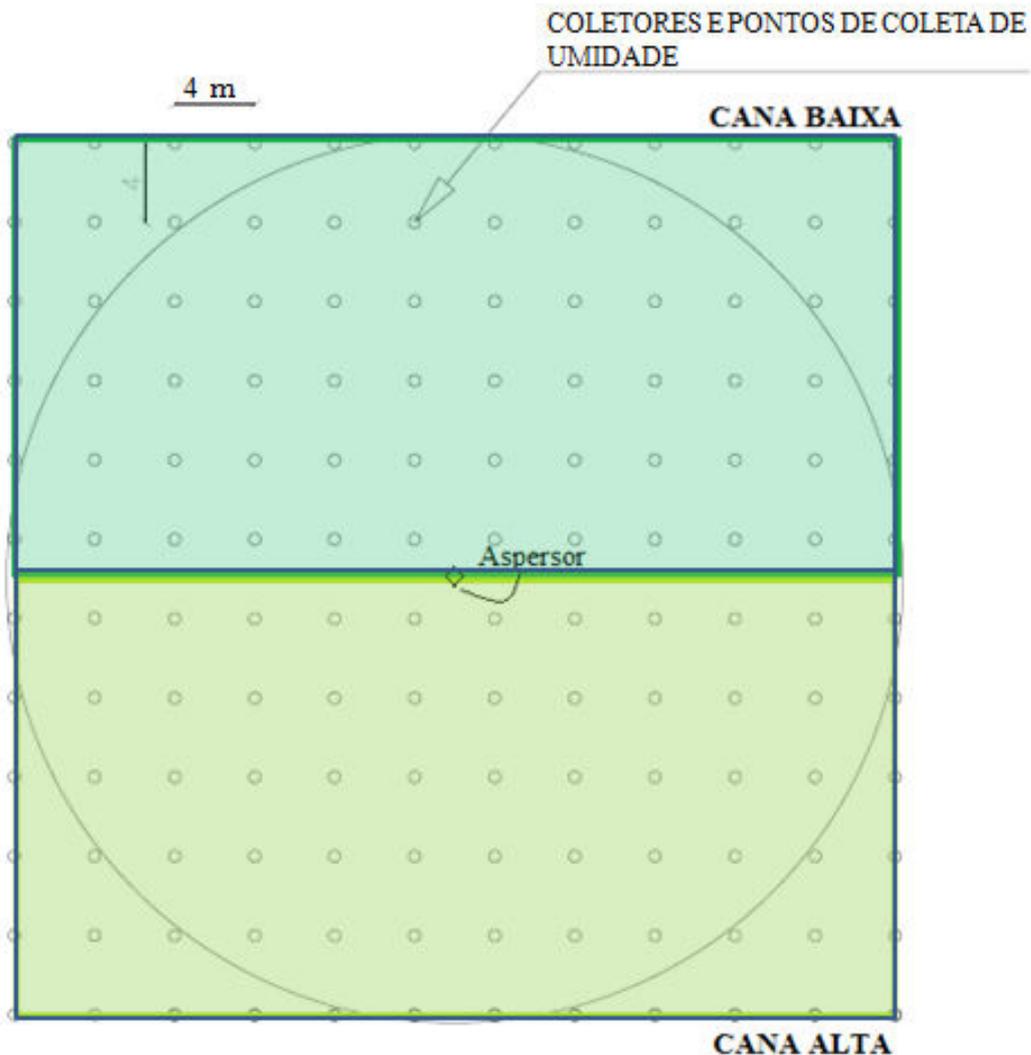


Figura 4. Localização dos coletores e pontos de coleta de umidade.

3.6 Umidade do solo

Para a determinação da água armazenada para abaixo da superfície, foram coletados os valores de umidade de solo na camada de 0 a 0,12 m, com o auxílio do equipamento TDR (Time Domain Reflectometer) modelo HS2 Hydrosense II da marca Campbell Scientific (Figura 5). A sonda fornece leituras do teor de umidade do solo em % de volume. Para uma melhor representação dos valores de umidade, o equipamento foi calibrado por meio da comparação das leituras do aparelho com os respectivos valores de umidade do solo determinados pelo método gravimétrico, em que as amostras de solo coletadas foram previamente pesadas e levadas a estufa de circulação forçada a 105° C até peso constante, em seguida pesadas e por diferença obtida a respectiva massa de água. A umidade do solo foi obtida em base de massa e transformada em base volumétrica por meio da multiplicação do resultado pela

densidade do solo na respectiva camada de coleta. Foi obtida a seguinte equação de calibração (Figura 6) (Eq. 03) com $R^2=0,8699$.



Figura 5. Sonda TDR modelo HS2 Hydrosense II.

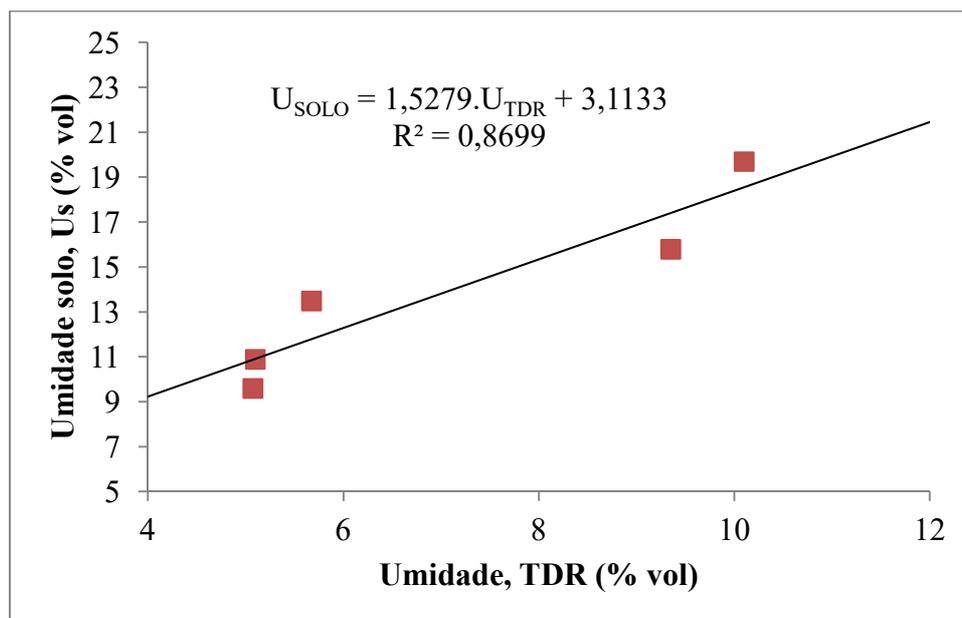


Figura 6. Calibração da sonda TDR para as condições do solo da área experimental.

$$U_{SOLO}=1,5279.U_{TDR} + 3,1133 \quad (3)$$

em que:

U_{SOLO} é a umidade do solo, % volume;

U_{TDR} é a umidade obtida pela sonda, % volume.

Antes do evento da irrigação em pontos situados logo abaixo das hastes dos coletores eram mensuradas os valores de umidade, totalizando 144 pontos de umidade de solo. Nos tempos, 0, 4 e 8 horas do evento também mediu-se a umidade nos mesmos pontos estabelecidos, com o intuito de avaliar o processo de redistribuição de água no solo (Figura 7).



Figura 7. Aferição da umidade do solo antes e após a irrigação. Carpina-PE, 2014.

3.7 Variáveis analisadas

Para avaliar o efeito do desenvolvimento da cultura no desempenho do sistema de irrigação foi realizada a campanha para avaliação do sistema de irrigação em área cultivada com cana soca, o aspersor se localizou no meio de uma área onde havia dois portes de cana de açúcar, um com aproximadamente 100 dias de rebrota, e outro já no final do ciclo (360 dias de rebrota). Observando a Figura 8 é possível visualizar os dois estádios de desenvolvimento da cana. Os cenários foram estabelecidos com o principal intuito de estabelecer as melhores condições de espaçamento para emissores de acordo com o porte da cana, ou seja, verificar como a água da irrigação chegou ao solo em duas épocas de desenvolvimento da cana-de-açúcar, possibilitando também avaliar o processo de redistribuição da água no perfil do solo para as duas condições.

De posse da distribuição de água acima e abaixo da superfície do solo, foi realizada simulação do funcionamento do sistema de irrigação sob cenários de sobreposição com o auxílio do software Catch 3D para simular a performance do aspersor em diferentes espaçamentos na mesma pressão de trabalho. Com os dados sobrepostos para cada cenário (cana baixa e cana alta), determinou-se os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD) acima e abaixo da superfície do solo. A partir dos valores de classificação de sistemas de irrigação por aspersão com base nos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD) (Tabela 2) é possível analisar o desempenho do sistema de irrigação nas simulações realizadas.

Tabela 2. Valores classificação de sistemas de irrigação por aspersão com base nos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD).

Classificação	CUC (%)	CUD (%)
Excelente	>90	> 84
Bom	80-90	68-84
Razoável	70-80	52-68
Ruim	60-70	36-52
Inaceitável	< 60	< 36

Fonte: Bernardo et al. (2006)



Figura 8. Área experimental com cana baixa em primeiro plano e cana alta em segundo plano. Carpina-PE, 2014.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos de CUC e CUD, simulando-se diferentes espaçamentos entre aspersores para os estádios de cana baixa e cana alta, encontram-se nas Tabelas 3 e 4, respectivamente, para precipitação acima e armazenamento abaixo da superfície do solo. Apresentam-se também nas tabelas as diferenças entre os valores de CUC e CUD comparando os dois estádios da cana com o objetivo de verificar o comportamento dos coeficientes de acordo com o espaçamento simulado entre aspersores.

Tabela 3. Coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD) para água precipitada nos estádios de desenvolvimento de cana baixa e cana alta.

Espaçamento (m)	CUC %			CUD %		
	Cana baixa	Cana alta	Dif.	Cana baixa	Cana alta	Dif.
12x12	93,2 Excelente	82,3 Bom	10,9	87,6 Excelente	71,7 Bom	15,9
12x18	88,8 Bom	79,5 Razoável	9,3	84,0 Excelente	72,9 Bom	11,1
18x18	89,2 Bom	71,5 Razoável	9,7	82,4 Bom	56,9 Razoável	25,5
18x24	79,2 Razoável	75,2 Razoável	4,0	66,8 Razoável	63,4 Razoável	3,4
24x24	76,2 Razoável	76,9 Razoável	- 0,7	66,6 Razoável	60,4 Razoável	6,2
24x30	84,7 Bom	60,6 Ruim	24,1	73,2 Bom	39,8 Ruim	33,4
30x30	80,1 Bom	47,5 Insuficiente	32,6	68,0 Razoável	30,0 Insuficiente	38,0
30x36	74,9 Razoável	40,1 Insuficiente	34,8	62,9 Razoável	18,7 Insuficiente	44,2
36x36	76,7 Razoável	36,4 Insuficiente	40,3	61,0 Razoável	12,8 Insuficiente	48,2
36x42	60,6 Razoável	25,3 Insuficiente	35,3	29,2 Insuficiente	4,8 Insuficiente	24,4
42x42	56,1 Razoável	16,8 Insuficiente	39,3	21,9 Insuficiente	1,9 Insuficiente	20,0

Dif. – Diferença.

O comportamento dos valores de CUC e CUD foi inversamente proporcional ao espaçamento entre aspersores, tanto para precipitação quanto para o armazenamento de água no solo em plantas de cana baixa e cana alta, ou seja, com o aumento do espaçamento entre aspersores ocorreu redução dos coeficientes de uniformidade. Isto acontece devido ao fato de que quanto maior o espaçamento entre aspersores maior será a área irrigada, no entanto, o raio de alcance do aspersor permanece constante deixando partes da área sem irrigar. Esses resultados são similares aos encontrados por Ribeiro et al. (2012) ao avaliarem o CUC e o CUD para lâminas precipitadas acima da superfície do solo e infiltradas no solo na profundidade de 0,15 m, sendo o armazenamento mensurado pela aferição da umidade antes e depois da irrigação pelo método gravimétrico.

Tabela 4. Coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD) para água armazenada de 0-0,12 m nos estádios de desenvolvimento de cana baixa e cana alta.

Espaçamento (m)	CUC %			CUD %		
	Cana baixa	Cana alta	Dif.	Cana baixa	Cana alta	Dif.
12x12	80,5 Bom	85,4 Bom	-4,9	72,1 Bom	80,1 Bom	-8,0
12x18	73,2 Razoável	85,2 Bom	-12,0	57,3 Razoável	77,5 Bom	-20,2
18x18	64,0 Ruim	67,5 Ruim	-3,3	44,3 Ruim	55,6 Razoável	-11,3
18x24	58,9 Insuficiente	66,4 Ruim	-7,6	39,0 Ruim	49,7 Ruim	-10,7
24x24	56,2 Insuficiente	66,7 Ruim	-10,5	39,7 Ruim	52,6 Razoável	-12,9
24x30	58,1 Insuficiente	60,1 Ruim	-2,0	44,0 Ruim	34,7 Insuficiente	9,3
30x30	49,7 Insuficiente	45,5 Insuficiente	4,2	37,9 Ruim	26,1 Insuficiente	11,8
30x36	46,1 Insuficiente	40,9 Insuficiente	5,2	29,4 Insuficiente	18,9 Insuficiente	10,5
36x36	37,6 Insuficiente	31,9 Insuficiente	5,7	23,2 Insuficiente	9,8 Insuficiente	13,4
36x42	27,7 Insuficiente	22,7 Insuficiente	5,0	8,6 Insuficiente	4,0 Insuficiente	4,6
42x42	19,5 Insuficiente	15,7 Insuficiente	3,8	5,4 Insuficiente	2,2 Insuficiente	3,2

Dif. – Diferença.

Ao se comparar os coeficientes de uniformidade calculados se verifica que o CUD é mais sensível às variações de distribuição de água porque considera apenas a medida do menor quartil do total dos dados. Florez-Tuta et al. (2013) observaram resultados similares ao avaliarem um sistema de irrigação por aspersão simulando vários espaçamentos entre aspersores.

De acordo com os parâmetros de classificação apresentados na Tabela 2 (BERNARDO et al., 2006), para lâmina precipitada na área com cana baixa apenas o CUC no espaçamento 12x12 m foi classificado como excelente, enquanto os espaçamentos 12x18, 18x18, 24x30 e 30x30 m foram classificados como bom, 18x24, 24x24, 30x36 e 36x36 m foram considerados razoáveis, 36x42 m foi considerado ruim e o espaçamento 42x42 m foi classificado como inaceitável. Por outro lado, considerando a área plantada com cana alta o CUC para a lâmina precipitada não foram observados resultados excelentes, o espaçamento 12x12 m foi classificado como bom, 12x18; 18x18; 18x24; 24x24 m foram considerados razoáveis, 24x30 classificado como ruim e os demais inaceitáveis. Ainda para lâmina precipitada, considerando o CUD no cenário de cana baixa tem-se resultados excelentes nos espaçamentos 12x12 e 12x18 m, resultados considerados bons nos espaçamentos 24x30 e 30x30 m, nos espaçamentos 18x24; 24x24; 30x36; 36x36 m se classificaram como razoáveis. Nos espaçamentos 36x42 e 42x42 m foram encontrados coeficientes inaceitáveis. Para o cenário de cana alta, ainda observando a precipitação, apenas os espaçamentos 12x12 e 12x18 m foram

classificados como bons, já para os espaçamentos 18x18; 18x24; 24x24 m se enquadram como razoáveis. Resultados ruins foram encontrados para os espaçamentos 24x30 e 30x30 m e inaceitáveis para os demais espaçamentos.

É possível constatar de acordo com a Tabela 4 e com as Figuras 9 e 10 que quase 100% dos coeficientes que avaliaram a precipitação foram maiores em cana baixa, isso se deve ao porte da cana que permitiu que o coletor captasse água na cana baixa, já em cana alta ocorreu uma maior interceptação do dossel, já que ele recobriu todos os coletores que ficavam a aproximadamente 0,7 m do solo. Marques et al. (2009) estudado o efeito da cobertura vegetal do solo com a cultura observaram comportamento semelhante para simulações de vários espaçamentos entre aspersores.

Em termos de armazenamento, considerando a área com cana baixa o CUC encontrado no espaçamento 12x12 m foi classificado como bom, o espaçamento 12x18 m razoável, o espaçamento 18x18 m ruim e nos demais espaçamentos os resultados foram inaceitáveis. Para a cana alta os espaçamentos 12x12 e 12x18 m apresentaram valores de CUC considerados bons, enquanto os espaçamentos 18x18; 18x24; 24x24 e 24x30 m foram ruins, e os demais inaceitáveis. Em termos de CUD para lâmina armazenada na área de cana baixa apenas o espaçamento 12x12 m foi classificado como bom, 12x18 m foi considerado razoável, 18x18; 18x24; 24x24; 24x30 e 30x30 m apresentaram coeficientes ruins, e os demais considerados inaceitáveis. Na cana alta os únicos espaçamentos de lâmina armazenada em termos de CUD considerados bons foram 12x12 e 12x18 m, os espaçamentos 18x18 e 24x24 m foram classificados como razoáveis, o espaçamento 18x24 m foi considerado ruim e os espaçamentos 24x30; 30x30; 30x36; 36x36; 36x42 e 42x42 m inaceitáveis. .

Para as condições desse estudo, com o objetivo de obter valores adequados de CUC para sistema de irrigação por aspersão o espaçamento máximo que se poderia usar seria 18x18 m (lâmina precipitada) em cenário de cana baixa e 12x12 m (lâmina precipitada) em cenário de cana alta. No caso de lâmina armazenada os maiores espaçamentos utilizáveis seriam 12x12 m para o cenário de cana baixa e 12x18 m para cenário de cana alta. O resultados discutidos em relação ao efeito da altura da cana na uniformidade de distribuição de água precipitada podem ser visualizados nas Figuras 9 e 10.

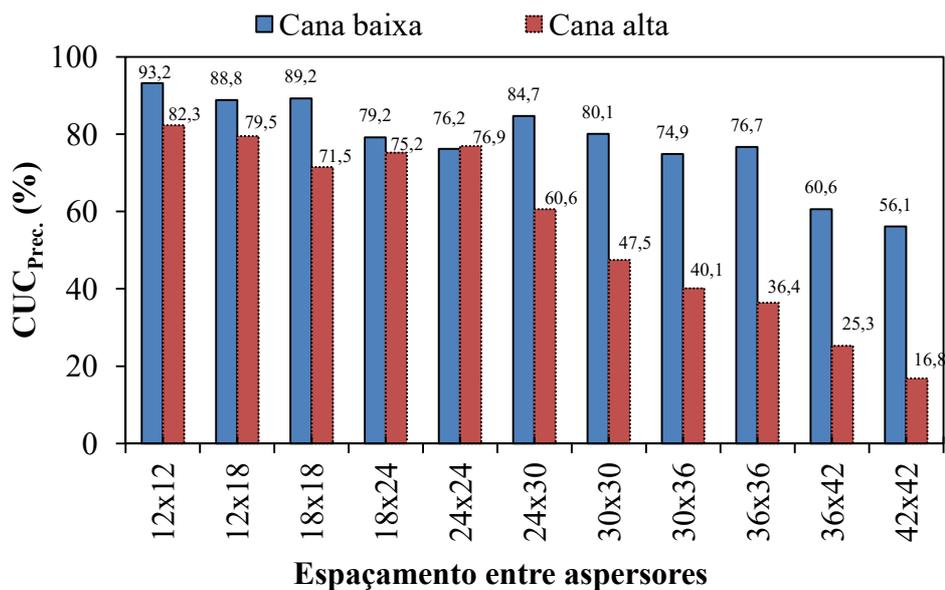


Figura 9. Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para lâmina precipitada nas diferentes simulações de espaçamentos para cana baixa e cana alta. Carpina-PE, 2014.

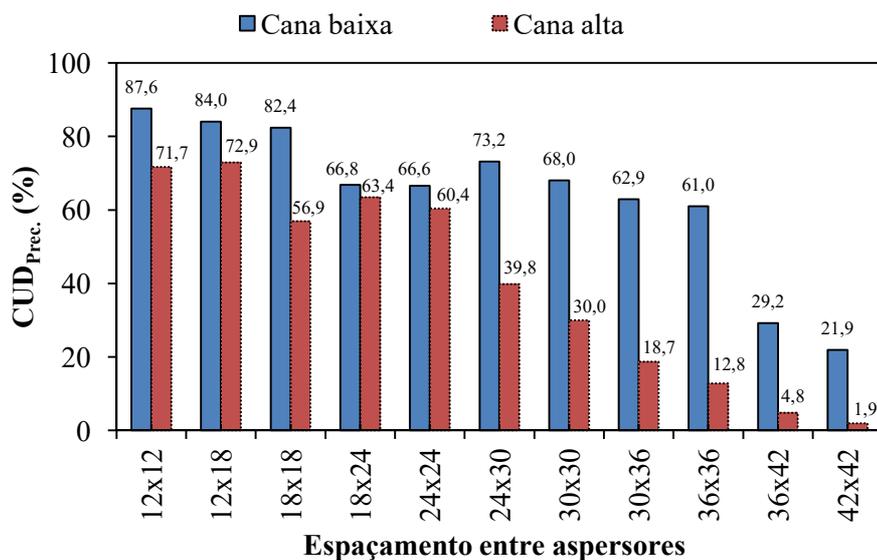


Figura 10. Coeficiente de uniformidade (CUD) para lâmina precipitada nas diferentes simulações de espaçamentos para cana baixa e cana alta. Carpina-PE, 2014.

Observando a Tabela 4 em conjunto com as Figuras 11 e 12 observa-se o efeito da altura da cana na uniformidade de armazenamento de água no solo. É possível constatar que para os espaçamentos simulados de 12x12 a 24x24 m, as uniformidades de armazenamento de água no solo (CUC e CUD) alcançaram valores superiores para cana alta em relação aos de cana baixa. Tal observação é bastante interessante, pois,

apesar da uniformidade de precipitação ter sido menor para cana alta em relação à cana baixa (ver Figuras 9 e 10) a uniformidade de armazenamento foi maior para o cenário de cana alta em relação ao de cana baixa, tal observação se deve possivelmente pela relativa facilidade de armazenamento da água devido à presença de um sistema radicular bem mais desenvolvido na área irrigada com cana alta em detrimento da área irrigada com cana baixa.

À medida que o espaçamento vai aumentando ocorre um declínio uniformidade de chegada de água em maior área de solo já que o raio de alcance do aspersor não se altera isso provoca uma diminuição dos valores de CUC e CUD nos dois estádios de desenvolvimento da cultura a partir dos espaçamentos 24x30m e 24x24m respectivamente, é possível visualizar que isso ocorre para os dois cenários, porém tem efeito mais pronunciado em cana alta.

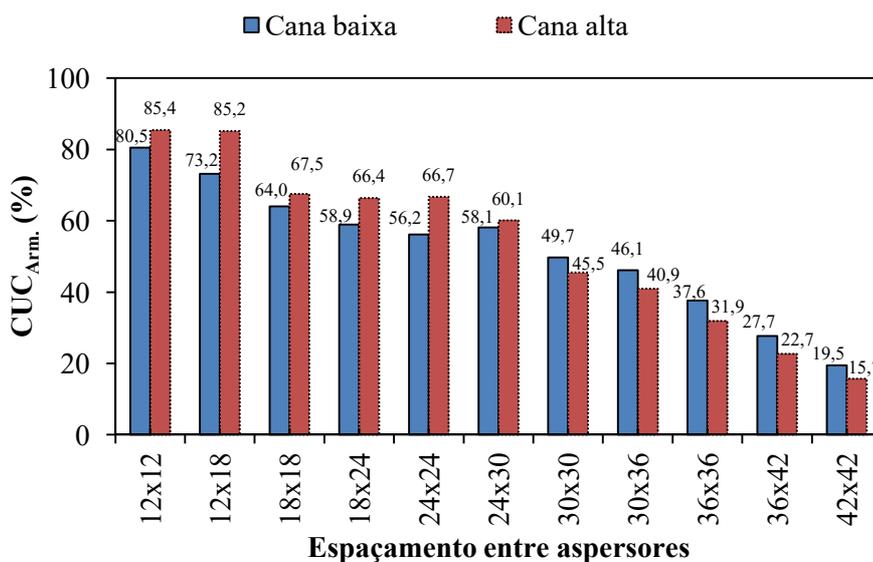


Figura 11. Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para lâmina armazenada nas diferentes simulações de espaçamentos para cana baixa e cana alta.

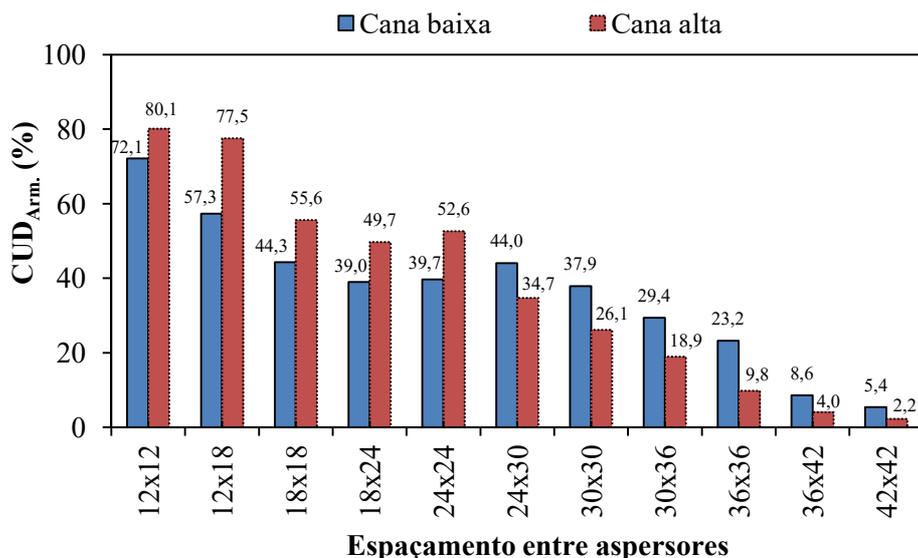


Figura 12. Coeficiente de uniformidade (CUD) para lâmina armazenada nas diferentes simulações de espaçamentos para cana baixa e cana alta.

Para ambos as áreas (cana baixa e cana alta) a lâmina precipitada e a lâmina armazenada tanto para CUC como para CUD apresentaram comportamentos similares.

Analisando o comportamento da uniformidade de distribuição de água, considerando o cenário de cana baixa (Figuras 13 e 14), observou-se que para todas as simulações de espaçamento entre aspersores os valores dos coeficientes de lâmina precipitada foram superiores aos valores dos coeficientes de lâminas armazenadas. Já para o cenário de cana alta (Figuras 15 e 16), os valores de uniformidade para precipitação e armazenamento foram bastante próximos. Tal constatação ratifica o provável efeito da interceptação vegetal na irrigação da cana alta, associado, possivelmente, ao efeito de um sistema radicular mais desenvolvido como, resultado que corrobora com os encontrados por Bacchi (1983). Os resultados obtidos são também similares aos obtidos por Florez-Tuta et al. (2013) no que tange aos coeficientes calculados para lâminas precipitadas e infiltradas em simulações considerando um sistema de irrigação por aspersão e espaçamentos entre aspersores superiores a 12x12 m.

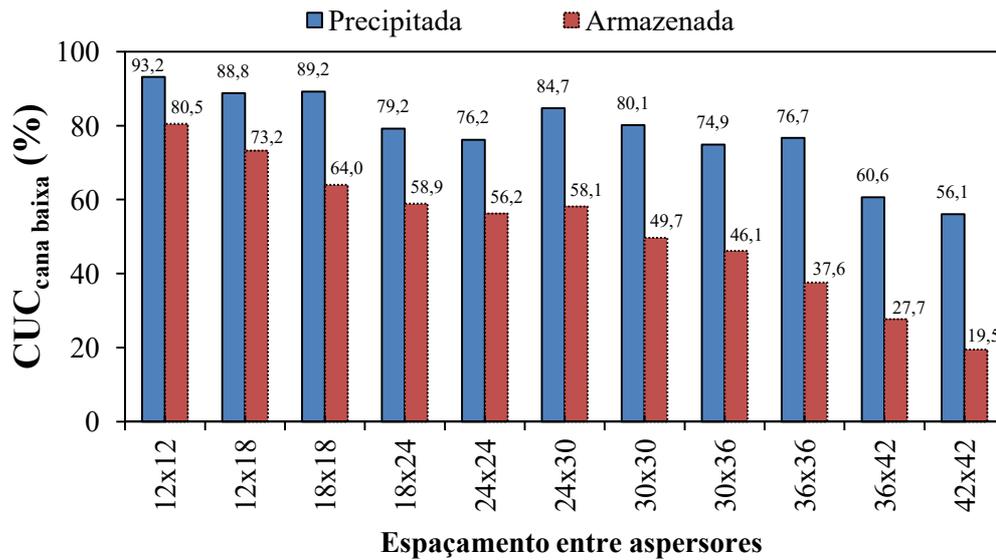


Figura 13. Coeficiente de uniformidade (CUC) para cana baixa nas diferentes simulações de espaçamentos considerando lâmina precipitada e armazenada.

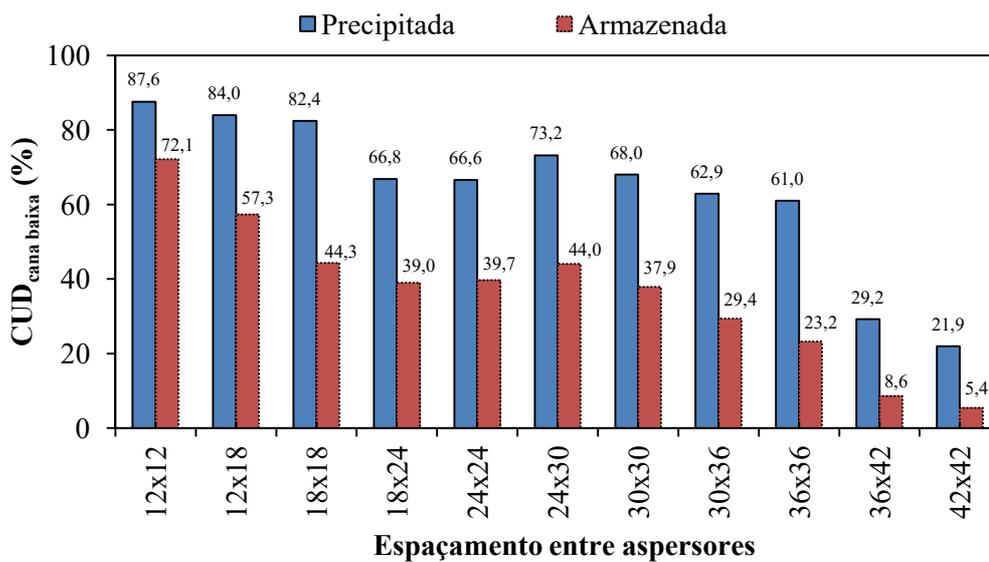


Figura 14. Coeficiente de uniformidade (CUD) para cana baixa nas diferentes simulações de espaçamentos considerando lâmina precipitada e armazenada.

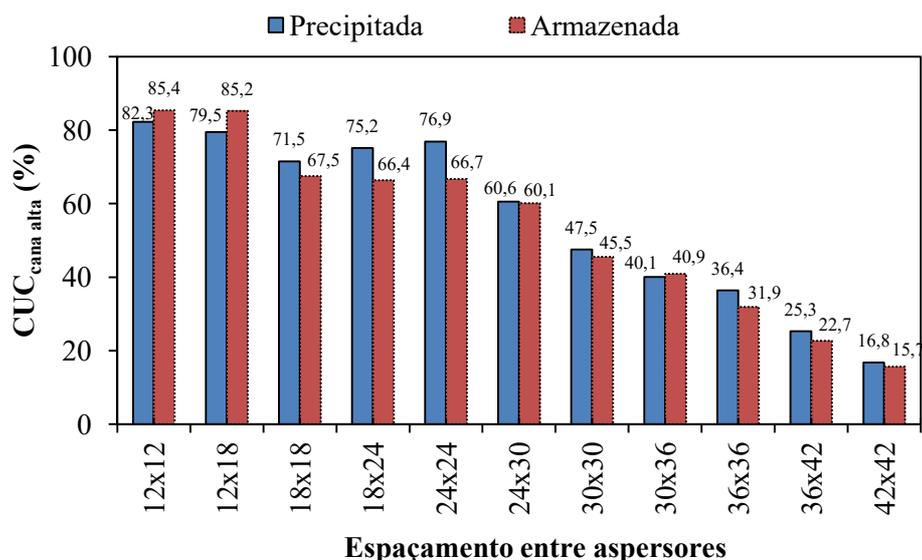


Figura 15. Coeficiente de uniformidade (CUC) para cana alta nas diferentes simulações de espaçamentos considerando lâmina precipitada e armazenada.

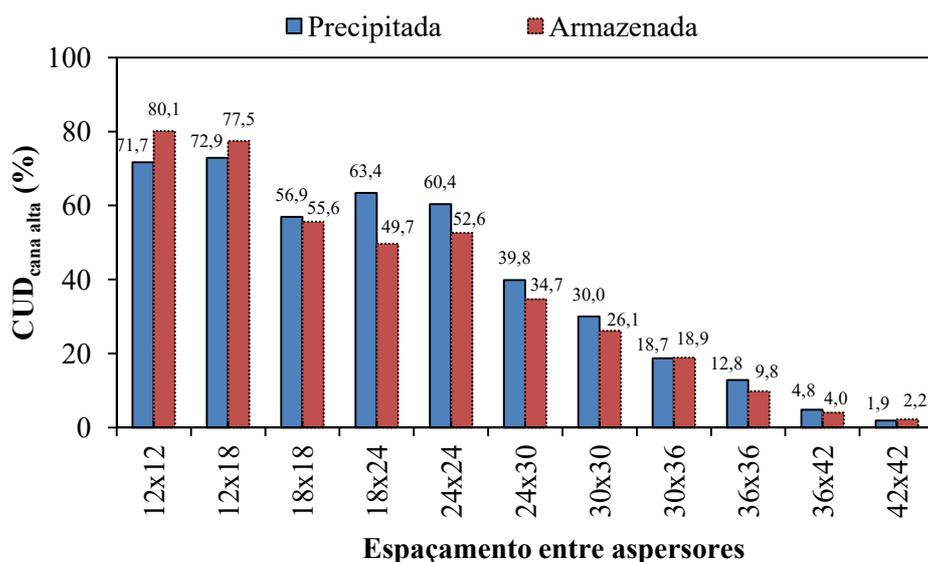


Figura 16. Coeficiente de uniformidade (CUD) para cana alta nas diferentes simulações de espaçamentos considerando lâmina precipitada e armazenada.

Além da lâmina precipitada e armazenada no solo também foram analisados os coeficientes de uniformidade Christiansen (CUC) e de uniformidade de distribuição (CUD) antes e depois da irrigação com o intuito de estudar o processo de redistribuição de água no solo. Para isso, utilizaram-se os dados de umidade do solo sem sobreposição das lâminas, ou seja, não foram realizadas simulações dos espaçamentos. Os resultados encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5. Coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD) para redistribuição de água no solo nos estádios de desenvolvimento de cana baixa e cana alta. Carpina-PE, 2014.

	Cana baixa		Cana alta	
	CUC %	CUD %	CUC %	CUD %
Antes da irrigação	78,5	69,4	77,0	69,4
0h	60,7	48,1	56,3	50,6
4h	63,8	53,4	60,5	54,0
8h	62,2	48,7	59,9	51,8

O processo de redistribuição de água no solo na maioria das vezes promove após determinado período de tempo maiores valores de CUC e CUD no perfil do solo, o que permite a cultura um maior alcance de água pelo sistema radicular. Frizzone et al. (2007) avaliando produtividade do feijoeiro sobre diferentes uniformidades de distribuição de água na superfície e no perfil do solo encontrou maiores coeficientes no perfil do solo, após a aplicação de água e antes da irrigação seguinte, caracterizando a redistribuição de água no solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Rezende et al. (1998) na avaliação da influência do espaçamento entre aspersores na uniformidade de distribuição de água na superfície e no perfil do solo, todos os valores dos coeficientes de uniformidade determinados abaixo da superfície foram superiores aos determinados da superfície do solo.

Observando a Tabela 5 em conjunto com as Figuras 17 e 18, é possível verificar que antes da irrigação os valores de uniformidade de distribuição (CUC e CUD) encontravam-se com valores elevados (CUC=78,5% e CUD=69,4% para a área de cana baixa e CUC=77,0% e CUD=69,4% para o área de cana alta) indicando que a umidade estava redistribuída na camada de avaliação (0,12 m).

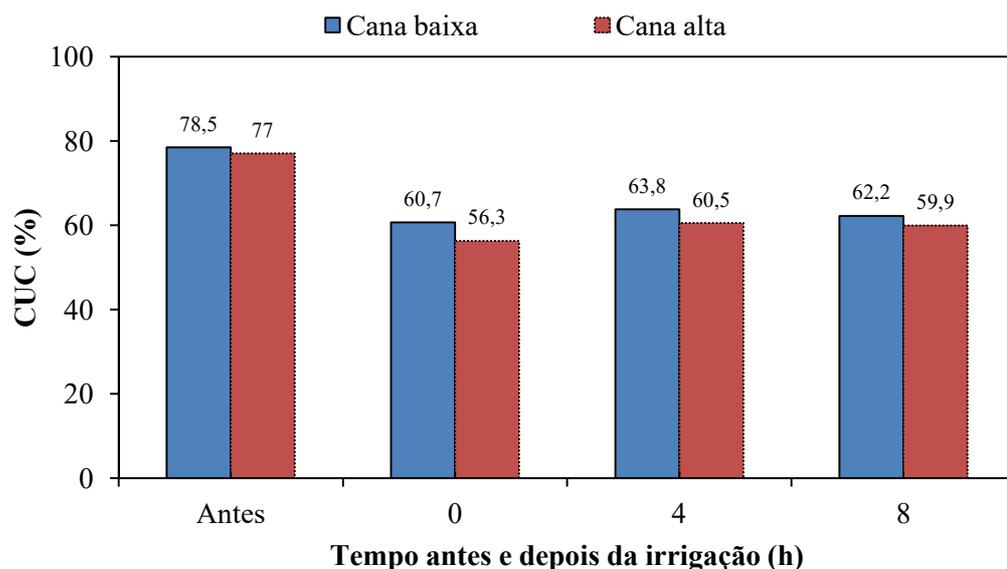


Figura 17. Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para redistribuição de água no solo.

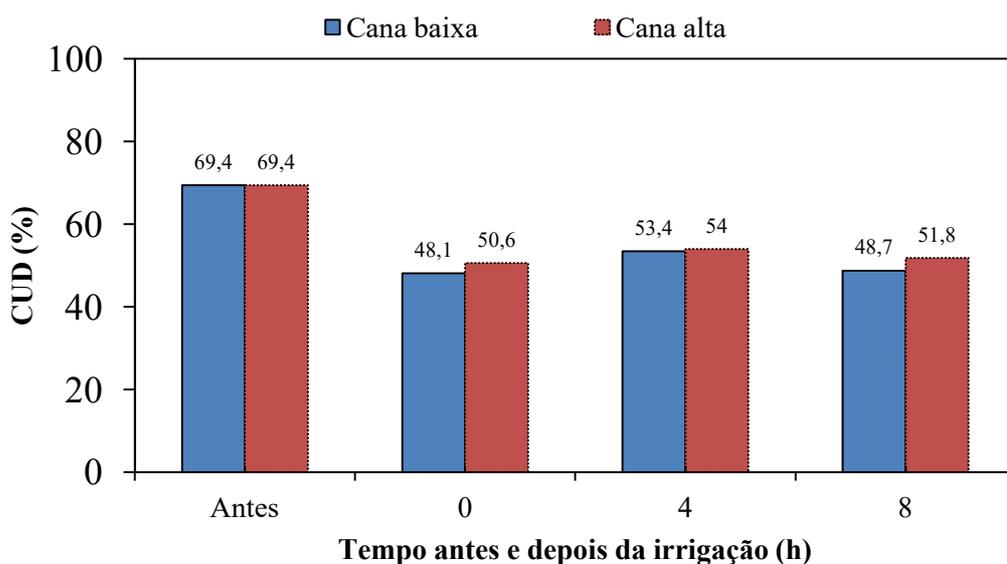


Figura 18. Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) para redistribuição de água no solo.

Logo após a irrigação (tempo t=0 hora) observou-se a diminuição dos valores dos coeficientes de uniformidade (CUC=60,7% e CUD=48,1% na área de cana baixa e CUC=56,3% e CUD=50,6% na área de cana alta), sendo este fato inerente ao perfil diferenciado de aplicação de água proporcionada pelo aspersor em seu raio molhado. Conforme se observa nas Figuras 17 e 18, para as condições deste trabalho, parece não

haver influência da altura da cana sobre o processo de redistribuição de umidade do solo.

Ao observar as Figuras 17 e 18 é possível verificar que apesar do pequeno aumento nos coeficientes com o término da irrigação, não ocorreu intensa redistribuição da água como esperado, isso pode ter sido ocasionado por diversos fatores, entre eles a textura do solo, por se tratar de um solo de textura franco arenosa, é possível que a água tenha percolado rapidamente, não permitindo a detecção da redistribuição de umidade. Perrens (1984) relata que a redistribuição de água no solo está fortemente relacionada à sua textura. Ou ainda a profundidade de coleta da umidade pode ter sido muito pequena (0,12 m) o que não permitiu detectar a redistribuição de umidade, é possível dizer ainda que o tempo de coleta das umidades tenha sido muito curto, talvez se a umidade continuasse sendo mensurada, a redistribuição fosse comprovada.

Nas Figuras 19 e 20 encontram-se os valores médios das lâminas precipitadas e armazenadas para as áreas com cana baixa e cana alta, respectivamente. Analisando os resultados apresentados nas referidas figuras é possível inferir que com o aumento dos espaçamentos ocorreu uma diminuição das lâminas precipitadas e armazenadas, tal fato ratifica o que já havia sido demonstrado para as áreas de cana baixa e cana alta, quando da avaliação dos coeficientes de uniformidade de distribuição. Como já discutido anteriormente, tal comportamento foi ocasionado pelo aumento da área irrigada e não ocorrência de adequada sobreposição entre aspersores.

Ainda em relação às Figuras 19 e 20, observa-se que os valores de precipitação foram maiores em cana baixa, pois, o índice de área foliar menor da cana neste cenário permitiu maior coleta da água aspergida. Por outro lado, na área com cana alta o dossel da cultura intercepta boa parte da água de irrigação. Apesar dessa diferenciação em termos de precipitação não ocorreu diferença no processo de armazenamento de água no solo. Analisando a Figura 20 pode-se ratificar esta informação. Uma consequência prática deste resultado refere-se a questões de dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação por aspersão, pois a informação de lâmina armazenada pode ser usada de maneira adicional para definir corretamente o tempo de irrigação da cana-de-açúcar. De acordo com os resultados obtidos no presente trabalho não há necessidade de correção do tempo de irrigação para aplicação da quantidade correta de água devido aos efeitos de interceptação vegetal na irrigação da cana alta. Tal resultado difere da proposta de Marques et al. (2009) que recomendaram o aumento do tempo de funcionamento de um sistema de irrigação por aspersão, como forma de compensar o efeito da interceptação

vegetal. Ressalta-se, contudo, que os referidos autores não realizaram a medição da quantidade de água armazenada no solo depois da irrigação.

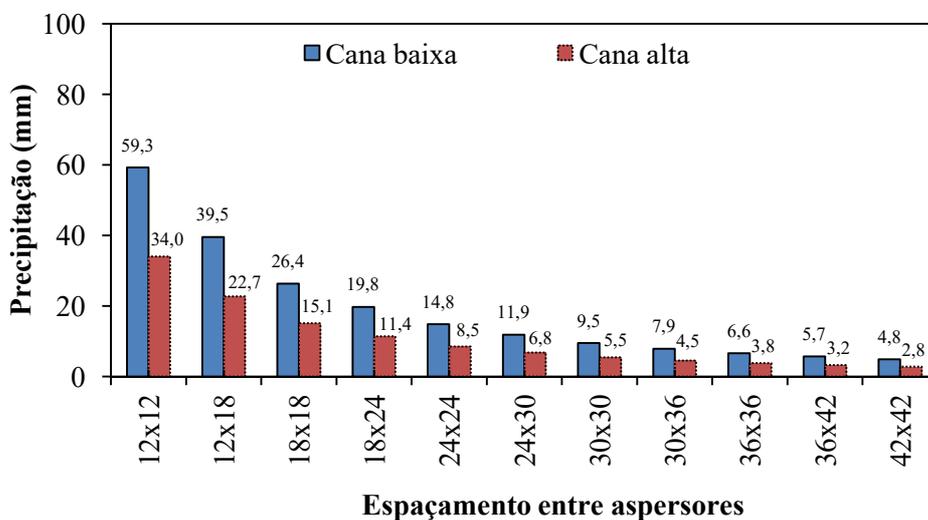


Figura 19. Média de lâmina precipitada para cana baixa e cana alta nos diferentes espaçamentos entre aspersores.

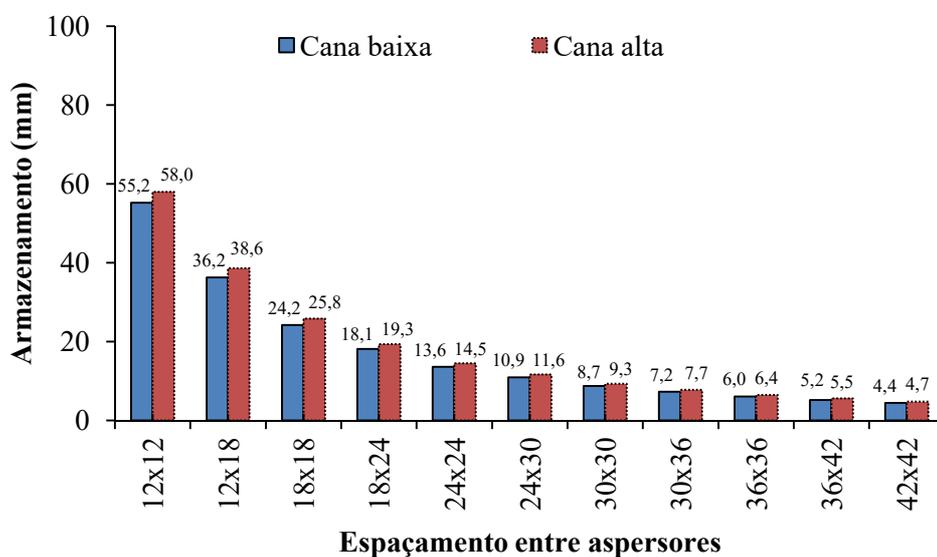


Figura 20. Média de lâmina armazenada no solo para cana baixa e cana alta nos diferentes espaçamentos entre aspersores.

5 CONCLUSÕES

A uniformidade de distribuição de precipitação em plantas no início da fase de crescimento (cana baixa) foi maior que a observada em fase de maturação (cana alta) em todos os espaçamentos simulados;

Para o sistema de aspersão analisado a uniformidade de distribuição de armazenamento em cana alta foi superior à de cana baixa para os espaçamentos de 12x12; 12x18; 18x18; 18x24 e 24x24 m;

Para o cenário de cana baixa, a uniformidade de precipitação foi superior à de armazenamento para todos os espaçamentos simulados;

Não houve diferença entre a uniformidade de armazenamento e precipitação para o cenário de cana alta para todas as simulações de espaçamento;

As quantidades de água armazenada e precipitada são equivalentes para o cenário de cana alta em todos os espaçamentos simulados;

O porte da cultura da cana-de-açúcar não influenciou no processo de redistribuição;

Considerando os estádios de cana alta e cana baixa, o espaçamento razoável recomendado para as condições deste experimento é o de 12x18 m.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFONSI, R.R.; PEDRO JR.; M.J., BRUNINI, O.; BARBIERI, U. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. et al. **Cana-de-açúcar; cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, p.42-55. 1987.
- BACCHI, O.O.S. Botânica da cana-de-açúcar. In: ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/Planalsucar, 1983. p.24-37. Belo Horizonte, n.9, p.21-32, 1997.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: UFV, 625 p. 2006.
- BISCARO, G. A.; **Sistemas de Irrigação por Aspersão**. Dourados, MS: UFGD, 134p. 2009.
- CARDOSO, H.E.A.; MANTOVANI, E.C.; COSTA, L.C. **As águas da agricultura**. Agroanalysis. Instituto Brasileiro de Economia/Centro de Estudos Agrícolas. Rio de Janeiro. p.27-28. 1998.
- CASTILHO, C. P. G. de. **Interceptação de chuvas na cultura da cana-de-açúcar (Saccharum Officinarum ssp.)**. Campinas. UNICAMP/SP. [s.n.], 2000. (Dissertação de Mestrado).
- CHRISTOFIDIS, D. **Água: Gênese, Gênero e Sustentabilidade alimentar no Brasil**, Brasília, DF, 18 p. 2006.
- CINTRA, J. E. V.; FERREIRA, G. H.; BRASIL, R. P. C. do; **Viabilidade da irrigação suplementar na fase inicial de desenvolvimento da cana-de-açúcar(Saccharum ssp.) em regiões com déficit hídrico**. Nucleus, Edição Especial, p. 111-119, 2008.
- COELHO, E.F.; OR, D. **Flow and uptake patterns affecting soil water sensor placement for drip irrigation management**. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 39, n. 6, p. 2007-2016, 1996.
- CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento de safra
- CRIDDLE, W.D.; DAVIS, S.; PAIR, C.H.; SHOCKLEY, D.G. **Methods for evaluating irrigation systems**. Washington DC: Soil Conservation Service - USDA, Agricultural Handbook, 82, 24 p. 1956.
- CRONQUIST, A. **The evolution and classification of flowering plants**. New York: The New York Botanical Garden, 555p. 1988.
- DALRI, A. B. Irrigação em cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de Cana de Açúcar**. Piracicaba: Ceres, p. 157-170, 2006.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Estudos FAO, Irrigação e Drenagem 33. Tradução Gheyi, H. R. et al., UFPB, Campina Grande. FAO, 306 p. 1994.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, Irrigation and Drainage Paper,33, 193 p. 1979.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 212p. 1997.

EMBRAPA. **Irrigação, métodos de irrigação**. 2007. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicações/milho/imetodos.htm.pdf>>. Acesso em: 21 Jan. 2014.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Browse Data. Producion. Crops. Sugar Cane. 2013. Disponível em <<http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>> Acessado em: 21 de Jan. 2015.

FLOREZ-TUTA, N.; GONÇALVEZ I. Z.; FEITOSA, D. R. C.; BARBOSA E. A. A.; DEUS, F. P. DE.; RIBEIRO, M. M.; MATSURA, E E. **Eficiencia de aplicación de agua en La superficie y en El perfil del suelo em um sistema de Riego por aspersion**. Agrocência, México, v. 47, n. 2, p. 107-119, 2013.

FRIZZONE, J. A.; REZENDE, R.; GONÇALVES, A. C. A.; HELBEL, C. J. **Produtividade do feijoeiro sob diferentes uniformidades de distribuição de água na superfície e na subsuperfície do solo**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.27, n.2, p.414-425, 2007.

FRIZZONE, J.A. **Irrigação por aspersão**. Piracicaba: ESALQ - Departamento de Engenharia Rural, Serie Didática, 3. 53p. 1992.

GOMES, H.P. **Engenharia de irrigação**. João Pessoa: Ed. Universitária/UFPB, 344p. 1994.

GRECO, R.; GUIDA, A. **Field measurements of topsoil moisture profiles by vertical TDR probes**. Journal of Hydrology, v.348, p.442-451, 2008.

HAMAN, D.Z; SMAJSTRLA, A.G.; PITTS, D.J. **Uniformity of sprinkler and**

HART, W.E. Overhead irrigation pattern parameters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.42, n.7, p.354-355, 1961.

INMAR-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. **Water relations in sugarcane and response to water dificits**. Field Crops Research 92, p. 185-202, 2005.

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: AVI Book, 652p. 1992.

MAIA NETO, R.F. **Água para o desenvolvimento sustentável**. A Água em Revista, MARQUES, P. A. A.; FONSECA, M. A. L.; BALDOTTO, P. V.; **Influence of lettuce as cover crop of the soil on sprinkler irrigation uniformity and parameters of efficiency**. Horticultura Brasileira, v. 27, n. 3, p. 377-382, 2009.

MATSUOKA, S. et al. Novas Variedades de Cana de Açúcar para região oeste do estado de São Paulo. In: **CONGRESSO NACIONAL DA STAB**, 7., 1999, Londrina., Anais... Piracicaba: STAB, p. 34-39, 1999.

microirrigation system for nurseries. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Boletim 312. 1997.

MONTE, A. J. **Produtor de Cana de Açúcar**/ Instituto Centro de ensino Tecnológico. 2. Ed. Ver - Fortaleza: Edições Demócrito Rocha; Ministério da Ciência e Tecnologia. 64 p. 2004.

MOZAMBINI, A.E.; PINTO, A.S.; SEGATO, S.V.; MATTIUZ, C.F.M. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NOBREGA, J.C.M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Alexandra de Sene Pinto, 2006. p. 11-18.

NASCIMENTO, T.; SOARES, J. M.; AZEVEDO, C. A. V. DE.; **Uniformidade de distribuição de água na superfície e no perfil do solo irrigado com o microaspersor rain-bird qn-14¹**. Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 3, n. 3, p. 304-308, 1999.

NETTO, A. O. A.; PEREIRA, F. A. C.; BARROS, A. C.; MELO A. S.; Quanto e quando irrigar. In NETTO, A. O. A.; BASTOS, E. A.; **Princípios Agronômicos da Irrigação**. Brasília: Embrapa, p. 179-192, 2013.

PAIVA, J.B.D. de. **Uniformidade de aplicação de água, abaixo da superfície do solo, utilizando-se irrigação por aspersão**. São Carlos: USP, Dissertação Mestrado, 125p. 1980.

PAZ, V. P. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. **Recursos Hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 4, n. 3, p.465-473, 2000.

PEREIRA, S.; OLIVEIRA FILHO, D.; MANTOVANI, E. C.; RAMOS, M. M.; MARTINS, J. H. **Reflectometria no domínio do tempo na determinação do conteúdo de água no solo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, p.306-314, 2006.

PERRENS, S.J. **Numerical analysis of soil water uniformity under sprinkler irrigation**. Journal Agricultural Engineering Research, Cambridge, v-30: p23-7, 1984.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: Edur. 191p. 2004.

PIRES, R. C. M.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E. Irrigação e drenagem. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. de; LANDELL, M. G. de A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, p.631-670, 2008.

RAMESH, P. **Effect of different levels of drought during the formative phase on growth parameters and its relationship with dry matter accumulation in sugarcane**. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v.185, p.83-89, 2000.

REBOUÇAS, A. C. **Água e desenvolvimento rural**. Estudos avançados, São Paulo, v.15, n. 43, 2001.

REICHARDT, K. **Processo de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 4. ed. Campinas: Fundação Cargill, 445p. 1985.

REZENDE, R.; FRIZZONE J. A.; GONÇALVES, A. C. A.; FREITAS, P. S L de.; **Influência do espaçamento entre aspersores na uniformidade de distribuição de água acima e abaixo da superfície do solo**. *Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 2, n. 3, p. 267-262, 1998.

REZENDE, R.; FRIZZONE; J.A.; BOTREL, T.B. **Desempenho de um sistema de irrigação pivô-central quanto à uniformidade de distribuição de água, abaixo e acima da superfície do solo**. *Engenharia na Agricultura, Viçosa*, v.2, n.19, p.01-07, 1992.

REZENDE, R.; GONÇALVES, A. C. A.; FRIZZONE, J. A.; FREITAS, P. S L de.; BERTONHA, A.; ANDRADE, C. A. B.; **Uniformidade de aplicação de água, variáveis de produção e índice de área foliar da cultivar de feijão Iapar 57**. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 24, n. 5, p. 1561-1568, 2002.

REZENDE, R.; GONÇALVES, A. C. A.; FRIZZONE, J. A.; FREITAS, P. S L de.; BERTONHA, A.; JUNIOR, C. H. **Uniformidade da lâmina de irrigação, da umidade so solo e da produção da cultura do feijoeiro, espacialmente referenciadas**. *Acta Scientiarum, Maringá*, v. 25, n. 2, p. 425-437, 2003.

RIBEIRO, D. R.; DEUS, F. P. de.; BARBOSA, E. A.; FEITOSA, D. R. C.; TUTA, N. F.; GONÇALVES, I. Z.; MATSURA, E. E. **Uniformidade da umidade do solo para diferentes espaçamentos em um sistema de irrigação por aspersão convencional**. *Irriga, Botucatu, Edição especial*, p. 220-233, 2012.

RIBEIRO, E. M. & GALIZONI, F. M. **Água, população rural e políticas de gestão: o caso do vale do Jequitinhonha, Minas Gerais**. *Ambiente & Sociedade*, v.6, n.1, p.129-146, 2003.

ROBERTSON, M.J.; MUCHOW, R.C.; DONALDSON, R.A.; INMAN-BAMBER, N.G.; WOOD, A.W. **Estimating the risk associated with drying-off strategies for irrigated sugarcane before harvest.** Australian Journal of Agricultural Research, v.50, p.65-77, 1999.

ROCHA, E. M. M.; COSTA, R. N. T.; MAPURUNGA, S. M. S.; CASTRO, P. T. SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; SILVA, V. M.; ALVES, G. D. **Capacidade de suprimento de nitrogênio e resposta à fertilização de vinte solos de Pernambuco.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.19 p.269-279, 1995.

SARALA, N. V.; RAO M. S.; KUMAR, M. H.; NAGAMADHURI, K. V. **Response of sugarcane to plant geometry and irrigation methods in southern agro - climatic zone of Andhra Pradesh.** Journal of sugarcane Research, Short Communication, p. 86-90, 2014.

SCARDUA, R.; ROSENFELD, V. **Irrigação da cana-de-açúcar.** In: PARANHOS, S.B. coord. Cana-de-Açúcar: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, v.1, cap.3, p.373-431. 1987.

SILVA, E. L da; 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.

SOARES, L. H de B.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. **Mitigação das emissões de gases efeito estufa pelo uso de etanol da cana-de-açúcar produzido no Brasil.** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, (Embrapa Agrobiologia. Circular Técnica, 27), 14p. 2009.

SOUZA, C.F.; MATSURA, E.E. **Avaliação de sondas multi-haste segmentadas para o monitoramento da umidade do solo por meio da técnica de TDR.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 63-68, 2002.

SOUZA, C.F.; MATSURA, E.E.; FOLEGATTI, M. V.; COELHO, E. F.; OR, DANI. **Sondas de TDR para a estimativa da umidade e da condutividade elétrica do solo.** Revista Irriga, Botucatu, v.11, n. 1, p. 12-25, 2006.

STEINER, J.L.; KANEMASU, E.T.; CLARK, R.N. **Spray losses and partitioning of water under a center pivot sprinkler system.** Transactions of the ASAE, v.26, n.4, p.1128-1134, 1983.

Uniformidade de distribuição de água por aspersão convencional na superfície e no perfil do solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.3, n.2, p.154-160, 1999.

WALKER, W. R.; SKOGERBOE, G. V. **Surface irrigation: theory and practice.** New Jersey: Prentice-Hall, 386p. 1987.

WILCOX, J.C.; SWAILES, G.E. Uniformity of water distribution by some under tree orchard sprinklers. **Scientific Agriculture**, v.27, n.11, p.565-583, 1947.

ZINK, F. **Cultura da Cana-de-Açúcar.** Campinas: CATI, 16p. 1978.