



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE AGRONOMIA

DANIELA ANDRESKA DA SILVA

**APLICATIVO ANDROID PARA AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE SISTEMAS
DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO E MICROIRRIGAÇÃO**

FORTALEZA
2021

DANIELA ANDRESKA DA SILVA

APLICATIVO ANDROID PARA AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE SISTEMAS DE
IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO E MICROIRRIGAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao Curso de graduação em Agronomia da Universidade Federal do Ceará em 25 de março de 2021, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Alan Bernard Oliveira de Sousa.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S579a Silva, Daniela Andreska da.
Aplicativo android para avaliação da uniformidade de sistemas de irrigação por aspersão e microirrigação /
Daniela Andreska da Silva. – 2021.
46 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências
Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Alan Bernard Oliveira de Sousa.

1. Uniformidade da irrigação. 2. Java. 3. Cud. 4. Cuc. I. Título.

CDD 630

DANIELA ANDRESKA DA SILVA

ANDROID PARA AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO
POR ASPERSÃO E MICROIRRIGAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao Curso de graduação em Agronomia da Universidade Federal do Ceará em 25 de março de 2021, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Agronomia.

Aprovada em: 25/ 03/ 2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alan Bernard Oliveira de Sousa (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Jose Antônio Frizzone
Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz (ESALQ/USP)

Prof. Dr. Adunias dos Santos Teixeira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, Criador de todas as coisas. À minha família, em especial minha mãe Erineide, meu pai Benedito e meu irmão Denilson.

AGRADECIMENTOS

À Deus Criador, detentor de toda a sabedoria e inteligência. Seu fôlego de vida em mim me foi sustento nos momentos de dificuldade e me deu coragem para questionar, aprender e desenvolver ao máximo dos dons que Ele me concedeu.

À minha mãe Erineide Maria, minha rainha terrena e ao meu pai Benedito Raimundo, pessoas a quem tenho um amor enorme e que tanto me ensinaram sobre humildade, respeito e amor. Para mim, são verdadeiros exemplos de força e perseverança, certamente, devo essa conquista a eles.

Ao meu irmão, Denilson Raimundo, pelo amor, pelos conselhos, sorrisos, pela escuta, pelo abraço, carinho e pelos inúmeros momentos de alegria durante esses anos. Aos meus avós, Maria Alexandrina e Valdeck Avelino (in memoriam), que estiveram presentes em minha vida desde a infância, me transmitindo sabedoria e muito carinho.

Ao meu orientador Professor Dr. Alan Bernard Oliveira de Sousa, pelas valiosas e incontáveis horas dedicadas à minha formação profissional e pessoal ao longo dessa trajetória acadêmica. Sem dúvidas, a experiência foi um divisor de águas, pois, graças à sua orientação, me descobri alguém apaixonada pela docência, carreira que pretendo seguir. Certamente desejo que essa parceria e amizade perdurem por muito tempo.

À Professora Francisca Sylvania de Sousa Monte, por ser tão inspiradora e amiga. Seu carinho e lições de vida serão eternos em meu coração.

Agradeço ao curso de Agronomia da Universidade Federal do Ceará, e a todo o corpo docente e administrativo, por receber uma adolescente e torná-la uma engenheira agrônoma. Esses agradecimentos se estendem a toda sociedade brasileira que provê a Universidade Pública e espera que seus egressos contribuam para o desenvolvimento do país.

Agradeço aos ilustres participantes da banca examinadora professores Jose Antônio Frizzone e Adunias dos Santos Teixeira por aceitarem o convite em compor esse momento ímpar da minha vida acadêmica.

A todos os amigos que estiveram nesse percurso, especialmente, ao Arthur Breno, por todo o apoio, carinho e companheirismo. Agradeço também à todas às amigas que se consolidaram no Laboratório de Irrigação e Drenagem: Daniel Furtado, Miriam, Amnonar e Cinthya, por compartilharem momentos especiais e pela colaboração nas atividades desenvolvidas no grupo. Aos amigos de estrada acadêmica: Alexandre, Leonardo, Denison, Flaildo, Pedro e João, pelas conversas, risos e parcerias nos trabalhos desenvolvidos.

Ao Ricardo Leoni pela nobre amizade, por todo o carinho e lealdade. Agradeço veemente por estar ao meu lado nos melhores e piores momentos dos últimos 12 anos. Também agradeço de coração ao Jonh Layonn e Gustavo Maria, que apesar da distância sempre me apoiaram em diversos momentos de dificuldade com muita compreensão e amor.

Agradeço imensuravelmente ao meu amigo Arthur, meu irmão Denilson e ao Prof. Alan Bernard, pela ilustre parceria no desenvolvimento do aplicativo UniIrrig. A participação de cada um foi essencial no desenvolvimento deste trabalho, que espero servir de ferramenta para estudantes, produtores e profissionais da área.

Aos meus padrinhos Edivar Ribeiro, Rosalvo, Luiz e minha madrinha Quirina, pelas orações contínuas que me fortaleceram na fé e caminhada em busca dos meus sonhos.

À Gabrielle Desirré, pela companhia, pelas inúmeras horas de escuta, pelos sorrisos e apoio nessa reta final de minha graduação. Por ter se tornado uma irmã.

Aos Funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola e do laboratório de hidráulica, que sempre foram companheiros e receptivos.

A todos aqueles que passaram pela minha vida e que de alguma forma deixaram algum aprendizado ou legado, colaborando para o meu desenvolvimento técnico científico e pessoal. Todos somos canais de aprendizado e, de uma forma ou de outra, a transmissão de conhecimento é uma mão de via dupla excepcional para nosso crescimento nos mais diferentes aspectos.

Muito Obrigada!

“Se enxerguei mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes.” (Isaac Newton, 1675).

“A escassez e mau uso da água doce representam sérios e crescentes problemas que ameaçam o desenvolvimento sustentável e a proteção do ambiente. Conferência internacional da água e desenvolvimento sustentável.” (Dublin, Irlanda 1992).

RESUMO

A região semiárida brasileira é caracterizada pela escassez hídrica decorrente de regimes pluviométricos irregulares e bacias de caráter intermitente sazonal. O uso racional bem como o gerenciamento estratégico do manejo dos recursos hídricos para essa região são ferramentas importantes para convivência com essas características. Nesse cenário, a uniformidade da irrigação desempenha papel importante na manutenção da eficiência e da produtividade do uso da água. Evidenciando-se assim a importância do uso de ferramentas e tecnologias que auxiliem na gestão, manejo e monitoramento dos sistemas de irrigação. Em função do exposto, objetivou-se desenvolver um aplicativo para a determinação de indicadores de uniformidade de sistemas de irrigação por aspersão e localizada. O Aplicativo UniIrrig foi desenvolvido utilizando a plataforma Android Studio10 versão 4.0.1, em linguagem JAVA, com aplicabilidade em aparelhos smartphones que executam sistema operacional Android. Para verificação dos cálculos e respostas obtida pelo aplicativo, os mesmos valores de entrada inseridos no aplicativo UniIrrig também foram inseridos ao Microsoft® Excel 2010. No método por microirrigação foram avaliados 800 dados (50 repetições x 16 combinações), assim como no método por aspersão onde foram aplicados para o cálculo de 1 aspersor, 2 aspersores e 4 aspersores. Como resultado, observou-se que a aferição entre os softwares constatou erro igual à zero. A análise de correlação dos dados resultou em “r”=1, constatando, portanto, perfeita correlação entre os resultados obtidos pelo aplicativo e pelo Microsoft® Excel 2010. Dessarte, o aplicativo UniIrrig, produzido para o sistema operacional Android, pode ser utilizado para a determinação do coeficiente de uniformidade (CUC, CUD) para sistemas de irrigação por aspersão e localizada.

Palavras-chave: Uniformidade da irrigação. Java. CUC. CUD.

ABSTRACT

The Brazilian semi-arid region is characterized by water scarcity due to irregular rainfall patterns and intermittent seasonal basins. The rational use as well as the strategic management of the management of water resources for this region are important tools for living with these characteristics. In this scenario, the uniformity of irrigation, an important role in maintaining the efficiency and productivity of water use. Thus evidencing the importance of using tools and technologies that assist in the management, management and monitoring of irrigation systems. In view of the above, the objective is to develop an application for the determination of uniformity indicators for sprinkler irrigation systems and microirrigation. The UniIrrig Application was developed using an Android Studio10 platform version 4.0.1, in JAVA language, with applicability in smartphone devices running Android operating system. To verify the calculations and responses obtained by the application, the same input values entered in the UniIrrig application were also entered in Microsoft® Excel 2010. In the microirrigation method, 800 data were obtained (50 repetitions x 16 adapted), as well as in the sprinkler method where 1 sprinkler, 2 sprinklers and 4 sprinklers were required to calculate. As a result, it was observed that the measurement between the software found an error equal to zero. The correlation analysis of the data resulted in “r” = 1, thus verifying a perfect correlation between the results obtained by the application and by Microsoft® Excel 2010. Thus, the UniIrrig application, for Android, can be used to determine the uniformity coefficient (CUC, CUD) sprinklers irrigation systems and microirrigation systems.

Keywords: Irrigation uniformity. Java. CUC. CUD.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1 Eficiência de irrigação	14
2.2 Eficiência de aplicação.....	15
2.3 Uniformidade da irrigação	18
2.4 Uniformidade e o grau de adequação.....	22
2.5 Relações entre a uniformidade e a percolação.....	23
2.6 Uniformidade e o custo da água.....	24
2.7 Produtividade da água.....	25
2.8 Desenvolvimento de aplicativos.....	26
3 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1 Descrições do aplicativo	30
3.2 Verificação dos resultados	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1. Irrigação por aspersão	33
4.2. Irrigação por microirrigação	36
4.3. Outras funcionalidades	38
4.4. Verificação do aplicativo UniIrrig	39
5 CONCLUSÃO.....	41
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS	42

1 INTRODUÇÃO

A prática da irrigação nas regiões áridas e semiáridas consiste na garantia de suprimento hídrico necessário na frequência e quantidade requerida pela cultura em todas as fases de desenvolvimento (SILVA *et al.*, 2019). Entretanto, a elevada evapotranspiração associada ao inadequado manejo hídrico, pode contribuir no acúmulo de sais, provocado salinização das áreas irrigadas (LIMA, *et al.*, 2014).

Em termos globais, as áreas irrigadas correspondem a menos de 20% de toda área agrícola do planeta, entretanto, responsáveis por mais de 40% da produção total, sendo o Brasil detentor de aproximadamente 12% das águas doces superficiais do mundo (BORGHETTI, *et al.*, 2017).

Apesar da posição privilegiada do Brasil em termos de recursos hídricos, cerca de 80% estão localizados na região Amazônica e os 20% restantes estão mal distribuídos entre as demais regiões do território nacional (CARNEIRO, 2015). Visto que a agricultura irrigada utiliza significativamente as reservas hídricas, a adoção de estratégias que visem o uso racional e eficiente da água é indispensável nos diferentes métodos de irrigação, visando menor desperdício de água.

Uma vez instalado o sistema, é imprescindível a verificação das condições previstas no projeto em campo, devendo-se avaliar as condições de pressão, vazão e lâminas d'água aplicadas (NASCIMENTO, *et al.*, 2017). Além disso, deve-se atentar aos fatores que podem influenciar na uniformidade do sistema, como espaçamento entre emissores e laterais, pressão de serviço dos emissores, tipo de emissor (vazão, altura em relação ao solo, diâmetro do bocal), e fatores meteorológicos (COELHO; SILVA, 2013).

O desempenho ideal de um sistema de irrigação concerne aos fatores de eficiência potencial de aplicação e uniformidade da aplicação (RODRIGUES, *et al.*, 2019). Dessarte, o parâmetro de aferição da uniformidade de aplicação de água nos diversos sistemas de irrigação tange à utilização do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), proposto por Christiansen (1942) e o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) proposto por Criddle *et al.* (1956).

Segundo Martins *et al.* (2012), o CUC de 80% sinaliza que cerca de 80% da área irrigada receberá lâmina maior ou igual à lâmina média de aplicação. Já o CUD segundo Soil Conservation Service (1968) considera a razão média do menor quartil e a lâmina média coletada do sistema, sendo que, o baixo valor desse coeficiente, expressa uma perda de água por percolação profunda quando a lâmina mínima aplicada corresponde à lâmina necessária.

Nesse sentido, a tecnologia vem se tornando grande aliada ao setor agrícola, beneficiando as atividades em todo processo produtivo e gestão da propriedade (ANDRADE, 2019). Com a popularização dos smartphones e necessidade de gerenciamento do uso eficiente dos recursos hídricos, Lopes *et al.* (2019) elucida que o uso de aplicativos móveis têm facilitado o manejo da irrigação, dispensando ao usuário maior demanda de tempo na efetuação dos cálculos. Em função do exposto, objetivou-se desenvolver um aplicativo para a determinação de indicadores de uniformidade de sistemas de irrigação por aspersão e localizada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Eficiência de irrigação

O acompanhamento dinâmico dos cultivos associado ao monitoramento eficiente das áreas irrigadas e avaliação dos sistemas, é de notável relevância para a eficiência da irrigação (RIBEIRO *et al.*, 2017). O termo “eficiência da irrigação” (EI) segundo Burt *et al.* (1997) relaciona o volume de irrigação benéficamente usado e o volume total de água de irrigação que deixa os limites do campo, conforme a equação abaixo (Equação 01).

$$EI(\%) = \frac{\text{Volume de irrigação benéficamente usado}}{\text{Volume de irrigação aplicado} - \Delta \text{arm. da água de irrigação}} \times 100 \quad 01$$

Segundo Frizzone (2015) o numerador está relacionado ao volume de água evapotranspirada (cultura e/ou plantas benéficas), aquela utilizada para controle de temperatura, lixiviação de sais, preparação do solo e plantio, para aplicação de pesticidas e fertilizantes, entre outros usos. Já o denominador representa a quantidade de água irrigada que saiu dos limites da área. Essa relação sempre será menor que um, visto no decorrer ou após a irrigação ocorrerem perdas no processo de aplicação da água e/ou drenagem (STAMATO JÚNIOR, 2007).

De acordo com Moura *et al.* (2013) os principais métodos para estimar a evapotranspiração são os métodos diretos que se caracterizam por determinar a evapotranspiração diretamente da área, com auxílio de lisímetros. Já o método indireto, destaca-se o modelo recomendado pela FAO (Food and Agriculture Organization) conhecido como “Penman-Monteith” como padrão para determinação da evapotranspiração de referência (ALLEN *et al.*, 1998).

A ineficiência dos sistemas de irrigação está diretamente relacionada ao dimensionamento hidráulico, manejo, manutenção e condições de solo e clima, devendo-se, portanto, ser considerados os diversos fatores no processo de seleção do sistema (MAROUELLI *et al.*, 1996). Em conformidade a Agência Nacional de Águas (ANA, 2017) elucida que no Brasil a EI pode sofrer influência das práticas locais de operação dos equipamentos e de manejo da água e do solo, além de ser frequentemente afetada por erros nas etapas de implementação e planejamento da irrigação na propriedade.

Segundo Marouelli *et al.* (1996) a EI no método de irrigação superficial raramente ultrapassa os 50%, já no método por aspersão varia na faixa entre 70% e 80% e na irrigação localizada, especificamente no sistema por gotejamento a eficiência situa-se entre 85% e 95%. Na irrigação localizada, de acordo com Coelho *et al.* (2005) o sistema por gotejamento subsuperficial possui maior eficiência, visto as perdas por evaporação serem os menores possíveis, em razão da posição do emissor no solo.

Vale ressaltar que de acordo com a ANA (2017), não há um sistema ou método de irrigação considerado ideal, requerendo, dessarte, a avaliação dos componentes ambientais e socioeconômicos. Entretanto, podem-se verificar na tabela de classificação dos indicadores de eficiência de irrigação, que os métodos que possuem maior eficiência são os de aspersão e localizada, considerando boas condições de instalação, operação e manejo (ANA, 2017) (Tabela 1).

Tabela 1. Indicadores de eficiência da irrigação para os sistemas mais comuns.

Métodos	Sistema de Irrigação	Eficiência de Referência	Perdas
Superfície	Sulco	65	35
	Sulcos fechados ou interligados em bacias	75	25
	Inundação	60	40
Subterrâneo	Gotejamento subterrâneo ou enterrado	95	5
	Subirrigação ou elevação do lençol freático	60	40
Aspersão	Convencional com linhas laterais ou em malha	80	20
	Mangueiras perfuradas	85	15
	Canhão autopropelido/Carretel enrolador	80	20
	Pivô central (fixo ou rebocável)	85	15
	Linear	90	10
Localizado	Gotejamento	95	5
	Microaspersão	90	10

Fonte: Adaptado da ANA (2013).

Portanto, para que haja uma irrigação eficiente, Silva *et al.* (2021) elucida que o sistema deve apresentar alta uniformidade de aplicação da água. Dessarte, avaliar condições da lâmina d'água aplicada, vazão e pressão, são extremamente necessárias para a boa uniformidade e distribuição da água (SILVA; SILVA, 2005).

2.2 Eficiência de aplicação

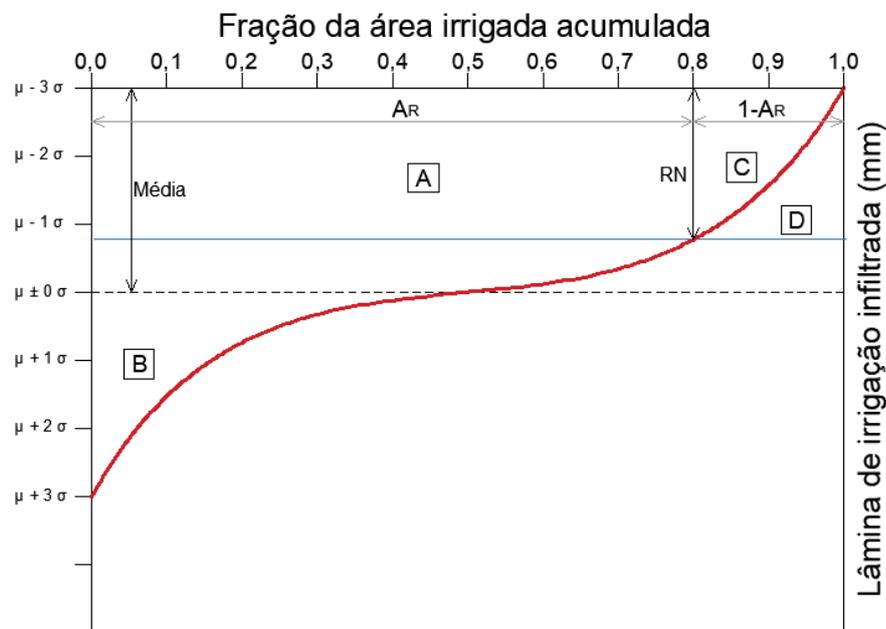
A prática da irrigação consiste na aplicação de água e posterior armazenamento no solo a fim de suprir as necessidades hídricas da planta, entretanto, para que haja uniformidade no crescimento e desenvolvimento da cultura, é imprescindível a adoção de estratégias para

uma aplicação eficiente (SRH, 2016).

Nesse contexto, a eficiência de aplicação (E_a) representada segundo Frizzone (2015) pela razão entre a quantidade de irrigação que contribui com a meta ($A+C$) e a quantidade de água total infiltrada na área ($A+B+C$) somado á quantidade de água perdida por deriva e evaporação (E) confere parâmetro indispensável no manejo adequado da irrigação, relacionando todas as perdas na parcela (Equação 02).

$$E_a (\%) = \frac{A+C}{A+B+C+E} \times 100 \quad 02$$

Figura 1. Função densidade de probabilidade normal acumulada para as quantidades de irrigação infiltradas, ou curva de frequência acumulada.



Fonte: Adaptado de Frizzone (2015)

No esquema representado na Figura 01 é possível observar a distribuição acumulada e a lâmina de irrigação infiltrada em um sistema por aspersão, considerando segundo Anyoji e Wu (1994) um intervalo de confiança de 99%, o que representa uma distribuição normal fechada ($\mu \pm 3\sigma$). Em conformidade, Frizzone (2015) elucida que quando a função densidade de probabilidade resulta em 1, significa que 100% da área recebe mais que ($\mu \pm 3\sigma$). Os volumes de água envolvidos no esquema da figura 1 podem ser calculados da seguinte forma (ANYOJI; WU, 1994):

$$A = A_R (\bar{W} + T_R \times S) \quad 03$$

$$B = \frac{S}{\sqrt{2\pi}} e^{-T_R^2/2} - A_R \times T_R \times S \quad 04$$

$$C = \bar{W}(1 - A_R) - \frac{S}{\sqrt{2\pi}} e^{-T_R^2/2} \quad 05$$

$$D = (1 - A_R)T_R \times S + \frac{S}{\sqrt{2\pi}} e^{-T_R^2/2} \quad 06$$

$$A + B = \frac{S}{\sqrt{2\pi}} e^{-T_R^2/2} + \bar{W} \times A_R \quad 07$$

$$A + C = \bar{W}_{arm} + A_R \times T_R \times S \frac{S}{\sqrt{2\pi}} e^{-T_R^2/2} \quad 08$$

$$C + D = (1 - A_R) \times (\bar{W} + T_R \times S) \quad 09$$

Em que:

$$\bar{W} = A + B + C$$

$$T_R = \frac{IRN - \bar{W}}{S}$$

$\bar{W} \rightarrow$ Lâmina média infiltrada na área;

$T_R \rightarrow$ Lâmina real necessária em unidade padrão;

$IRN \rightarrow$ Lâmina real necessária;

$S \rightarrow$ Desvio padrão da lâmina média infiltrada;

$\bar{W}_{arm} \rightarrow$ Lâmina média útil armazenada.

$A_R \rightarrow$ Lâmina média útil armazenada;

Segundo Antunes (2018) a constatação de um sistema com a E_a elevada indica aplicação hídrica adequada na área, no entanto, isto apenas seria possível caso não houvesse perdas por percolação inferior à zona efetiva das raízes. Dentre as perdas relacionadas à E_a podem ser mencionadas também as que ocorrem por vazamentos de água na tubulação, perdas por evaporação, pelos emissores, escoamento superficial e arrastamento de gotas entre a saída do emissor e o solo (SRH, 2016).

Havendo reutilização da água escoada na parcela, Frizzone (2017) explica que deve-se subtrair o volume de água recuperada da quantidade total de água aplicada na parcela, entretanto, aconselha-se que o reuso seja utilizado em outra parcela. Além do reuso da água aplicada, a eficiência de aplicação pode se aproximar da uniformidade de distribuição se houverem mínimas perdas por evaporação e o tempo de infiltração ao longo da parcela for adequado (FRIZZONE, 2017).

Silva (1989) relata que em simulações computacionais e trabalhos de modelagem mostraram que alguns fatores exercem efeito significativo na evaporação da lâmina aplicada e na uniformidade de distribuição, estes são: umidade relativa do ar, temperatura, altura de instalação do emissor e velocidade do vento. De acordo com Gomes (2013) a E_a de sistemas por aspersão durante o dia varia entre 60%, em regiões semiáridas, a 75% em regiões de clima

moderado, já no período noturno a eficiência pode alcançar valores próximos a 90%.

Além disso, de acordo com Martins (2013) outros fatores como, a intensidade de aplicação, pressão de serviço dos aspersores e perdas por vazamento podem interferir diretamente na eficiência do sistema. Havendo boa manutenção dos sistemas adotados, o risco de perdas gira em torno de 1%, ao passo que em situações de manutenção inadequada do sistema as perdas podem ultrapassar 10% (MARTINS, 2013), essas perdas segundo Bernardo *et al.* (2006) acontecem sobretudo nos acoplamentos das tubulações.

Portanto, realizar constantemente a avaliação da uniformidade e eficiência de aplicação de água possibilita a constatação prévia de eventuais problemas (BISCARO, 2014), garantindo a correta manutenção do sistema. Sobretudo, é notável a crescente necessidade dos avanços tecnológicos, uma vez que estes possam contribuir imensuravelmente na eficiência do sistema, facilitando o manejo e beneficiando o ambiente.

Em estudos sobre a distribuição de água por aspersores utilizando exemplos numéricos, Howell (1964) constatou que a irrigação desuniforme interfere diretamente na E_a , assim como o Coeficiente de Christiansen (1942), a razão da altura média da lâmina aplicada e a simetria de distribuição. Entretanto, é importante frisar que, a eficiência do sistema não depende apenas das características físicas ou de distribuição de água, mas, sobretudo, da escolha adequada do projeto e do manejo da irrigação (SENAR, 2019).

2.3 Uniformidade da irrigação

O termo uniformidade segundo Rezende *et al.* (2002) é empregado aos parâmetros de desempenhos congruentes à variação da lâmina de água ao longo da superfície da área irrigada. Essa uniformidade do sistema é obtida através de coeficientes que aplicam medidas de dispersão, expressada de modo adimensional (FRIZZONE, 2015).

A aplicação de equações de uniformidade na avaliação pós-implantação de um sistema de irrigação é imprescindível, pois isto possibilita a obtenção de referências à situação atual do sistema de irrigação (FAVETTA; BROTEL, 2001) auxiliando consequentemente na tomada de decisões relacionadas ao diagnóstico do sistema (SANTOS *et al.*, 2015).

Souza *et al.* (2017) elucidam que essas equações fornecem valores precisos, porém, em áreas extensas, torna-se necessário muito tempo e mão-de-obra, em razão da quantidade de emissores do sistema. Segundo Frizzone (2015) a melhoria da uniformidade de distribuição em sistemas de irrigação é considerada a decisão mais relevante para o manejo

eficiente da aplicação da água.

Na avaliação da uniformidade da irrigação, os coeficientes mais utilizados são: Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC) (Equação 10), o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) (Equação 11) e o Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE) (Equação 12).

O Coeficiente de Uniformidade de Christiansen foi calculado aplicando-se a Equação 07 (CHRISTIANSEN, 1942).

$$CUC = 100 \times \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |Q_i - Q|}{n Q} \right) \quad 10$$

Em que:

CUC = Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (%);

Q_i = vazão coletada em cada gotejador ($L h^{-1}$);

Q = média das vazões coletadas de todos os gotejadores ($L h^{-1}$);

n = número de emissores analisados;

De acordo com Soil Conservation Service (1968), a equação para cálculo do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), no qual considera a média de 25% dos menores valores de precipitação é determinada a partir da Equação 08:

$$CUD = 100 \cdot \frac{Q_{25}}{Q_{med}} \quad 11$$

Em que:

CUD = Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (%);

Q_{25} : Média de 25% do total de emissores com as menores vazões, ($L h^{-1}$);

X = Média das vazões coletadas nos emissores na subárea, ($L h^{-1}$).

Para cálculo do coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) é utilizada a equação de Wilcox e Swailes (1947) ao qual utilizam o desvio padrão como medida de dispersão (Equação 12).

$$CUE = 100 \left(1 - \frac{S}{\bar{X}} \right) \quad 12$$

Em que:

CUE = Coeficiente de uniformidade estatístico (%) (WILCOX; SWAILES, 1947);

S = Desvio-padrão dos dados de precipitação (mm);

\bar{X} = Média das precipitações (mm).

Segundo Oliveira *et al.* (2015), Christiansen (1942) foi o primeiro pesquisador a determinar o efeito da velocidade do vento sobre a uniformidade da água para aspersores rotativos, o efeito da pressão de serviço, rotação e espaçamento entre aspersores, instituindo o

coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC).

Segundo Bernardo (1995), o CUC é o coeficiente de uniformidade mais utilizado, sendo posteriormente em menor proporção o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição e o Coeficiente de Uniformidade Estatístico. Entretanto, Marek *et al.* (1986) elucidam que o CUC possui baixa sensibilidade à lâmina de irrigação, por utilizar como medida de dispersão o desvio absoluto médio. Por outro lado, o CUD possui maior sensibilidade ao efeito da lâmina de irrigação, sendo, portanto, o mais empregado em culturas de valor econômico.

Segundo Cunha *et al.* (2009) embora existam diversas equações para obtenção da uniformidade, não há ainda estudos que relacionem esses coeficientes com o conceito de área adequadamente irrigada, o que tornaria a interpretação dos resultados mais eficaz. Uma irrigação fora dos parâmetros de uniformidade resulta em área subirrigada ou superirrigada, de modo que, em um sistema com declínio na uniformidade de distribuição, haveria a necessidade de maior aplicação de água na área irrigada (MORAIS, 2017), podendo ocasionar a redução da porosidade do solo e, portanto, prejuízos na produção (FRIGO, 2012).

Em estudo de caso realizado na Fazenda Cafundó, Amarante-CE, foi verificado que a cultura apresentava sintomas de deficiência hídrica mesmo sob irrigação constante através da microaspersão (ANA, 2016). Após análise, as falhas encontradas deviam-se à insuficiente aplicação de lâmina d'água, ocasionada, sobretudo pelo entupimento dos microaspersores e baixa pressão de trabalho dos mesmos (ANA, 2016).

Nesse contexto, a finalidade de avaliar um sistema de irrigação tange o diagnóstico e ajuste do volume de água aplicado pelo equipamento em funcionamento, identificando os componentes a serem substituídos ou reparados, a fim de reduzir custos de energia e de produção (ANA, 2016).

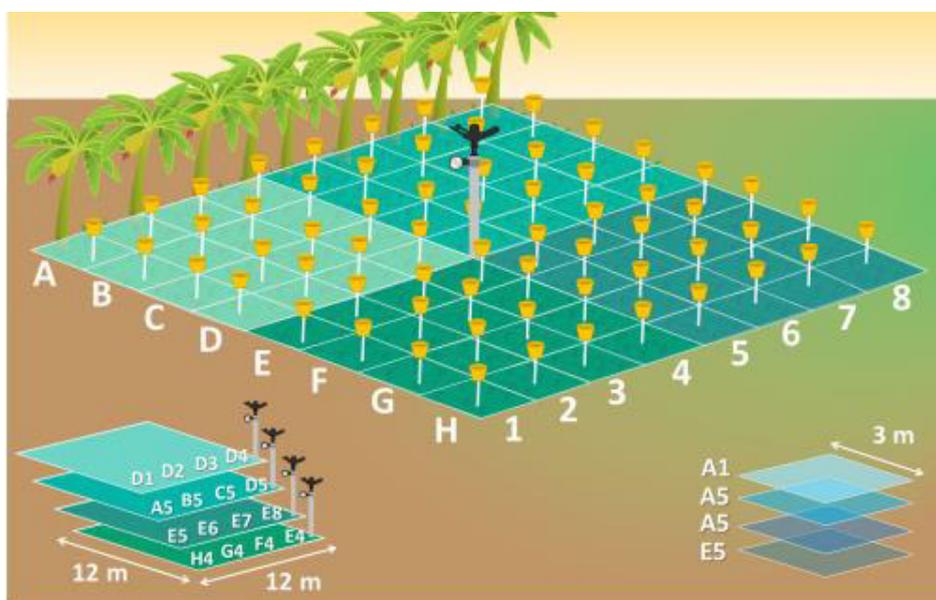
O desempenho dos diversos métodos de irrigação é mensurado através de parâmetros de eficiência e uniformidade da água aplicada pelo sistema de irrigação (CUNHA *et al.*, 2009). Em conformidade Silva *et al.* (2004) elucidam que esses parâmetros de eficiência e uniformidade podem ser obtidos através das medidas de lâmina de água ou mediante modelos matemáticos. Complementa ainda que por melhor que seja o sistema de irrigação, a uniformidade hídrica aplicada nem sempre será plenamente efetiva, sendo, portanto, a mensuração dessa variabilidade crucialmente importante na avaliação do funcionamento da irrigação.

De acordo com Silva *et al.*, (2002), a realização da coleta de dados para a avaliação de desempenho do sistema em testes de campo varia conforme o método adotado. Os autores exemplificam alguns métodos: Na aspersão convencional, a disposição dos

coletores (Figura 3) na área irrigada, vai depender da maneira como as linhas laterais estão operando. Neste é utilizado o kit uniformidade composto por haste, pluviômetros e proveta graduada, onde serão posicionados no centro de cada subárea (CUNHA *et al.*, 2009).

É importante ressaltar que o período dos testes deve ser suficiente para que haja a coleta de um volume de água que propicie sua medição precisa, e que os testes devam ser realizados em condições de vento nulo ou quase nulo (ANA, 2016). A seguir é exibido um esquema ilustrando a instalação de um aspersor com espaçamento de 12x12 e posterior sobreposição dos quadrantes (Figura 2).

Figura 2. Instalação de um aspersor central com seus respectivos quatro quadrantes e esquema de sobreposição dos volumes coletados (ANA, 2016).



Fonte: DEaD/IFCE (2016)

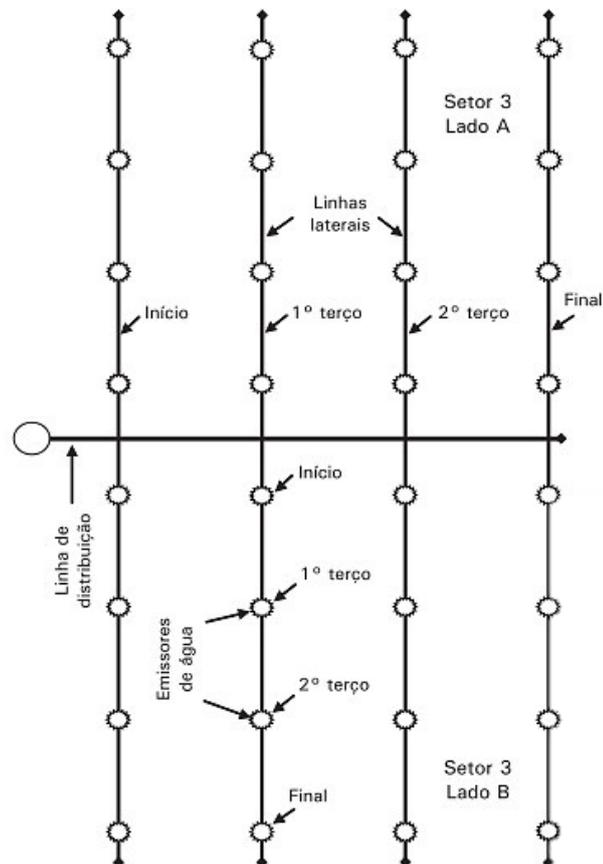
Já na irrigação localizada a avaliação de desempenho consiste na coleta da vazão aplicada pelos emissores (Figura 3), ressaltando não ser necessário a medição da vazão proveniente de todos os emissores (MERRIAM; KELLER, 1978). Silva *et al.* (2002) explica que para obtenção da amostra representativa seleciona-se um dos setores irrigados que melhor configura a pressão de serviço, as laterais de um dos lados (A ou B) e os emissores localizados nas extremidades, no 1º e 2º terço da linha (Figura 4).

Figura 3. Coleta do volume água do sistema de irrigação localizada por gotejamento para avaliação de uniformidade.



Fonte: SENAR (2019)

Figura 4. Esquema de seleção de linhas e emissores para coleta de água e avaliação de desempenho do sistema de irrigação localizada.



Fonte: Silva *et al.* (2002)

2.4 Uniformidade e o grau de adequação

Alguns parâmetros de desempenho na prática da irrigação são utilizados para expressar sua qualidade, estes são: eficiência, uniformidade e grau de adequação

(FRIZZONE, 2017). Este último termo, segundo Frizzone (2007) representa o quanto que o sistema satisfaz, em referencia à área que recebe água, consoante às necessidades da cultura, no intuito de manter a produtividade e a qualidade do produto no nível econômico desejado.

As lâminas de irrigação sendo menores que a evapotranspiração da cultura (E_c) em período de prática da irrigação com déficit, conduzem ao grau de adequação reduzido, ao quais as produtividades serão reduzidas (FRIZZONE, 2007). Contudo, o autor complementa que em resultado, viabiliza o aumento da eficiência de aplicação, redução da lixiviação e percolação, como também dos custos operacionais da irrigação.

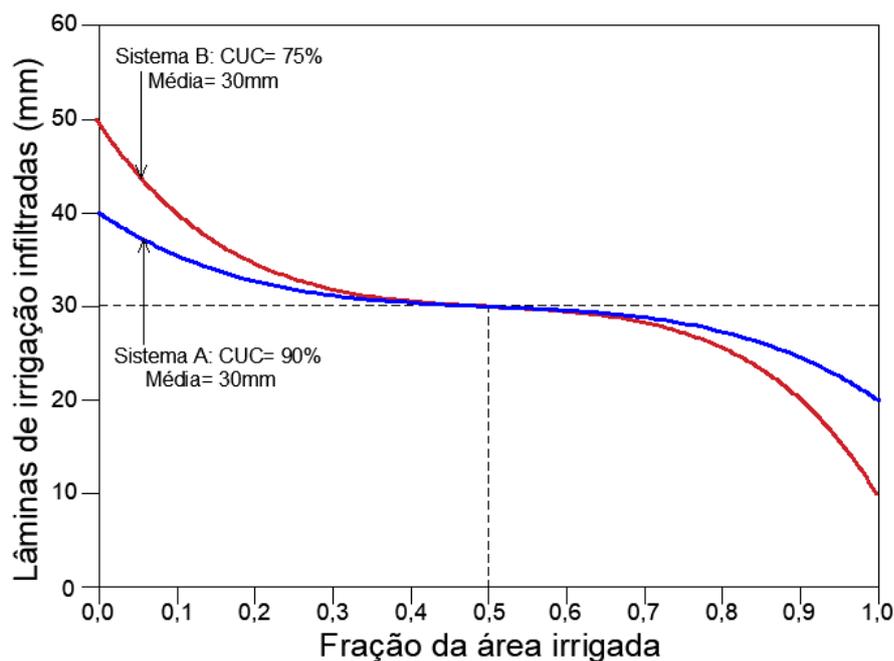
Dessarte, para potencializar o retorno econômico é indispensável o estabelecimento do equilíbrio entre a diminuição da receita bruta e os benefícios associados à alta uniformidade de distribuição (FRIZZONE, 2015). De acordo com Merriam e Keller (1978), em culturas de sistema radicular curto, com alto valor econômico, o sistema mais viável seria aquele que proporcionasse alta uniformidade (UD) de distribuição hídrica.

2.5 Relações entre a uniformidade e a percolação

A região semiárida do Brasil, onde a prática da irrigação é essencial na produção agrícola, quando expressa baixos índices de uniformidade de aplicação de água, sobretudo em solos de característica arenosa, podem resultar em elevadas perdas de água por percolação profunda (ROCHA, *et al.*, 1999). Além disso, áreas subirrigadas, sujeitam-se a encharcamentos, erosão do solo e lavagem de nutrientes (GOMES, 2013).

Essa relação entre a percolação de água na parcela e a uniformidade de distribuição ($A_R=50\%$) como pode ser observada na figura 5, revela que os volumes de déficit ou excesso para o CUC=90% são menores do que para o CUC=75% (FRIZZONE, 2015). O autor complementa que a elaboração de projetos e estratégias que visem elevados índices de uniformidade no sistema, possibilita o alcance da alta eficiência de distribuição da irrigação embora realizada com alto grau de adequação.

Figura 5. Distribuição de água para o grau de adequação de 50% para dois níveis de uniformidade do coeficiente de uniformidade de Christiansen com lâmina média de 30mm.



Fonte: Adaptado de Frizzone (2015)

2.6 Uniformidade e o custo da água

O termo “custo” quando relacionado à análise econômica, segundo Zocoler (2003) representa a compensação que os proprietários dos fatores de produção recebem para que continuem fornecendo esses fatores. De acordo com Brennan e Tradel (2006) essa análise econômica não depende apenas da receita líquida dos resultados do projeto de irrigação, mas da vinculação entre os custos de capital e a uniformidade de aplicação, sendo esta última segundo Castiblanco (2009) ter a variação da receita afetada pela intensidade do vento.

Valores elevados do grau de adequação e de UD podem estar relacionados a elevados custos operacionais e investimentos (HEERMANN *et al.*; 1992), portanto, caso a cultura seja de alto valor econômico e a água não seja escassa, torna-se viável a compensação da baixa UD pela aplicação de uma lâmina adicional à necessidade da cultura, a fim de diminuir a área de déficit (DUKE *et al.*, 1992; MANTOVANI *et al.*, 1995), mesmo que o aumento da lâmina possa elevar as perdas por lixiviação dos nutrientes e custos de operação (FRIZZONE, 2017).

Isso implica não somente na contaminação do lençol freático e redução da produtividade da cultura, mas ocasiona significativas perdas econômicas dependendo do volume de água aplicada, sendo, portanto, aconselhado evitar a irrigação com elevado grau de adequação (FRIZZONE, 2017).

Castiblanco (2009) analisando a economia de energia em irrigação por pivô central em função da melhoria na uniformidade da distribuição de água constatou que a influência da UD e do custo hídrico sobre a receita líquida é superior para os CUC's menores. O autor também acrescenta que, quanto maior o CUD, o consumo de energia utilizado representará porcentagem menor no decréscimo da receita líquida total (CASTIBLANCO, 2009).

2.7 Produtividade da água

A eficiência de uso da água (EUA) segundo Perry *et al.* (2009) é aplicada como um termo de produtividade da água (PA), relacionando a produtividade da cultura por unidade de volume de água consumida, sendo definida por Viets (1962) através da equação 01. Na agricultura, a produtividade da água tem sido classificada com um indicador para quantificar o impacto do calendário de irrigação ao manejo da água, contudo, é preciso especificar a biomassa ou produção econômica e o consumo de água (FRIZZONE, 2017)

$$EUA = \frac{Y}{W}$$

13

Em que:

EUA = Produtividade da água

Y = Taxa de produção de matéria seca ($\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$);

W = Taxa de transpiração, mm d^{-1} ;

Conhecer a EUA tem sido de fundamental importância na agricultura irrigada, principalmente em regiões de escassez hídrica (TOSTA, 2014), onde as culturas com elevada produtividade da água devem ser as mais adotadas, apesar de haverem outros fatores (FRIZZONE, 2015). Culturas como frutas, grãos e aquelas com alto valor energético e teor de proteínas podem ter baixa PA, contudo deve-se levar em consideração seu valor nutricional em regiões de escassez hídrica (FRIZZONE, 2015).

Segundo Coelho *et al.*, (2005), a potencialização da eficiência no uso da água pode ser alcançada de duas maneiras: Primeiramente “Atuando-se no numerador da razão, aumentando a produtividade para a mesma quantidade de água aplicada/ evapotranspirada ou reduzindo o denominador da razão”. A outra seria a criação de meios para redução da lâmina aplicada, de forma a reduzir a evapotranspiração da cultura (ETc), através da intensificação da resistência de abertura dos estômatos nas folhas, ou pela resistência ao transporte de massas de ar na vegetação.

Frizzone (2015) salienta que o termo “aumento da produtividade da água” sugere em como melhorar o rendimento da cultura de interesse com a água em uso, através de três níveis elencados por Passioura (2006), estes são: 1º transpirar a maior porção da água aplicada, 2º trocar o volume de água transpirado por CO₂ para produção de biomassa e 3º conversão da produção de biomassa em produção econômica.

De acordo com Santos e Ummus (2015) existem dois eixos na vertente tecnologia, em favor do aumento da EUA no setor agrícola: economia de água e favorecimento na infiltração de água no solo. O primeiro considera-se como “orientada pela tecnologia”, devido ao fato do seu desenvolvimento acontecer pelo avanço da pesquisa. Algumas das estratégias consideram o uso de água residuária, técnicas de irrigação deficitária com uso de sensores, o uso de sistemas por gotejamento e microaspersão, saber quando utilizar a irrigação de salvamento, irrigação suplementar e a irrigação plena.

Nas tecnologias do segundo eixo considera-se como “orientadas pela lei e mercado”, devido sua adoção decorrer depois da aplicação de barreiras não tarifárias de mercados mais conscientes e exigentes (SANTOS; UMMUS, 2015). Estes se baseiam em práticas de conservação edáfica (ex.: uso de fertilizantes e o não revolvimento do solo), mecânica (ex.: sistematização da área de cultivo em linhas, construção de terraços) e a vegetativa (ex.: rotação de culturas ou plantas de cobertura) (SANTOS; UMMUS, 2015).

A atual crise hídrica que afeta bacias de baixa disponibilidade hídrica torna a água um recurso restrito, necessitando, pois, o uso racional e sustentável pelos usuários irrigantes, de forma que a irrigação eficiente seja um preceito (FAGANELLO, 2007). No entanto, o autor acrescenta que quanto maior a busca por eficiência, maior será a exigência por tecnologia, qualificação dos produtores para tal uso e maiores investimentos.

2.8 Desenvolvimento de aplicativos

Escolher a plataforma ideal para desenvolver um aplicativo ou software implica em optar por uma solução mais benéfica em termos de eficiência, custo e tempo de desenvolvimento completo (AQUINO, 2007). Sistemas operacionais (SO) como Android da Google Inc, Windows Mobile da Microsoft, iPhone OS da Apple, PalmOS da Palm Inc, BlackBerry OS da Research In Motion e Symbian OS da Psion, são os principais utilizados no mercado para smartphones (MORIMOTO, 2009).

Desses citados, o SO Android da Google Inc. é atualmente o mais utilizado no

mundo por diversas empresas (Ex.: Samsung, Motorola, entre outras), por possuir “Código-fonte Aberto” e fazer uso da linguagem JAVA no desenvolvimento de aplicativos (ROCHA JUNIOR, 2015). Conforme Lecheta (2010) esse SO oferece aos desenvolvedores um ambiente flexível, ousado e poderoso, possuindo como principais atributos: sincronização em nuvem, facilidades na conexão e compartilhamento, browser rápido, diversos APP’s para download, entre outros.

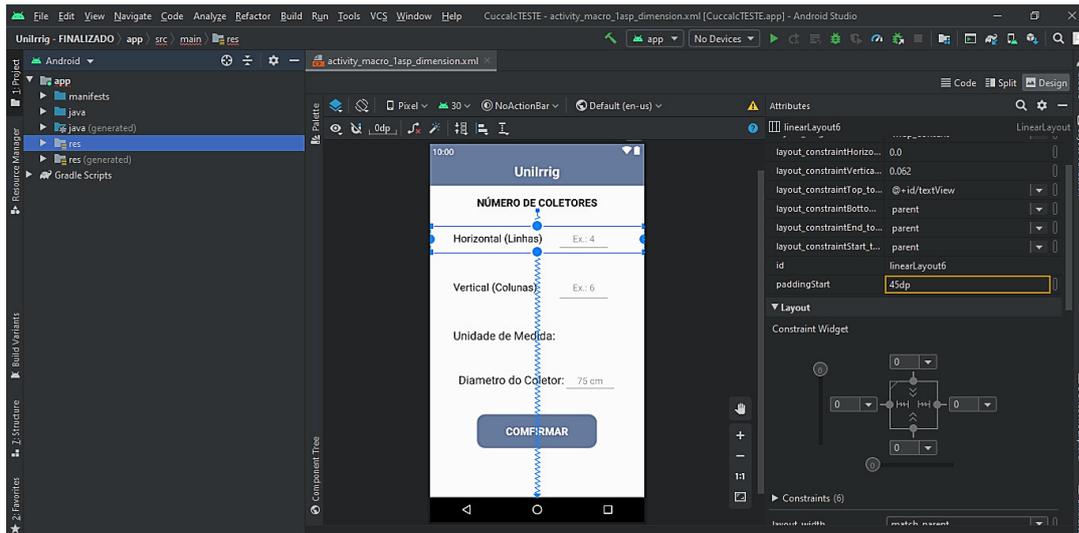
O Android foi lançado em 2007, com um SO desenvolvido pela Google para smartphones e se tornou um sistema popular em empresas de tecnologia, devido características de ser um produto acessível, customizável e de baixo custo para equipamentos de alta tecnologia (BAMBINI *et al.*, 2014). Segundo Felitti (2011), o sucesso deste SO o tornou alvo de ações de litígio de patentes, ficando conhecido como guerra dos smartphones.

Em um cenário onde 78% da população brasileira portam telefone celular (IBGE, 2018), as aplicabilidades funcionais dos aparelhos móveis tornam-se instrumento facilitador na gestão rural (SILVA *et al.*, 2017). No entanto, apesar dos dispositivos móveis estarem gradualmente mais presentes nos sistemas agrícolas, pode-se notar ainda a carência de publicações dentro dos meios de divulgação científica que corroborem com este avanço tecnológico (PAULA, 2013).

Quando se dispõe de um equipamento que abrange todas as funcionalidades necessárias ao usuário, há um enorme ganho de produtividade devido menor gasto de tempo no manuseio, acesso, armazenamento e deslocamento dos dados (ROCHA JUNIOR, 2015). Silva *et al.* (2017), realizando um estudo em 57 aplicativos voltados ao agronegócio, visualizou que ao passo que elevou-se o número de aplicativos, acarretou em aumento da variabilidade de aplicações, indicando um olhar mais preciso dos desenvolvedores sobre a demanda dos usuários.

A plataforma Android Studio (AS) (Figura 6) é um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) lançado pela Google, no qual além de contar com diversos recursos, permite a simulação do aplicativo em desenvolvimento em um dispositivo virtual (KUHN, 2018). A atualização frequente do sistema Android e também da documentação de suporte ao desenvolvedor, tem tornado a plataforma uma provável escolha em futuros projetos por desenvolvedores (ROMANI *et al.*, 2015).

Figura 6. Interface do programa Android Studio no desenvolvimento do App UniIrrig.



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

3 MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento do App UniIrrig foi realizado integralmente em ambiente home office, devido circunstâncias globais de pandemia do novo Coronavírus (COVID-19). O nome “UniIrrig” é resultante da combinação dos termos “*uniformity*” e “*irrigation*”. Após pesquisa, não foram encontrados aplicativos similares ao proposto neste trabalho.

A avaliação da uniformidade de irrigação nos métodos por aspersão e localizada foi fundamentada nos índices CUC (CHRISTIANSEN, 1942) e CUD (SOIL CONSERVATION SERVICE, 1968). A interpretação dos coeficientes foi baseada na proposição de Mantovani (2001) onde estabelece as classificações da uniformidade de aplicação da água em sistemas por aspersão, conforme a tabela 02. Em seguida são ilustradas as linhas do código onde foram definidos os realces para melhor compreensão pelo usuário dos resultados finais dos respectivos coeficientes (Figura 7), seguindo a classificação da uniformidade de aplicação.

Tabela 2. Coeficientes de classificação da uniformidade de aplicação de água.

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

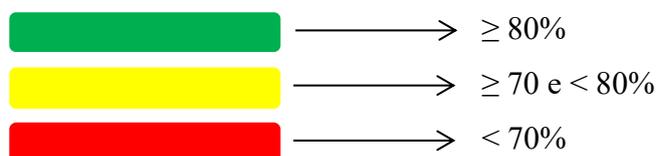
Fonte: Bernardo e Mantovani (2009)

Figura 7. Partes do código que determina o realce das cores nos resultados do CUC e CUD.

```

114 public static void corDoTexto(float resprCUC, float respCUD, TextView textView5, TextView textView6){
115     if (Math.round(resprCUC) >= 80){
116         textView5.setBackgroundResource(R.drawable.color_blue);}
117     else if (Math.round(resprCUC) >= 70 ){
118         textView5.setBackgroundResource(R.drawable.color_green);}
119     else{
120         textView5.setBackgroundResource(R.drawable.color_red);}
121     if (Math.round(respCUD) >= 80){
122         textView6.setBackgroundResource(R.drawable.color_blue);}
123     else if (Math.round(respCUD) >= 70 ){
124         textView6.setBackgroundResource(R.drawable.color_green);}
125     else{
126         textView6.setBackgroundResource(R.drawable.color_red);}
127 }

```



Fonte: elaborado pela autora (2021).

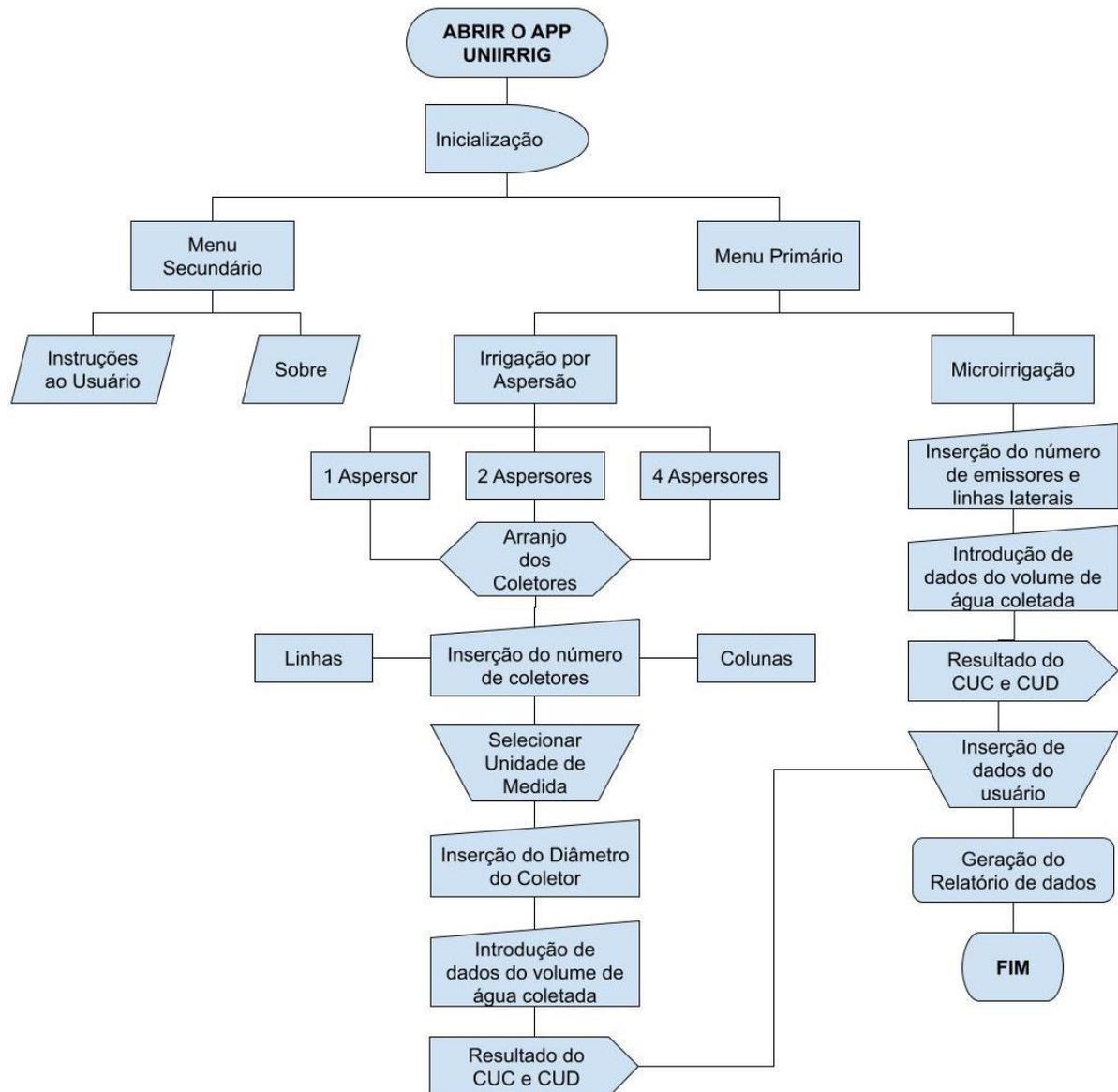
3.1 Descrições do aplicativo

O Aplicativo UniIrrig, sob atual processo para obtenção de registro de software no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), foi desenvolvido utilizando Android Studio10 versão 4.0.1, que é o ambiente de desenvolvimento integrado (Integrated Development Environment – IDE), em linguagem JAVA, com aplicabilidade em aparelhos smartphones que executam sistema operacional Android. O idioma do aplicativo segue a língua portuguesa brasileira.

O design de interface tem como objetivo tornar intuitiva e fácil a compreensão de todo o processo de funcionalidade pelo usuário, para isso foi utilizado programa computacional na produção gráfica de ícones, esquemas e design do aplicativo (plano de fundo, desenhos de botões e outros). Como simulador foram utilizados smartphones modelo Moto G 7^a play geração com Android versão 10 e um Galaxy A11 com Android versão 10.

O fluxograma da lógica de funcionamento do fluxo de dados (Figura 8) retrata de o modelo geral de operações do aplicativo UniIrrig, exibindo os sistemas de irrigação a ser adotado, inserção de dados de coleta de água, e com base nos dados inseridos pelos usuários e calculados pela ferramenta é gerado o resultado final do CUC e CUD. Em seguida há o preenchimento do relatório pelo usuário, para posterior armazenamento dos dados.

FIGURA 8. Fluxograma geral de funcionamento do aplicativo UniIrrig.



Fonte: elaborado pela autora (2021).

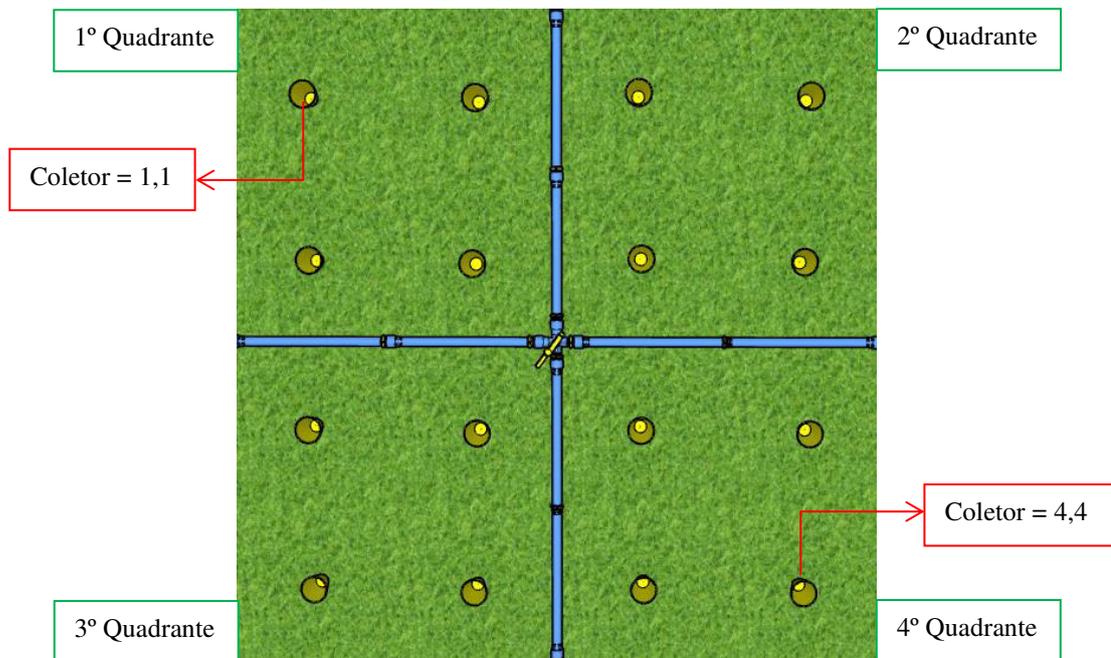
3.2 Verificação dos resultados

Para verificar a aplicação dos cálculos, os mesmos valores de entrada inseridos no aplicativo UniIrrig também foram inseridos ao Microsoft® Excel 2010, para obtenção dos coeficientes de uniformidade. Foram realizadas em ambos os softwares, 50 repetições nas 16 combinações executáveis no aplicativo (2x2, 2x4, 2x6, 2x8, 4x2, 4x4, 4x6, 4x8, 6x2, 6x4, 6x6, 6x8, 8x2, 8x4, 8x6, 8x8), no qual referem-se ao número de linhas versus número de colunas no sistema por aspersão para um aspersor, dois aspersores e quatro aspersores, obtendo-se um total de 800 dados para cada coeficiente de uniformidade (CUC, CUD) nos diferentes números de aspersores disponíveis no App.

Do mesmo modo verificou-se pelo método por microirrigação, 50 repetições nas 16 combinações, onde 2x2, 2x4, 2x6, 2x8, 4x2, 4x4, 4x6, 4x8, 6x2, 6x4, 6x6, 6x8, 8x2, 8x4, 8x6, 8x8 referem-se ao número de emissores por linha lateral versus número de linhas laterais. Totalizando, portanto, 800 resultados para cada coeficiente de uniformidade (CUC, CUD).

Como pode-se observar abaixo (Figura 9), quando é instalado apenas um aspersor para estimar o coeficiente de uniformidade, o posicionamento dos coletores (pluviômetros) permanecem em forma de quadrantes ao redor do aspersor. Após coleta da lâmina de irrigação é realizada a sobreposição das mesmas (Ex. posição, quadrante: coletor 1,1 + 1,2 + 1,3 + 1,4).

FIGURA 9. Maquete no Sketchup ilustrando o sistema por aspersão com uso de um aspersor central, composto por quatro quadrantes em uma combinação de coleta de dados 2x2.



Fonte: elaborado pela autora (2021).

Os volumes de água coletados ao final de cada ensaio são inseridos pelo usuário na matriz de dados do App UniIrrig e convertidos em valores de intensidade de precipitação (mm h^{-1}). No processo de sobreposição dos dados, foram considerados apenas arranjos quadrados entre aspersores.

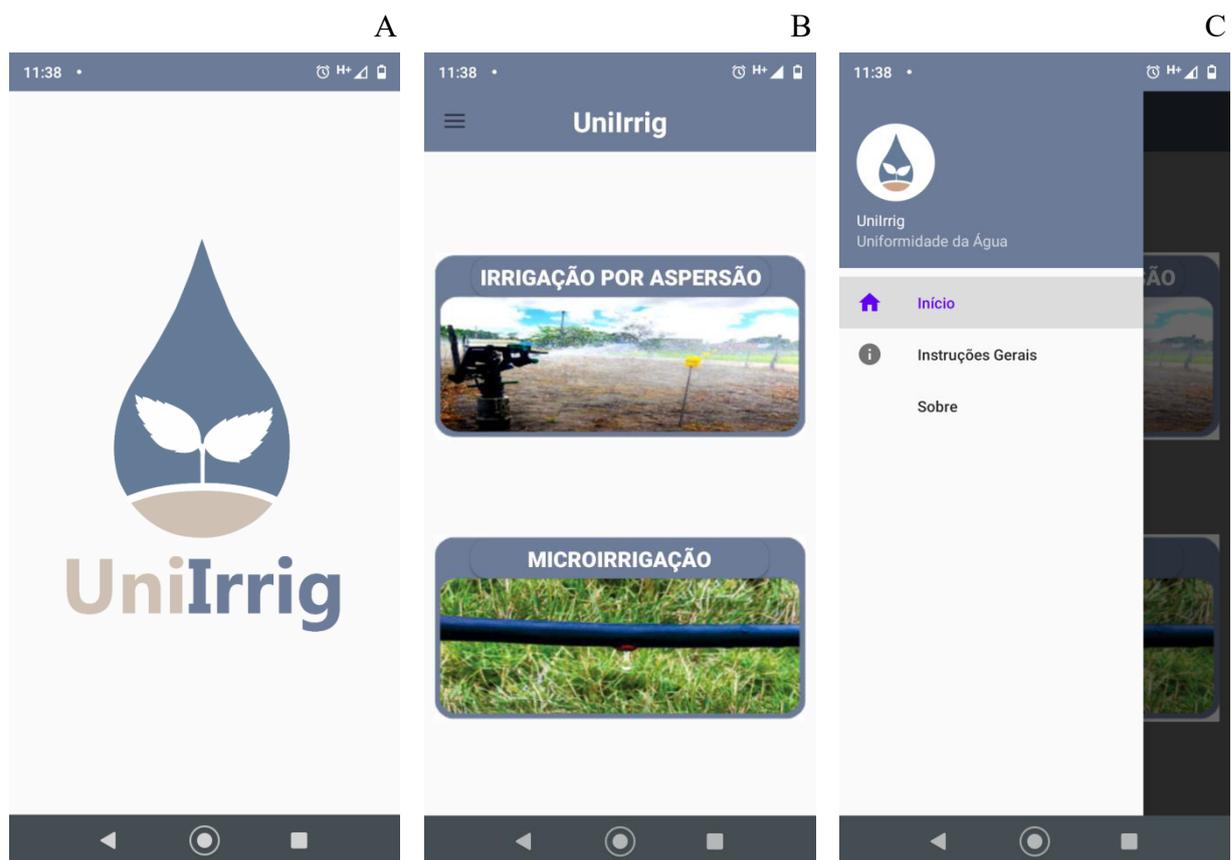
Os resultados do CUC e CUD determinados pelo aplicativo UniIrrig foram comparados com os obtidos pelo Microsoft® Excel, por meio da análise de correlação para obtenção dos coeficientes da equação ($Y = a + bX$), ao qual configura-se em uma análise descritiva do grau de dependência de duas variáveis, variando entre -1 á +1.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O principal resultado deste trabalho integra o desenvolvimento do aplicativo UniIrrig. A interface gráfica do aplicativo consiste nas seguintes guias:

Após inicialização do aplicativo (Figura 10A), a tela principal é exibida (Figura 10B), nesta tela o usuário indica qual sistema de irrigação irá utilizar (aspersão ou microirrigação). O menu secundário presente na margem superior á esquerda expõe as guias de início, instruções do aplicativo para o usuário e a guia sobre o aplicativo e seus respectivos desenvolvedores (Figura 10C). Todas as telas do aplicativo possuem o menu secundário.

Figura 10. Guias do aplicativo UniIrrig: (A) Tela de inicialização com logotipo; (B) Menu principal; (C) Menu secundário.



Fonte: elaborado pela autora (2021).

4.1. Irrigação por aspersão

Selecionado o botão “Irrigação por aspersão”. O mesmo indicará na tela exibida (Figura 11A) possíveis números de aspersores a serem utilizados para cálculo. Em sequência é esquematizado o arranjo dos coletores para um aspersor, separado em quatro quadrantes (Figura 11B) e dois aspersores, separados em dois quadrantes (Figura 11C).

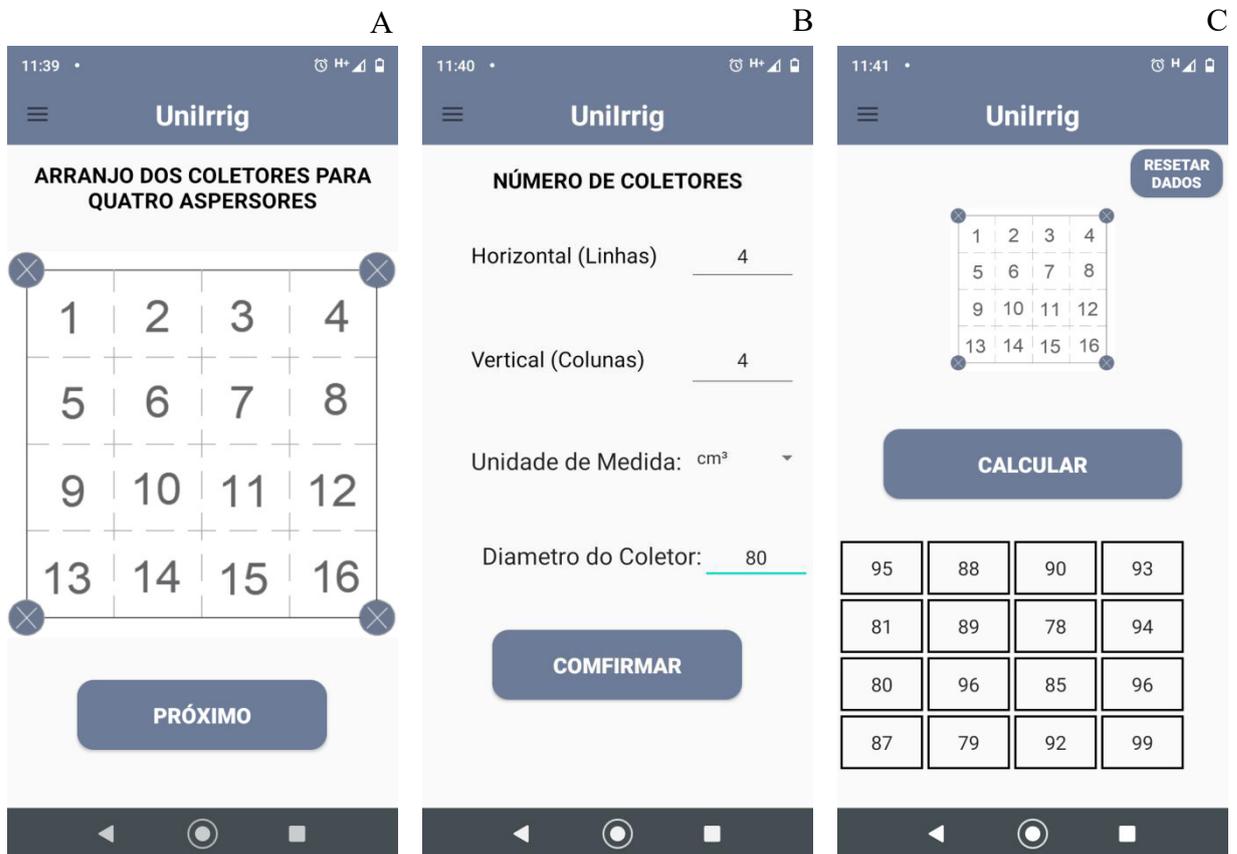
Figura 11. Guias do aplicativo UniIrrig: (A) Guia para seleção do número de aspersores utilizados no teste de uniformidade; (B) Arranjo dos coletores para um aspersor; (C) Arranjo dos coletores para dois aspersores.



Para quatro aspersores é esquematizado um único quadrante resultante da sobreposição dos respectivos coletores (Figura 12A). Selecionado este último (quatro aspersores), é exibida a tela onde o usuário define o número de linhas, número de colunas, unidade de medida (mm ou cm^3) e diâmetro do coletor (cm) (Figura 12B) para posteriormente inserir os dados de volume coletado de água do teste realizado (Figura 12C).

O botão “Calcular”, tem a função de executar os algoritmos de cálculo, para processar os valores inseridos, e por fim gerar o resultado do CUC e CUD. Já o botão “resetar dados” tem a função de apagar os dados de coleta inseridos.

Figura 12. Guias do aplicativo UniIrrig: (A) Arranjo dos coletores para quatro aspersores; (B) Introdução de informações para gerar a malha de inserção dos dados de coleta de água; (C) Inserção de dados de coleta na malha, para quatro aspersores.



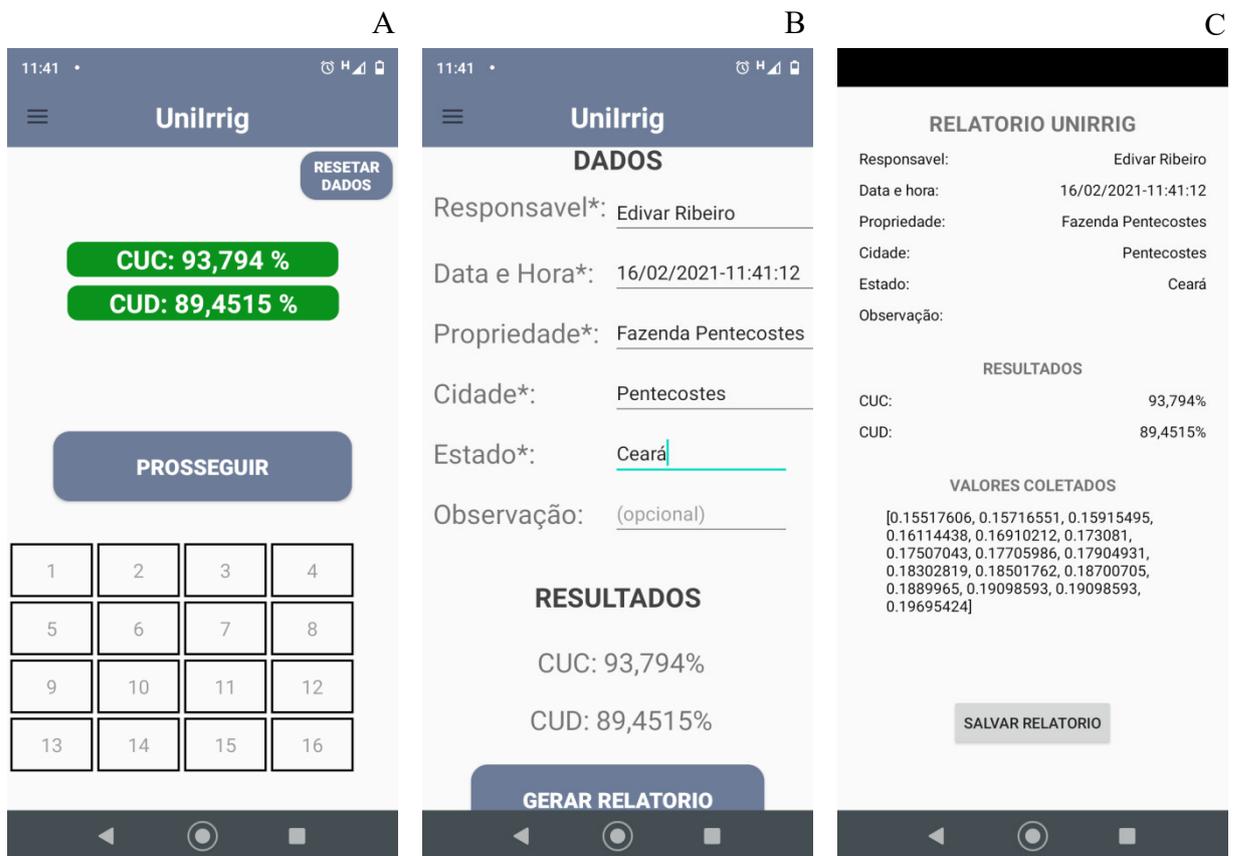
Fonte: elaborado pela autora (2021).

Após pressionar o botão “Calcular”, é exibido o resultado do coeficiente de uniformidade de Christiansen e do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUC, CUD), no qual realçado na cor verde (exemplificada a seguir) indica “excelente ou boa” (≥ 80) uniformidade de irrigação do sistema (Figura 13A). Se realçada na cor amarela, indica “razoável” (≥ 70 e $< 80\%$) uniformidade da irrigação e se realçado na cor vermelha revela que o sistema precisa de ajustes ($< 70\%$), segundo classificação de Mantovani *et al.* (2001).

Na tela seguinte é apresentado ao usuário um breve formulário para cadastro, onde informará dados da propriedade, entre outras informações (Figura 13B). Após confirmação é gerado um relatório contendo os dados inseridos anteriormente, os dados de coleta da lâmina de água e o resultado final do CUC e CUD. Em seguida o mesmo poderá ser armazenado na memória do dispositivo móvel em formato PDF (Figura 13C).

Figura 13. Guias do aplicativo UniIrrig: (A) Resultado do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e Coeficiente de Uniformidade de Distribuição; (B) Cadastro de dados do

usuário e dados da propriedade; (C) Relatório final.



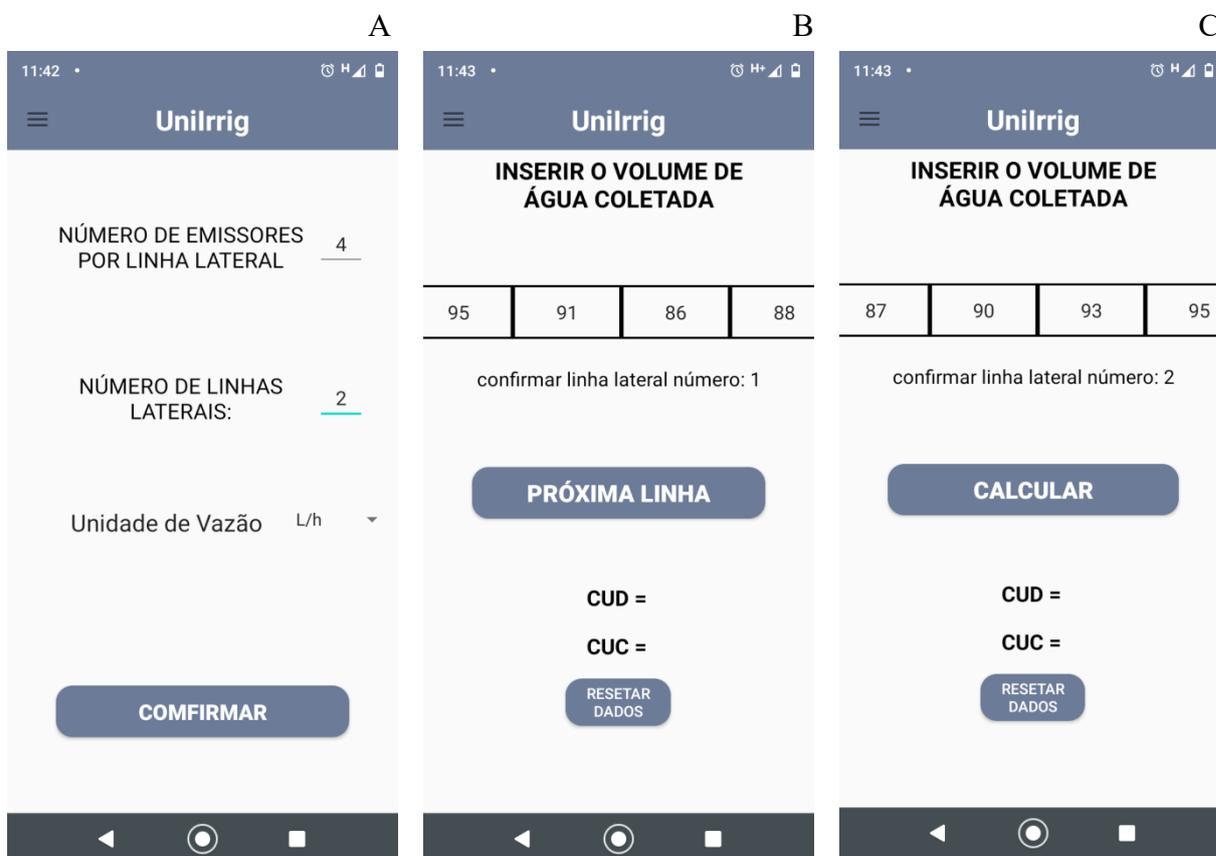
Fonte: elaborado pela autora (2021).

Os valores resultantes do cálculo para o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) na figura 13A, exemplificam uma classificação excelente, segundo Bernardo *et al.* (2009), no qual recomendam um valor mínimo de 90% dentro da parcela de irrigação para o CUC e de 84% para o CUD.

4.2. Irrigação por microirrigação

No menu inicial, selecionado o sistema por “Microirrigação”, será exibido a tela de inserção das variáveis (Figura 14A), constituído pelo número de emissores por linha lateral, número de linhas laterais e a unidade de vazão (cm^3/min . ou L/h) do teste. Em seguida o usuário insere na malha de dados os valores de volume coletado de água pelos emissores “linha 1” relacionado á primeira linha lateral do sistema (Figura 14B) e “linha 2” (Figura 14C).

Figura 14. Guias do aplicativo UniIrrig: (A) Entrada de informações do sistema por microirrigação, (B, C) inserção do volume de coleta de água.

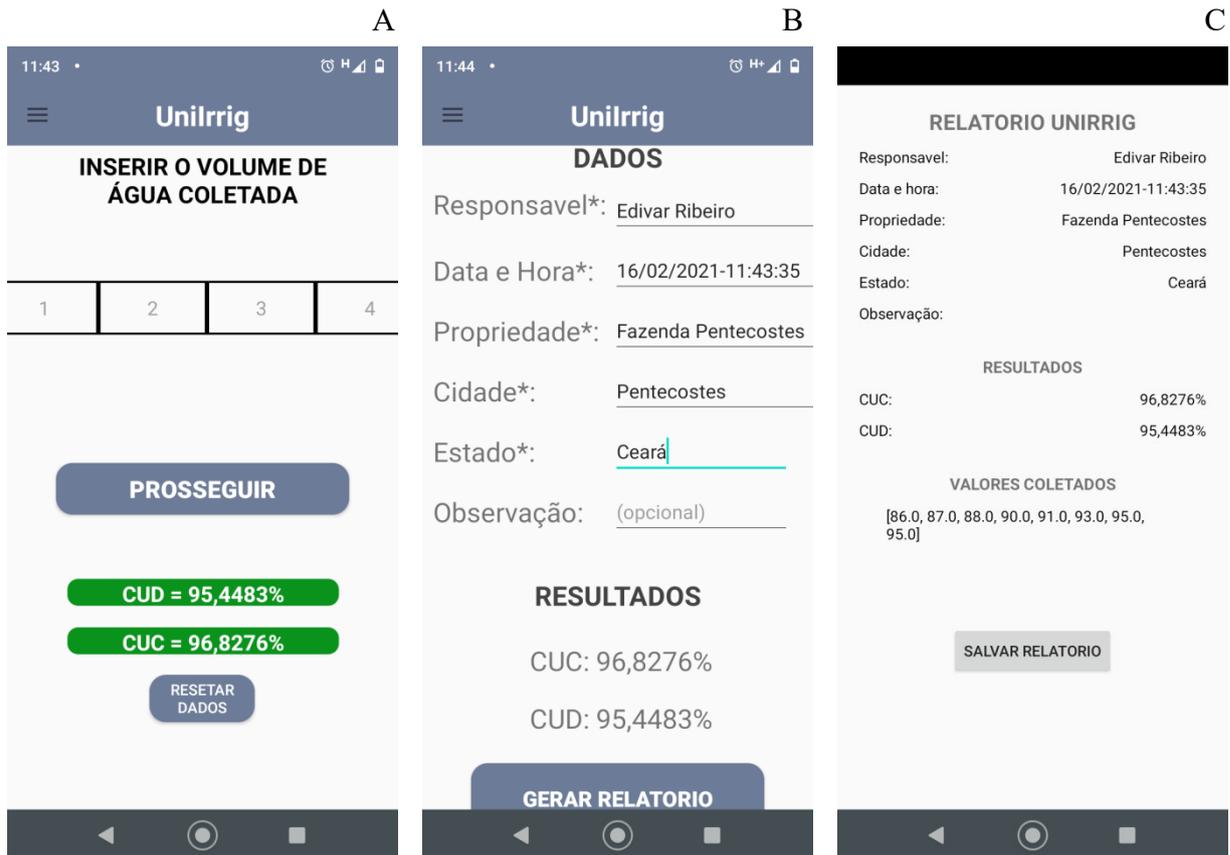


Fonte: elaborado pela autora (2021).

Pressionado o botão “Calcular” é exibido o resultado dos coeficientes de uniformidade (Figura 15A), seguindo mesma classificação de cores estabelecida para irrigação por aspersão, onde, expresso na cor verde refere-se à boa uniformidade de irrigação do sistema, na cor amarela uniformidade de aplicação aceitável e se na cor vermelha significa que o sistema precisa de ajustes, segundo Mantovani *et al.* (2001).

Para finalizar também é apresentado o cadastro de usuário (Figura 15B), no qual, havendo confirmação, é gerado e armazenado um relatório em PDF contendo os dados completos inseridos anteriormente pelo usuário, assim como o resultado obtido do CUC e CUD (Figura 15C).

Figura 14. Guias do aplicativo UniIrrig: (A) Resultado do CUC e CUD; (B) Cadastro de dados de usuário e propriedade; (C) Relatório final.

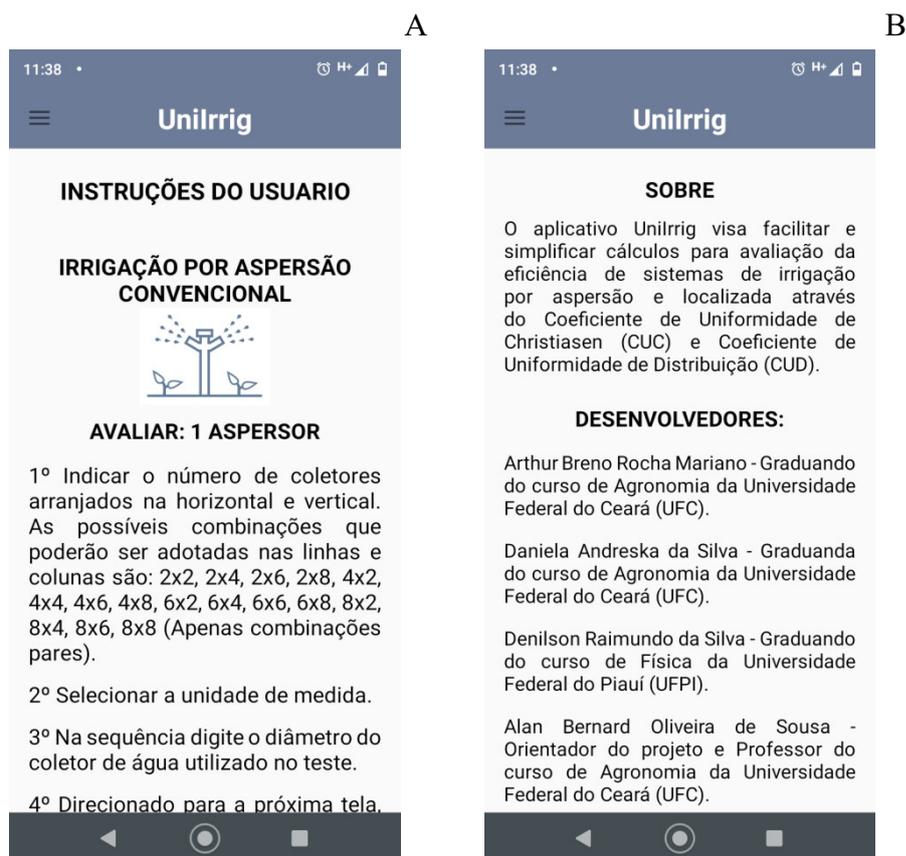


Fonte: elaborado pela autora (2021).

4.3. Outras funcionalidades

O aplicativo ainda dispõe das guias de “instruções gerais” orientando o usuário em todo o processo do cálculo (Figura 16A) e a guia “sobre”, no qual descreve o objetivo principal do aplicativo UniIrrig, menciona os respectivos desenvolvedores, e-mail para contato e fonte das imagens e fotos utilizadas (Figura 16B).

Figura 15. Guias do aplicativo UniIrrig: (A) Instruções gerais; (B) Sobre.



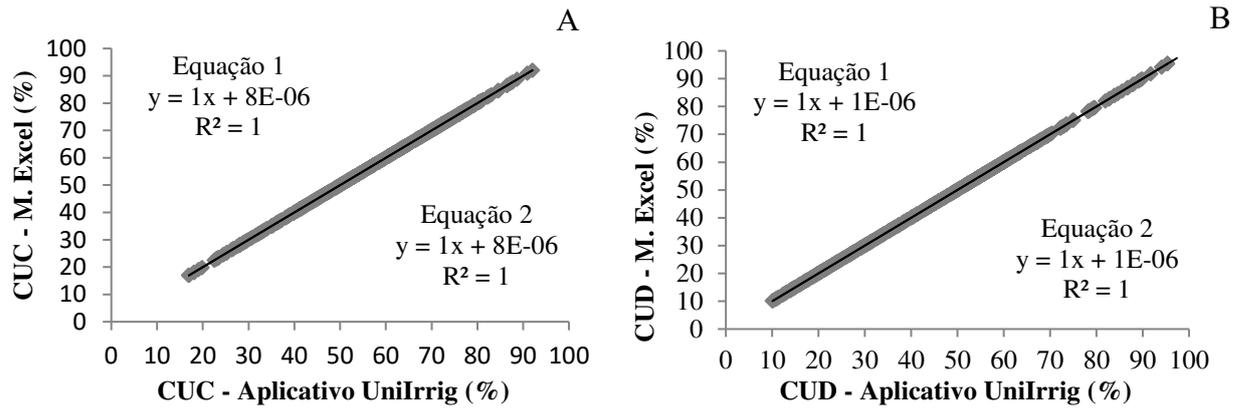
Fonte: elaborado pela autora (2021).

4.4. Verificação do aplicativo UniIrrig

Na verificação de precisão do aplicativo UniIrrig mediante conhecimento teórico adquirido na literatura através de Bernardo, Soares e Mantovani (2006), pode-se constatar que a aferição do aplicativo UniIrrig com o software Microsoft® Excel atestou erro igual a zero, portanto, o algoritmo trabalha bem na aferição dos coeficientes de uniformidade da irrigação.

Na análise descritiva do grau de dependência, a análise de correlação dos dados entre os softwares utilizados, resultou em “ r ”=1, ao qual significa segundo Guimarães (2017) perfeita correlação entre as duas variáveis (Microsoft Excel e aplicativo UniIrrig), evidenciando que de fato descreveram adequadamente os mesmos resultados entre os coeficientes de uniformidade de Christiansen (Gráfico 1A) e coeficiente de uniformidade de distribuição (Gráfico 1B).

Gráfico 1. Regressão linear entre os resultados do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) estimados pelo aplicativo UniIrrig e pelo M. Excel no método por aspersão.



Eq. 1: Referente aos valores estimados pelo M. Excel. Eq. 2: Referente aos valores estimados pelo App UniIrrig.

Segundo Santos *et al.* (2013) e Rodrigues *et al.* (2013) a análise conjunta dos coeficientes de uniformidade de aplicação de água, sejam eles, CUC, CUD, são imprescindíveis na avaliação da variabilidade de distribuição aplicada e consequentemente do desempenho de qualquer sistema de irrigação.

5 CONCLUSÃO

O aplicativo UniIrrig, desenvolvido para o sistema operacional Android, pode ser utilizado na determinação do coeficiente de uniformidade (CUC, CUD) para sistemas de irrigação por aspersão e localizada.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ainda não existe versão deste aplicativo para outros sistemas operacionais além do Android. Como trabalho futuro será implementado a funcionalidade para testes de uniformidade em sistema de irrigação por pivô central e cálculo do Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas Irrigação: Uso Da água Na Agricultura Irrigada**. Brasília: ANA, 86p. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 432p. 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Mudanças climáticas e recursos hídricos: avaliações e diretrizes para adaptação**. Brasília: ANA, 87p. 2016.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines of computing crop water requirements. FAO. **Irrigation and Drainage**. Roma, p.300, 1998.

ANDRADE, G. W. M. **Análise e desenvolvimento de um aplicativo e-commerce para comercialização de produtos oriundos da agricultura familiar**. 2018. 47p. Trabalho de Conclusão do Curso (Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Iporá, 2019.

ANYOJI, H.; WU, I. P. Normal Distribution water application for drip irrigation schedules. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.37, n.1, p.159-164, 1994.

ANTUNES, A. D. **Avaliação da uniformidade de distribuição de água e eficiência de aplicação, em um sistema de irrigação por aspersão com diferentes combinações de espaçamento, bocal e turno**. 2018. 47p. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2018.

AQUINO, J. F. S. **Plataformas de desenvolvimento para dispositivos móveis**. 2007. 14 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós Graduação em Informática) – Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2007.

BAMBINI, M. D.; LUCHIARI-JÚNIOR, A.; ROMANI, L. A. S. Mercado de aplicativos móveis (Apps) para uso na agricultura. In: Simpósio Nacional De Instrumentação Agropecuária, 2014, São Carlos, SP. Ciência, inovação e mercado: **anais**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, p. 711-714, 2014.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6 ed. rev. e ampl. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1995. 657 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, C. **Manual de irrigação**, edição: 8ª. Editora: UFV, 2ª reimpressão. Viçosa, MG, 2009. 625p.

BERNARDO, S; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de Irrigação**. 8ª Ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 625 p.

BISCARO, G. A.(org.). **Sistemas de irrigação localizada**. Dourados, MS: Editora UFGD, 264p. 2014.

BORGHETTI, J. R.; SILVA, W. L. C.; NOCKO, H. R.; LOYOLA, L. N.; CHIANCA, G. K.; BOJANIC, A.; OSTRENSKY NETO, A.; TAVARES, M. H.; BOSCARDIN, N. R.

Agricultura irrigada sustentável no Brasil: Identificação de áreas prioritárias. 1. ed. Brasília: FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, 243p. 2017.

BRENNAN, D.; TRADEL, C. **The economics of sprinkler irrigation uniformity:** A case study of lettuce on the Swan Coastal plain. CSIRO: Water for a Healthy Country National Research Flagship. 2006. p. 33.

BURT, C. M.; CLEMMENS, A. J.; STRELKOFF, T. S.; SOLOMON, K. H.; BLIESNER, R. D.; HARDY, L. A.; HOWEL, T. A.; EISENHAUER, D. E. Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering.** v. 123, p. 423-442. 1997.

CARNEIRO, A. C. G. **Uma análise econômica de mudanças no uso da terra e produção de matéria-prima do etanol no Brasil: O papel da disponibilidade de água para o setor de irrigação.** 2005. p.17. Tese (Doutorado em Economia) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2015.

CASTIBLANCO, C. J. M. **Economia de energia em irrigação por pivô central em função da melhoria na uniformidade da distribuição de água.** 2009. p. 17. Dissertação (Mestrado Irrigação e Drenagem) – Universidade de São Paulo: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Recife, 2009.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling.** Berkely: Universit of California, 124p. 1942.

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, S. L. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. **Bahia Agrícola**, v. 07, n. 01, p. 57-60, 2005.

COELHO, E. F.; SILVA, A. J. P. **Manejo, eficiência e uso da água em sistemas de irrigação.** Cruz das Almas: EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, 26 p. (Documentos, 206), 2013.

CRIDDLE, W.D.; DAVIS, S.; PAIR, C.H.; SHOCKLEY, D.G. Methods for evaluating irrigation systems. Washington DC: Soil Conservation Service - USDA. **Agricultural Handbook**, n. 82, p. 24, 1956.

CUNHA, F.F.; ALENCAR, C.A.B.; VICENTE, M.R.; BATISTA, R.O.; SOUZA, J.A.R. Comparação de equações para cálculo da uniformidade de aplicação de água para diferentes sistemas de irrigação. **Engenharia na agricultura**, Viçosa-MG, v. 17, n.5, p. 404-417, 2009.

DUKE, H.R.; HEERMANN, D.F.; DAWSON, L.J. Appropriate depths of application for scheduling center pivot irrigations. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.35, n.5, p.1457-1464, 1992.

FAGANELLO, C. R. F. **Fundamentação da cobrança pelo uso da água na agricultura irrigada, na microbacia do Ribeirão dos Marins.** 2007. 134 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiros, Piracicaba, 2007.

FAVETTA, G. M.; BOTREL, T. A. Uniformidade de sistemas de irrigação localizada: validação de equações. **Scientific Agrícola**. v. 58, n. 2, p. 427-430, 2001.

FELITTI, G. **QUEM inventou essa guerra?** Época Negócios. 2011. Disponível em: < <http://epocanegocios.globo.com/Revista/Common/0,,ERT262473-16642,00.html> > Acesso em: 07 mar. 2021.

FRIGO, J. P. **Controle do processo da irrigação no sistema de aspersão convencional em Palotina – PR**. 2012. 43 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

FRIZZONE, J. A. **Desempenho e otimização do sistema de irrigação**. Notas de aula da disciplina LEB 1571 – irrigação. ESALQ/USP. Piracicaba 2017.

FRIZZONE, J.A. **Engenharia de Biosistemas: Irrigação por aspersão – Uniformidade e eficiência**. Piracicaba: ESALQ/ Departamento de Engenharia de Biosistemas. nº 3, 60 p. 2015.

FRIZZONE, J.A. **Irrigação por aspersão: Uniformidade e eficiência**. Piracicaba – ESALQ: Departamento de Engenharia Rural, Série Didática, 53 p. 1992.

FRIZZONE, J. A. Planejamento da irrigação com uso de técnicas de otimização. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.1, n.1, p.24–49, 2007.

GOMES, H. P. **Sistemas de irrigação: Eficiência Energética**. João Pessoa. Editora da UFPB. 281p. 2013.

GUIMARÃES, Paulo Ricardo B. **Análise de correlação e medidas de associação**. Universidade Federal do Paraná. Disponível em: < <https://docs.ufpr.br/~jomarc/correlacao.pdf> >. Acesso em: 09 mai. 2017.

HEERMANN, D.F.; WALLENDER, W.W.; BOS, M.G. Irrigation efficiency and uniformity. In: HOFFMAN, G.J.; HOWELL, K.H.; SOLOMON, K.H. (Ed.). **Management of Farm Irrigation Systems**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1992, p.125 - 149.

HOWELL, D.T. Nonuniformity and sprinkler application efficiency. **Journal of Irrigation and Drainage**, Division of ASCE, New York, n.IR3, p.55-67, 1964.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Acesso à internet e à televisão e posse de telefone móvel celular para uso pessoal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

KUHN, F. **Agricontrole: aplicativo android para gerenciamento agrícola**. 2018. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Sistemas para Internet) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2018.

LECHETA, R. R. **Google Android**. 2nd ed., Novatec, Ed., 2010.

LIMA, G. S.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A.; SILVA, S. S. Respostas morfofisiológicas da mamoneira, em função da salinidade da água de irrigação e adubação nitrogenada. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 1, p. 130-136, 2014.

LOPES, L. C. L.; VIEIRA, H. D.; VIEIRA, G. H. S.; SOUZA, E. F. Projeto de Aplicativo móvel capaz de fornecer informações para o manejo de irrigação do café conilon. **Irriga**, Botucatu, v. 24, n. 4, p. 874-889, 2019.

MANTOVANI, E. C. **AVALIA**: Programa de avaliação da irrigação por aspersão e localizada. Viçosa: UFV, 2001.

MANTOVANI, E. C.; FACCIOLI, G. G.; LEAL, B. G.; SOARES, A. A.; COSTA, L. C.; FREITAS, P. S. L. Influence of the water distribution uniformity and irrigation depth on the yield of irrigated bean crop. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 4, p. 458-469, 2009.

MANTOVANI, E.C.; VILLALOBOS, F.J.; ORGAZ, F.; FERERES, E. Modelling the effects of sprinkler uniformity on crop yield. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.27, n.3/4, 1995.

MARTINS, C. L. **Análise de irrigação no cultivo do café conilon no Sul do Estado do Espírito Santo**. 2013. 96 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal do Espírito Santo. 2013.

MARTINS, P. E. S.; ZANINI, J. R.; SILVA, E. R.; LEMOS FILHO, M. A. F. Perfil radial e uniformidade de precipitação do aspersor NaanDanJain 427, em função da regulagem do defletor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.16, n.1, p.3-9, 2012.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Manejo da irrigação em hortaliças**. Brasília: EMBRAPA. ed. 5, 72p. 1996.

MAREK, T. U.; UNDERSANDER, D. J.; EBELING, L. L. Na aerial weighted uniformity coefficient for pivot irrigation systems. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 29, n. 6, p. 1665-1670, 1986.

MERRIAN, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan; Utah State University, 271p. 1978.

MORAIS, J. **Uniformidade de irrigação por gotejamento usando efluente tratado de abatedouro de aves**. 2017. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2017.

MORIMOTO, C. E. **Smartphones**: Guia Prático. São Paulo: Gdh Press e Sul Editores, 432 p. 2009.

MOURA, A. R. C.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; AZEVEDO, J. R. G.; SILVA, B. B.; OLIVEIRA, L. M. M. Evapotranspiração de referência baseada em métodos empíricos em Bacia experimental no estado de Pernambuco – Brasil. **Revista Brasileira de meteorologia**, v.28, n.2, p.181-191, 2013.

NASCIMENTO, V. F.; FEITOSA, E. O.; SOARES, J. I. Uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por aspersão via pivô central. **Journal of Neotropical Agriculture**. v.4, p.65-69, 2017.

OLIVEIRA, F. G.; LOPES, R. G. N.; MOREIRA, F. G. D. A.; FIGUEIREDO, E. F. P. De. Influência da uniformidade de irrigação na produção e na rentabilidade de silagem de milho irrigado. **Irriga**, v. 1, n. 2, p. 103–108, 2015.

PAULA, L. J. L. **Desenvolvimento de aplicativo para dispositivos móveis para coleta de dados georreferenciados através de reconhecimento de voz**. 2013. 82 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) – Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo: USP. 2013.

PASSIOURA, J. Increasing crop productivity when water is scarce-from breeding to field management. **Agricultural water Management**, Amsterdam, v.80, p. 176-196, 2006.

PERRY, C.; STEDUTO, P.; ALLEN, R. G.; BURT, C. M.; Increasing productivity in irrigated agriculture: Agronomic constraints and hydrological realities. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, p. 1517-1524, 2009.

REZENDE, R.; GONÇALVES, A.C.A.; FREITAS, P.S.L.; FRIZZONE, J.A.; TORMENA, C.A.; BERTONHA, A. Influência da aplicação de água na uniformidade da umidade no perfil do solo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.24, n.5, p.1.553-1.559, 2002.

RIBEIRO, R. B.; FILGUEIRAS, R.; RAMOS, M.C.A.; ALMEIDA, L.; GENEROSO, T.M.et al. Variabilidade espaço-temporal da condição da vegetação na agricultura irrigada por meio de imagens sentinel. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. Fortaleza, CE. v.11, nº.6, p. 1884 – 1893, 2017.

ROCHA, E.M.M.; COSTA, R.N. T.; MAPURUNGA, S.M.S.; CASTRO, P. T. 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.

ROCHA JÚNIOR, O. C. **Desenvolvimento de um aplicativo para o manejo de irrigação utilizando a ferramenta “App inventor” na plataforma “Android”**. 2015. 67 f. Dissertação (Mestrado em engenharia agrícola)- Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

RODRIGUES, L. G.; NERY, A. R.; RODRIGUES SOUSA, F. R.; RODRIGUES, L. N. Coeficientes de uniformidade em aspersores de baixa vazão com diferentes arranjos e altura da haste. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v.14, n.2, p.170-180, 2019.

RODRIGUES, R. R.; COLA, M. P.; NAZÁRIO, A. A.; AZEVEDO, J. M. G.; REIS, E. F. Eficiência e uniformidade de um sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. **Revista Ambiência**, v.9, p. 323 - 334 , 2013.

ROMANI, L.A.S.; MAGALHAES, G.B.; EVANGELISTA, S.R.M. Desenvolvimento de aplicativos móveis em agricultura: Agritempo mobile. **Anais: X Congresso Brasileiro de Agroinformática**, Campinas, 2015.

SANTOS, C. S.; SANTOS, D. P.; SILVA, P. F. S.; ALVES, E. S.; SANTOS, M. A. L. Avaliação da uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por gotejamento. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v.8, n.3, p.10-16, 2013.

SANTOS, D.; UMMUS, M. E. **Formas de uso mais eficiente da água pela agricultura**. Palmas-TO: Embrapa informação tecnológica, p.3. 2015.

SANTOS, M. A. L. dos; SANTOS, D. P. dos; SILVA, D. S.; SILVA, M. dos S.; P. H. S. Avaliação da uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por gotejamento em inhame (*Dioscorea cayennensis* Lam.). **Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 13, n. 1, p. 7-13, 2015.

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS (SRH). Eficiência do uso da água. **Relatório técnico 07**. Ceará. 2016.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. **Irrigação: manejo e gestão em sistema localizado**. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. Brasília: Senar, 2019.

SILVA C. A.; SILVA C. J. Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Ano IV, n.8, dez. 2005.

SILVA, C. B.; SILVA, J. C.; SANTOS, D. P.; SILVA, P. F.; BARBOSA, M. S.; SANTOS, M. A.L. Manejo de irrigação na cultura da beterraba de mesa sob condições salinas em Alagoas. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 13, n. 2, p. 3285- 3296, 2019.

SILVA, E.; CARETA, C. B.; SPERS, E.E.; SANTOS, N. C. dos. Caracterização dos sistemas de informação móveis para tomada de decisão no agronegócio. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, pp. 233-253, v19, n4, p233. 2017.

SILVA, E. M. da; AZEVEDO, J. A. de; LIMA, J. E. F. W. **Análise de desempenho da irrigação**. 1ª ed. Planaltina: EMBRAPA Cerrados. 84p, 2002.

SILVA, E.M.; LIMA, J.E.F.W.; AZEVEDO, J.A.; RODRIGUES, L.N. Proposição de um modelo matemático para a avaliação do desempenho de sistemas de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.8, p.741-748, 2004.

SILVA, L. A.; OLIVEIRA FILHO, J. C.; FERREIRA JÚNIOR, O. J.; LEITE, O. C.; LOPES, D. A. P. S.; AGUIAR, G. R.; PEREIRA, F. F. P. Eficiência e uniformidade de distribuição de água em batata-doce irrigado por aspersão no sul tocaninense. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 9, n. 1, p. 085-095, 2021.

SILVA, W.L.C. Considerações sobre o uso de sprays de baixa pressão em pivô central. **Revista Item**, Brasília, v.39, n.12, p. 26-7, 1989.

SOIL CONSERVATION SERVICE. National Engineering Handbook. Washington: **Sprinkler Irrigation**. Section 15, Chapter 11. 83p. 1968.

SOUZA, M. H. C.; SANTOS, R. D. S.; BASSOI, L. H. Avaliação da uniformidade de um sistema de irrigação por gotejamento. **Anais. IV INOVAGRI**, International Meeting, 2017.

STAMATO JÚNIOR, R. P. **Condições meteorológicas e consumo de água por mudas cítricas em ambiente protegido**. 2007. 68 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Produção Agrícola) – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2007.

TOSTA, A. L. **Tolerância ao déficit hídrico e eficiência do uso da água em genótipos de cebola**. 2014. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

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

VIETS, F. G. Fertilizers and the eficiente use of water. **Advances in Agronomy**, Madison, v. 14, p. 223-264, 1962.

ZOCOLER, J, L. Análise econômica de sistemas de irrigação. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. **Irrigação**. Jaboticabal: Funep, (Série Engenharia Agrícola, 2), p. 653-703, 2003.