



## APLICATIVO PARA AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE SISTEMAS PRESSURIZADOS DE IRRIGAÇÃO

Daniela Andreska da Silva<sup>1\*</sup> , Arthur Breno Rocha Mariano<sup>1</sup> , Denilson Raimundo da Silva<sup>2</sup>  & Alan Bernard Oliveira de Sousa<sup>1</sup> 

1 - Federal University of Ceará, Department of Agricultural Engineering, Ceará, CE, Brazil

2 - Federal University of Piauí, Department of Physics, Teresina, Piauí, PI, Brazil.

### Palavra-chave:

Agricultura 4.0  
Coeficiente de uniformidade de Christiansen  
Coeficiente de uniformidade de distribuição  
Coeficiente de uniformidade estatístico  
Irrigação pressurizada

### RESUMO

A avaliação e monitoramento do desempenho dos sistemas de irrigação é determinante na manutenção da eficiência hídrica e conservação dos recursos hídricos e energéticos. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi desenvolver e validar um aplicativo para a determinação de coeficientes de uniformidades de sistemas pressurizados de irrigação. Para isso, foi desenvolvido o aplicativo UniIrrig<sup>®</sup>, utilizando o ambiente de desenvolvimento integrado Android Studio10 versão 4.0.1, em linguagem JAVA, com aplicabilidade em aparelhos portando sistema operacional Android. Para verificação quantitativa, os mesmos valores de entrada inseridos no aplicativo UniIrrig<sup>®</sup> também foram inseridos ao Microsoft<sup>®</sup> Excel 2010, em todos os coeficientes de uniformidade empregados no aplicativo. Para a análise qualitativa, com experiência no usuário, 68 discentes do curso de agronomia da Universidade Federal do Ceará (UFC), participaram de testes a fim de avaliarem a percepção de usabilidade, design, utilidade e satisfação geral da ferramenta. Para validação do aplicativo em campo foi realizado um teste de uniformidade em um pivô centeno município de Cascavel-CE, com auxílio de coletores (Kit Fabrimar) para obtenção da lâmina aplicada e consequente resultado do coeficiente de uniformidade de distribuição (DUC), de Hart (HUC) e análise da lâmina média ponderada. Estes foram comparados aos resultados obtidos no Microsoft<sup>®</sup> Excel 2010. A análise de correlação dos dados resultou em “r”= 1, conferindo, portanto, perfeita correlação entre os resultados obtidos pelo aplicativo e pelo Microsoft<sup>®</sup> Excel, constatando erro igual à zero. Na avaliação qualitativa, 84,1% consideraram o aplicativo uma boa ferramenta para determinação dos coeficientes. Conclui-se que, o aplicativo UniIrrig<sup>®</sup>, idealizado para o sistema operacional Android, pode ser utilizado para a determinação dos coeficientes de uniformidade de irrigação estudado.

### Keywords:

Agriculture 4.0  
Christiansen uniformity coefficient  
Distribution uniformity coefficient  
Pressurized irrigation  
Statistical uniformity coefficient

### APPLICATION FOR EVALUATION OF THE UNIFORMITY OF SYSTEMS OF PRESSURIZED IRRIGATION

#### ABSTRACT

The evaluation and monitoring of the performance of irrigation systems are crucial in maintaining water efficiency and conservation of water and energy resources. Therefore, the objective of this study was to develop and validate an application for the coefficient of uniformity coordinators of pressurized irrigation systems. So, the UniIrrig<sup>®</sup> application was developed, using the integrated development environment Android Studio10 version 4.0.1, in JAVA language, with applicability in devices with the Android operating system. For quantitative verification, the same input values in the UniIrrig<sup>®</sup> application were also inserted in Microsoft<sup>®</sup> Excel 2010, in all uniformity conductors used in the application. For the qualitative analysis, together with the experience of the user, 68 students of the Agronomy course at the Federal University of Ceará (UFC) participated in tests in order to evaluate the perception of usability, design, usefulness, and general satisfaction of the tool. To validate the application in the field, a uniformity test was carried out on a center pivot in the municipality of Cascavel, Ceará state, with the aid of collectors (Kit Fabrimar) to deliver the applied depth and the consequent result of the distribution uniformity coefficient (DUC), of Hart (HDC) and weighted mean depth analysis. These values were compared to the results obtained in Microsoft<sup>®</sup> Excel 2010. The dynamic analysis of the data evolved in “r”= 1, thus providing perfect adaptation between the results obtained by the application and by Microsoft<sup>®</sup> Excel, finding an error equal to zero. In the qualitative assessment, 84.1% consider the application a good tool for coefficient determination. It is concluded that the UniIrrig<sup>®</sup> application, designed for the Android operating system, can be used to quantify the assessed irrigation uniformity coefficients.

## INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada moderna compreende grande acervo de tecnologias capazes de elevar a produtividade a um padrão sustentável que, apesar de demandar alto investimento relacionado a instalação, manejo e monitoramento do sistema, tem sido a principal estratégia de convivência com a seca, principalmente na região semiárida. Segundo Jobbágy (2021), para o alcance da estabilidade e altos rendimentos das culturas é necessário o irrigante atingir elevada qualidade do sistema, através da correta intensidade de aplicação e uniformidade da irrigação.

Ademais, uma lâmina de aplicação de água eficiente, depende não só de um bom projeto de dimensionamento hidráulico como avaliação periódica da vazão e uniformidade de aplicação de água (COELHO *et al.*, 2013; CAMPÊLO *et al.*, 2014). A qualidade do trabalho do sistema de irrigação geralmente é avaliada com base no valor do coeficiente de uniformidade da irrigação (TOPAK *et al.*, 2005), sendo os mais usuais o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CHRISTIANSEN, 1942), o Estatístico (WILCOX & SWAILES, 1947), o de Distribuição (CRIDDLE, 1956) e, Heermann e Hein (BRALTS, 1986) o mais adotado na avaliação de sistema de irrigação por pivô central.

Para o cálculo desses coeficientes, anteriormente são realizados ensaios de campo a fim de obter volumes de água por meio de uma rede de coletores ou pluviômetros na superfície a ser estudada (BARBERENA *et al.*, 2022). A partir desses resultados calculados torna-se possível avaliar a atual uniformidade do sistema de irrigação com base nas classificações definidas na literatura e, estabelecer uma tomada de decisão, de forma a elevar a eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação.

Embora eficaz, a aplicação dessa metodologia tem sido um impasse principalmente quando deseja-se estudar grandes áreas, visto dificuldade dos cálculos para obtenção dos coeficientes. Nesse sentido, dado os avanços tecnológicos viabilizarem a otimização da irrigação, o emprego de ferramentas facilitadoras para dispositivos móveis, como softwares para computadores e smartphones são estratégias indispensáveis, sobretudo, de acordo com Lopes *et al.* (2019), no

gerenciamento do tempo do usuário, dispensando a efetuação manual dos cálculos em avaliações de sistemas de irrigação.

Borges Júnior *et al.* (2008) ressalta que essa complexidade se deve principalmente ao número de variáveis nos processos envolvidos no sistema solo-planta-água-atmosfera. Além do mais, o acesso à internet na zona rural ainda é um obstáculo ao produtor irrigante, sendo o uso de softwares atribuídos de aplicações offline estratégia decisiva para expansão da tecnologia no campo. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi desenvolver e validar um aplicativo para a determinação de coeficientes de uniformidades de sistemas pressurizados de irrigação.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### *Descrições do aplicativo*

O aplicativo desenvolvido denominado UniIrrig® (*Uniformity Irrigation*) visa auxiliar o usuário nos cálculos dos coeficientes de uniformidades de sistemas pressurizados de irrigação, especificamente os sistemas por aspersão convencional, pivô central, microaspersão e gotejamento. Atualmente, o aplicativo encontra-se disponível na plataforma digital Google Play Store, para dispositivos com sistema operacional Android residindo no seguinte endereço: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.Getai.cuccalcteste>> sob registro no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) nº BR512021003107-5, sendo a Universidade Federal do Ceará a principal cotitular do aplicativo.

Foi realizada inicialmente uma pesquisa exploratória relacionada ao tema, constatando a originalidade do aplicativo desenvolvido. A interpretação dos resultados do Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e Coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) foram baseadas na proposição de Mantovani (2009), e para o Coeficiente de uniformidade de Heermann e Hein (CUH), adotou-se a classificação de Bralts (1986) (Tabela 1). Os resultados são exibidos em distintos realces, indicando “bom a excelente” uniformidade na cor verde, na cor amarela quando em uniformidade “razoável” e na cor vermelha uniformidade “ruim á inaceitável”.

Para avaliação da uniformidade da irrigação em

sistemas de irrigação por aspersão e localizada foi adotado no desenvolvimento do aplicativo o CUC (Christiansen, 1942), o CUD (Criddle, 1956) no qual considera a média de 25% dos menores valores de precipitação e o CUE (Wilcox & Swailes, 1947) (Tabela 2).

Para o sistema por pivô central, foi adotado o coeficiente de uniformidade de Heermann e Hein (CUH) (Bralts, 1986) a qual consiste no desvio médio absoluto em relação à média ponderada e, o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD)

modificado, onde para este, utiliza-se a média ponderada dos dados (Tabela 3).

No sistema por pivô central, é possível avaliar a uniformidade por meio da instalação de uma ou duas linhas radiais com auxílio de recipientes coletores. A metodologia de ensaio utilizando duas linhas radiais com coletores seguem normas da ABNT NBR ISO 11545 de 2016, adotadas na lógica de programação (Figura 1). O aplicativo também auxilia na aferição da evaporação, conforme orienta a referida norma.

**Tabela 1.** Classificação dos resultados do CUC, CUD, CUE e CUH

Classificação	CUC (%)	CUD (%)	CUE (%)	CUH (%)
	-----Mantovani <i>et al.</i> -----			Bralts
Excelente	> 90	> 84	90 – 100	> 90
Bom	80 – 90	68 - 84	80 – 90	80 – 90
Razoável	70 – 80	52 – 68	70 – 80	70 – 80
Ruim	70-60	36-52	60 – 70	70 – 60
Inaceitável	< 60	< 36	< 60	

Fonte: Mantovani *et al.* (2009); Bralts (1986)

**Tabela 2.** Equações dos coeficientes de uniformidade para os sistemas de irrigação localizada e por aspersão convencional

Equações – Coeficientes de Uniformidade		
$CUC = 100 \cdot \left  1 - \frac{\sum_{i=1}^n Q_i - Q}{n Q} \right $	$CUE = 100 \left( 1 - \frac{S}{\bar{X}} \right)$	$CUD = 100 \cdot \frac{Q_{25}}{Q_{med}}$

Qi= vazão coletada em cada gotejador (L h<sup>-1</sup>); Q= média das vazões coletadas de todos os gotejadores (L h<sup>-1</sup>); n= número de emissores analisados; S= Desvio-padrão dos dados de precipitação (mm);  $\bar{X}$ = Média das precipitações (mm); Q<sub>25</sub>: Média aritmética de 25% do total de gotejadores com as menores vazões, (L h<sup>-1</sup>); Qmed= Média aritmética

**Tabela 3.** Equações dos coeficientes de uniformidade para o sistema de irrigação por pivô central

Equações – Coeficientes de Uniformidade	
$CUH = 100 \left[ \frac{\sum_{i=1}^n  V_i - \bar{V}_w  S_i}{\sum_{i=1}^n (V_i S_i)} \right]$	$CUD = 100 \cdot \frac{Q_{25}}{Q_{med}}$

X= Média das vazões coletadas nos gotejadores na subárea, (L h<sup>-1</sup>); n: Número de coletores utilizados no ensaio; i: I-ésimo coletor; Vi: Volume coletado no I-ésimo coletor; Si: Distância do I-ésimo coletor ao eixo do pivô;  $\bar{V}_w$ : Volume médio ponderado; Q<sub>25</sub>: Média ponderada de 25% do total de gotejadores com as menores vazões (L h<sup>-1</sup>); Qmed= Média ponderada dos volumes coletados (L h<sup>-1</sup>)

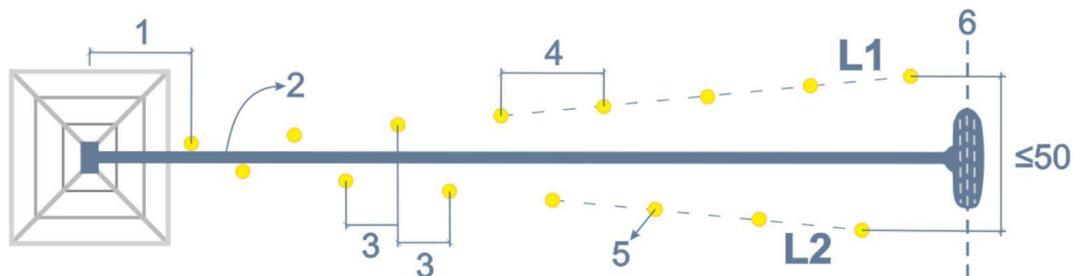


Imagem: Autor. Adaptado da ABNT NBR ISO 11545: 2016

**Figura 1.** Disposição de coletores no sistema de irrigação por pivô central para determinação da uniformidade de irrigação, na metodologia para duas linhas

O número 1, indica a distância do eixo do pivô até o primeiro coletor, o n° 2 a lateral do pivô central, o n° 3 refere-se à descentralização entre coletores das duas linhas, o n° 4 concerne ao espaçamento entre coletores, o n° 5 o i-ésimo coletor da j-ésima linha e o 6 é o rastro da roda. L1 e L2, linha 1 e linha 2, respectivamente.

*Fluxograma de funcionamento*

O Aplicativo UniIrrig®, foi desenvolvido utilizando o ambiente de desenvolvimento integrado (Integrated Development Environment – IDE) Android Studio10 versão 4.0.1, em linguagem JAVA, com aplicabilidade em aparelhos smartphones que executam sistema operacional Android. O idioma do aplicativo segue as normas da língua portuguesa brasileira.

O fluxograma da lógica de funcionamento do

fluxo de dados (Figura 2) ilustra o modelo geral de operações do aplicativo UniIrrig®. Como ponto de partida, são apresentados os distintos sistemas de irrigação disponíveis para o cálculo dos coeficientes. Em seguida, segue a inserção das informações do sistema avaliado para posterior introdução na matriz gerada, dos respectivos volumes coletados pelos coletores. Após o cálculo, o aplicativo exibe os resultados dos coeficientes, gerando posteriormente um relatório contendo as lâminas inseridas, resultados e informações do local de teste, sendo possível salvar na memória do dispositivo em PDF e XLS.

*Validação quantitativa*

Para verificar a aplicação dos cálculos, os mesmos valores de entrada inseridos no aplicativo UniIrrig® também foram inseridos ao Microsoft® Excel 2010,

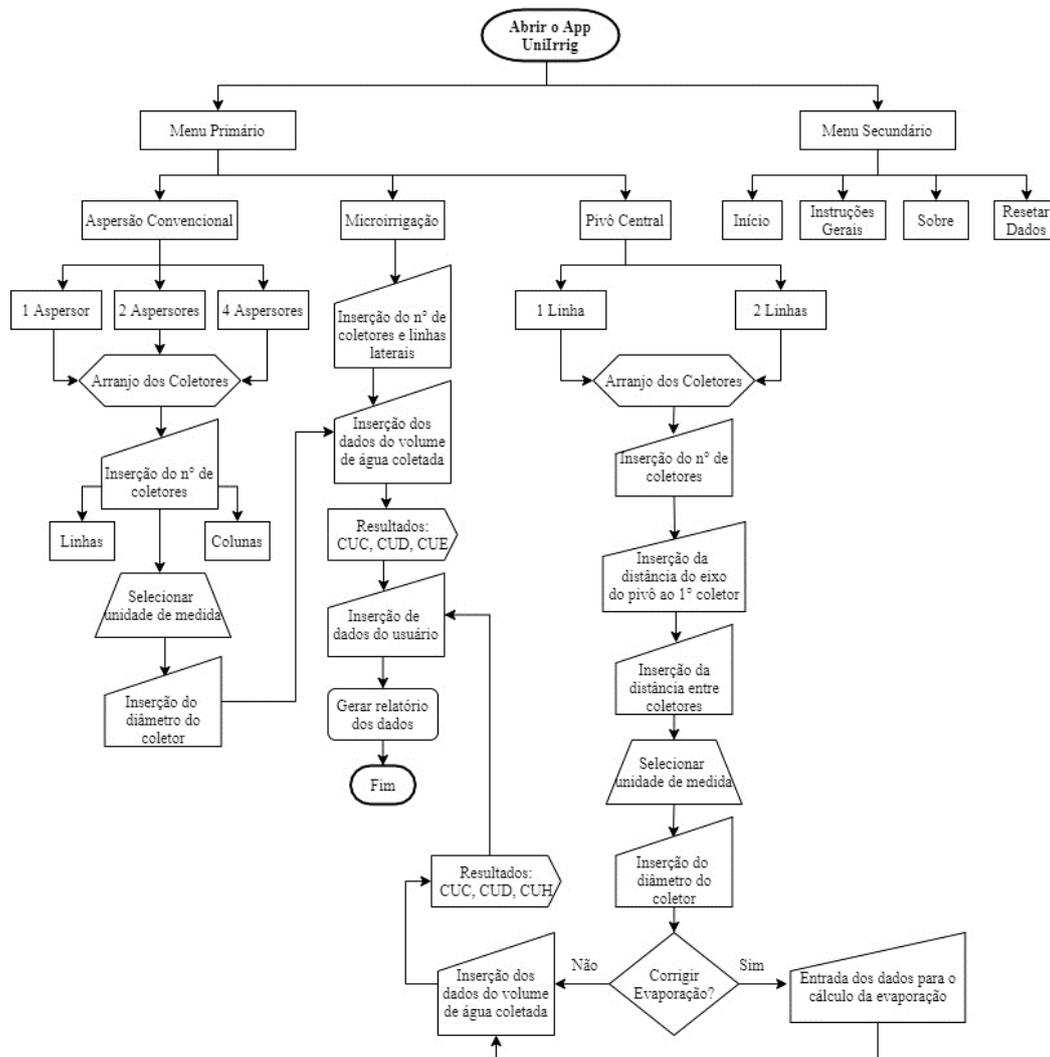


Imagem: Autor (2022)

**Figura 2.** Fluxograma geral de funcionamento do aplicativo UniIrrig®

para obtenção dos coeficientes de uniformidade. Os dados de lâminas atribuídos aos testes para o sistema por aspersão convencional e método localizado foram obtidos por meio de sorteio no Microsoft® Excel, a fim de atestar a validação dos resultados obtidos pelo aplicativo e a segurança do mesmo para resultados de testes em campo.

Para isto, foram realizados 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), onde referem-se ao número de linhas versus número de colunas no sistema por aspersão convencional para um aspersor, dois aspersores e quatro aspersores, totalizando 800 dados para cada coeficiente de uniformidade (CUC, CUD e CUE) nos diferentes números de aspersores disponíveis no aplicativo.

Os volumes de água coletados ao final de cada ensaio são inseridos pelo usuário na matriz de dados do aplicativo UniIrrig® e convertidos em valores de intensidade de precipitação (mm h<sup>-1</sup>). No processo de sobreposição dos dados, foram considerados apenas arranjos quadrados e retangulares. No aplicativo, é possível aplicar três tipos de arranjo: Um aspersor e quatro quadrantes, dois aspersores e dois quadrantes e quadro aspersores e um quadrante (Figura 3A, 3B e 3C, respectivamente).

No método localizado, também verificou-se a validação dos resultados por meio de 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 emissores por linha lateral versus número de linhas laterais, totalizando 800 dados para o CUC, CUD e CUE. Para o pivô central, também foram realizadas 50 repetições nas metodologias de ensaios para uma e duas linhas de coletores de água.

Os resultados do CUC, CUD, CUE e CUH 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 a +1.

#### *Avaliação de um sistema por pivô central*

Para teste em campo, realizou-se a avaliação de um sistema por pivô central no sítio Vitória da cidade de Cascavel - CE, utilizando um sistema composto por 3 vãos e um balanço, totalizando 183,77 m de comprimento total do equipamento, correspondente a 156,95 m até a última torre e 26,82 m do lance em balanço. A área útil irrigada (360°) é de 10,61 ha, sendo o espaçamento médio entre emissores de 3,0 m. Adotou-se o percentímetro ajustado na velocidade de 50%.

A avaliação do sistema de irrigação baseou-se nas normas da ABNT NBR ISO 11545 (2016). Para determinar as lâminas de água em cada coletor, utilizou-se a metodologia de duas linhas radiais (A e B) com ângulo de 3°, contendo 58 coletores na linha A e 59 coletores na linha B, dispostos ao longo do raio do pivô, desde a torre central até o lance em balanço (Figura 4). A distância do eixo ao primeiro coletor na linha A é de 15m e na linha B de 13,5m.

A pressão de operação do sistema no início do pivô foi mantida em 24,05 mca, com altura manométrica total de 49,63 mca. Para a caracterização da uniformidade utilizou-se como base o projeto de norma ABNT NBR ISO 11545 (2016). O pivô central avaliado possui um total de 68 emissores, apresentando 1,1 m de altura, divididos nos vãos conforme apresentado na Tabela 3.

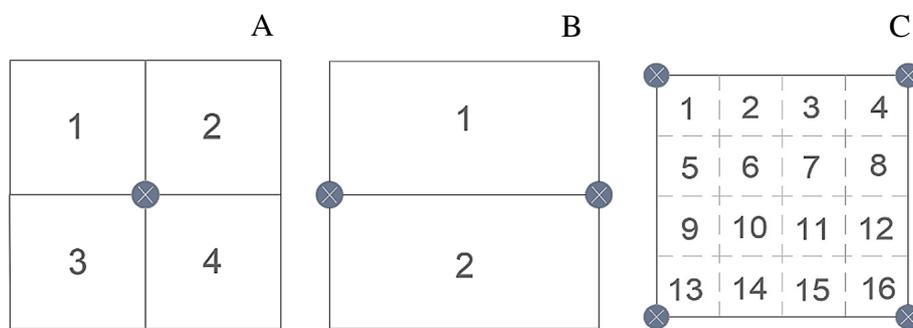


Imagem: Autor (2022)

**Figura 3.** Arranjo de disposição dos aspersores e suas respectivas sobreposições

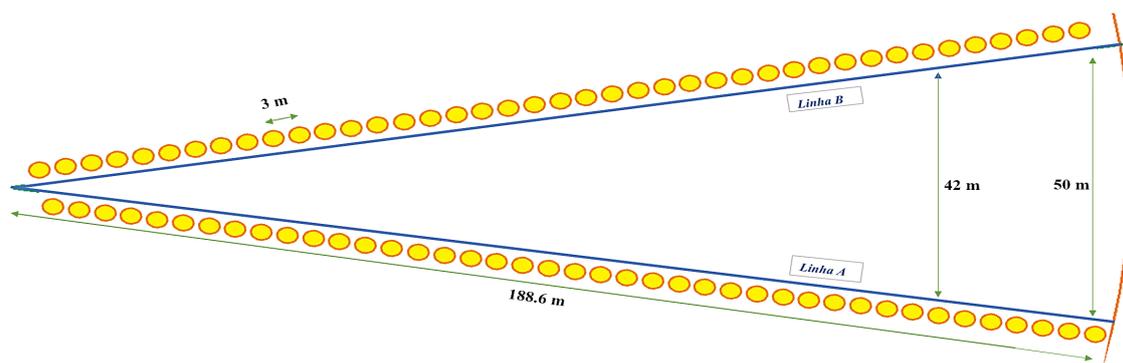


Imagem: Marcio Régis (2022)

**Figura 4.** Esquema da área de coleta da lâmina irrigada (kit Fabrimar)**Tabela 3.** Informações técnicas do equipamento pivô central

	Ponto do Pivô	Segmento 1	Segmento 2	Segmento 3	Balço	
Comprimento (m)	0 - 13,5	40,4	54,6	54,6	28	m
Nº emissores	0	10	24	21	13	emissores
Esp. Emissores	4,2	4,04	2,28	2,6	2,15	m

A coleta de água para o teste de uniformidade foi realizada durante 64 min. Neste intervalo mediu-se a cada 15 min a velocidade do vento (m/s), pressão (mca) e vazão (m<sup>3</sup>/h). Para a avaliação da uniformidade no sistema, foi calculado o CUD e CUH utilizando o aplicativo UniIrrig<sup>®</sup>.

#### *Avaliação qualitativa*

Uma avaliação qualitativa foi proposta aos utilizadores da última versão do aplicativo. Para isso, 68 discentes de graduação em Agronomia cursando as disciplinas de Irrigação Pressurizada e Irrigação e Drenagem da Universidade Federal do Ceará, simularam um teste de uniformidade, atribuindo dados de lâminas de irrigação para obtenção dos coeficientes.

A indicação era avaliar, por meio de um questionário eletrônico, a usabilidade do programa sob os aspectos: facilidade de uso, tempo de carregamento, adequação a resolução da tela, frequência de uso e relevância dos dados. Para Nielsen (1993), uma interface com usabilidade satisfatória equipa cinco atributos: eficiência, facilidade de uso, prevenção de erros, facilidade de aprendizado e satisfação subjetiva.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### *Irrigação por aspersão convencional*

Após inicialização do aplicativo, o menu

principal é exibido (Figura 5A), possibilitando ao usuário indicar qual o sistema de irrigação foi utilizado na avaliação de uniformidade. Selecionado “Aspersão”, serão exibidos os possíveis números de aspersores a serem utilizados para cálculo (1, 2 ou 4). Em seguida, o usuário define o número de linhas, número de colunas, unidade de medida (cm<sup>3</sup> ou mm), diâmetro do coletor (cm) e pressão de operação (mca) (Figura 5B). A partir dessas definições é gerada uma matriz para inserção dos valores de volume de água coletado nos coletores (Figura 5C).

### *Irrigação por gotejamento e microaspersão*

No menu inicial, selecionado “Irrigação Localizada”, o usuário é direcionado para a tela de inserção das variáveis (Figura 6A), constituído pelo número de emissores por linha lateral, número de linhas laterais, unidade de vazão (cm<sup>3</sup>/min. ou L/h) e pressão no final da linha (mca). Em seguida realiza-se a introdução dos valores de volume coletado de água pelos emissores, para cada linha lateral (Figura 6B).

Pressionado o botão “Calcular” tanto para “Aspersão”, quando para “Irrigação localizada”, é exibido imediatamente (Figura 6C) o resultado do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, Coeficiente de Uniformidade de Distribuição,

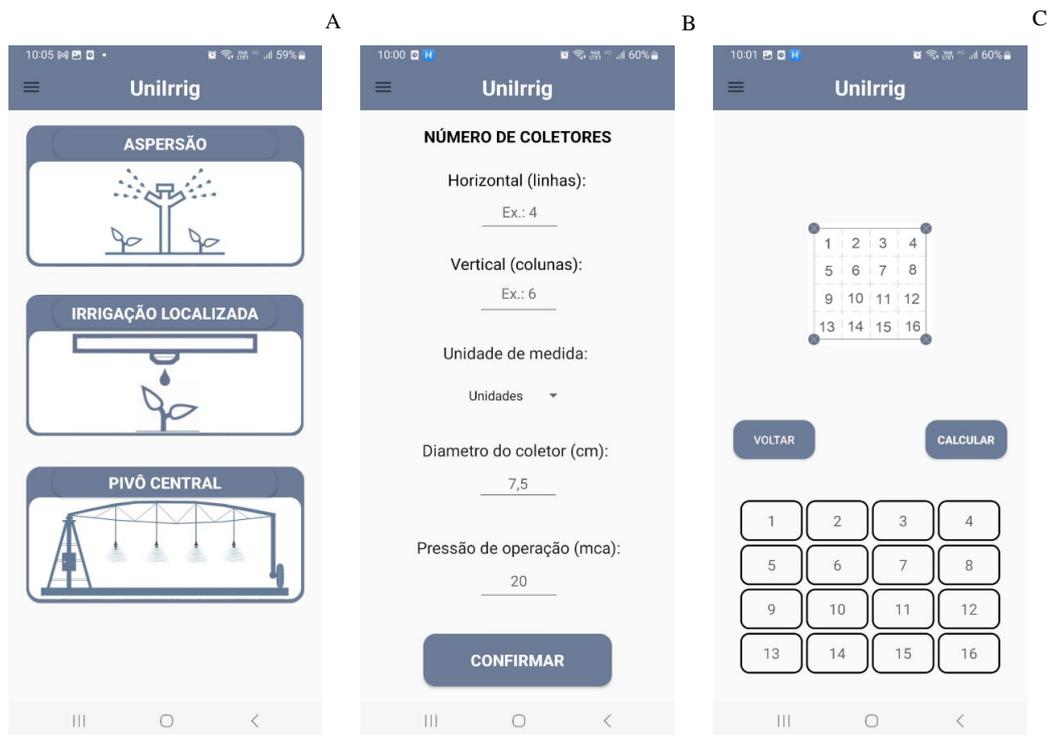


Imagem: Autor (2022)

**Figura 5.** Guias do aplicativo Unilrig®: (A) Menu principal, (B) Informações do sistema avaliado para construção da matriz de inserção dos dados, (C) Introdução dos valores de coleta para o exemplo de quatro aspersores

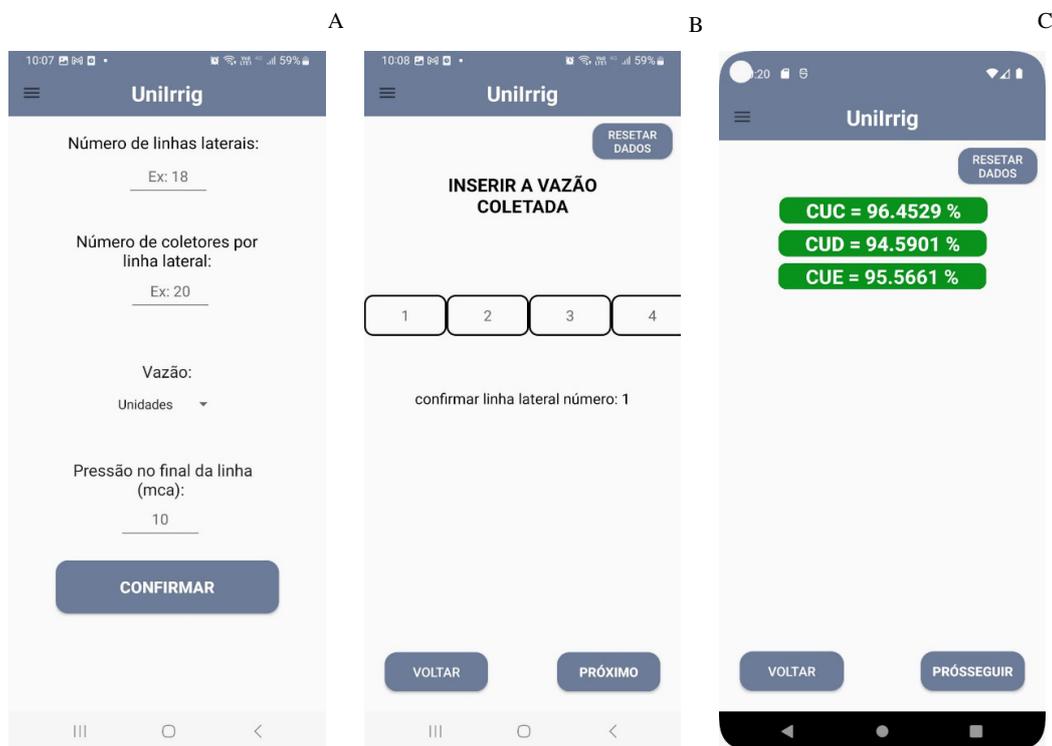


Imagem: Autor (2022)

**Figura 6.** Guias do aplicativo Unilrig®: (A) Informações do sistema avaliado para construção da matriz de inserção dos dados, (B) Introdução dos valores de coleta para quatro aspersores, (C) Resultado do CUC, CUD e CUE

Coefficiente de Uniformidade Estatístico e a lâmina média coletada (CUC, CUD, CUE e Lmc, respectivamente) apresentando realce na cor verde, que evidência segundo classificação de Mantovani *et al.* (2009) “classificação excelente”.

Ademais, são requeridas através de um formulário as principais informações do usuário e da propriedade, a fim de serem armazenados no relatório. O mesmo poderá ser armazenado na memória do aparelho em formato PDF, assim como os dados inseridos de volume, em XLS.

#### *Irrigação por pivô central*

No menu inicial, selecionado o sistema por “Pivô Central”, o usuário é direcionado para a tela de inserção das variáveis (Figura 7A), constituído pelo número de coletores, distância do eixo do pivô ao primeiro coletor e distância entre coletores. Em seguida realiza-se a introdução dos valores de volume coletados pelos pluviômetros (Figura 7B). Pressionado o botão “Calcular” é exibido o resultado do CUD, CUH e o gráfico da lâmina coletada em função da lâmina média ponderada

(Figura 7C), seguindo análoga classificação de Mantovani *et al.* (2009) para o CUD e, classificação de Bralts (1986) para o CUH.

#### *Validação do aplicativo UniIrrig®*

Na validação do aplicativo UniIrrig® mediante conhecimento teórico proposto Bernardo *et al.* (2006), pode-se constatar que a aferição do aplicativo UniIrrig® com o software Microsoft® Excel atestou erro igual a zero, evidenciando que, 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  $r = 1$ , o qual significa, de acordo com Guimarães (2017), perfeita correlação entre as duas variáveis (Microsoft Excel e aplicativo UniIrrig®), comprovando que de fato descreveram adequadamente os mesmos resultados.

Cabe ressaltar ainda que, de acordo com Santos *et al.* (2013) e Rodrigues *et al.* (2013), a análise conjunta dos coeficientes de uniformidade de aplicação de água, são imprescindíveis na

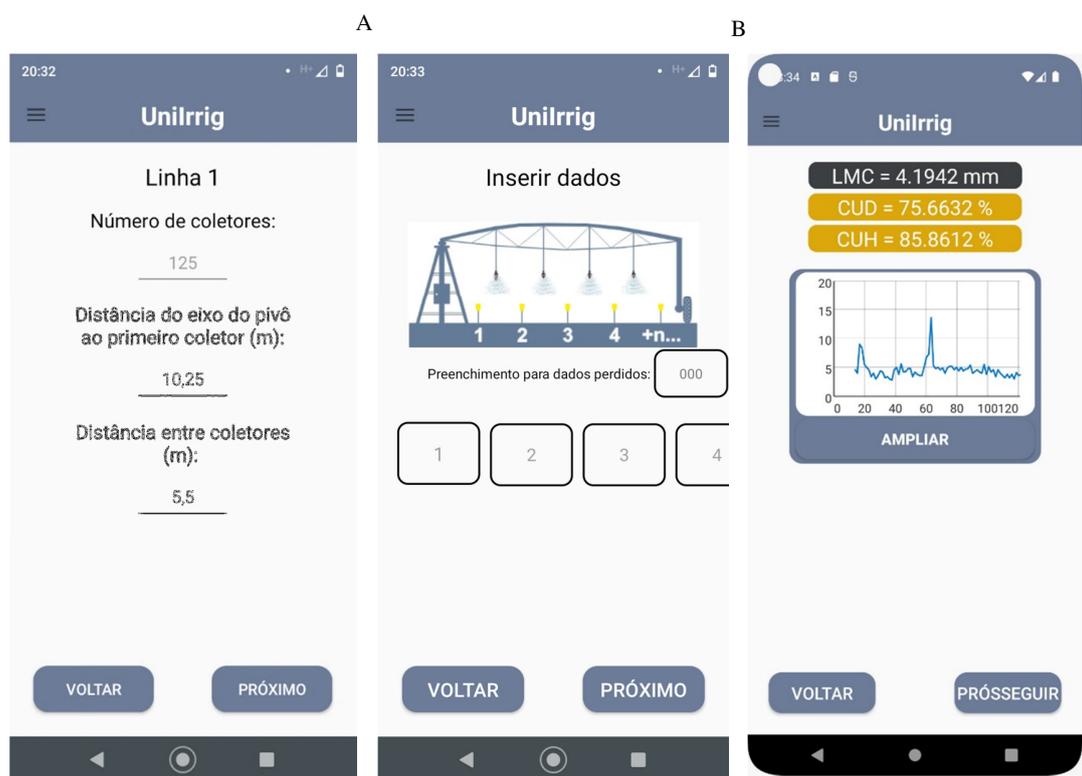


Imagem: Autor (2022)

**Figura 7.** Guias do aplicativo UniIrrig®: (A) Informações do sistema avaliado para construção da matriz de inserção dos dados, (B) Introdução dos valores do volume de água coletada, (C) Resultado do CUD, CUH e gráfico. Para a elaboração do gráfico (Figura 7C), utilizou-se a biblioteca MPAndroidChart, disponibilizada por Philipp Jahoda, sob a licença de uso Apache 2.0

avaliação da variabilidade de distribuição aplicada e consequentemente do desempenho de qualquer sistema de irrigação.

#### Avaliação qualitativa

Após o teste de usabilidade, 71% dos participantes indicaram estarem satisfeitos quanto ao desempenho do aplicativo, 62,3% apontaram a ferramenta ser de fácil usabilidade, 75,4% acreditam que o aplicativo apresenta potencial para atividades em campo, 59,4% consideram a interface do aplicativo agradável, 87% indicaram que o aplicativo executa os resultados de forma ágil e prático, 73,9% julgaram a organização de informações na tela do aplicativo ser claro e intuitivo, 84,1% consideram o aplicativo uma boa ferramenta para determinação de coeficientes de uniformidade e 89,9% recomendariam o aplicativo.

Dos 69 entrevistados, 95,7% não encontraram falhas durante a operação da ferramenta. Os 4,3% restantes apresentaram suas críticas e sugestões ao final do formulário, no qual estão em atual processo de implementação para aprimoramento da ferramenta e atualização na Google Play Store. Segundo Nielsen (1993), com apenas 5 usuários já é possível constatar cerca de 80% dos problemas de usabilidade de uma aplicação.

#### Avaliação de um sistema por pivô central

A análise dos resultados (Figura 8) exhibe que o CUD, de acordo com Mantovani *et al.* (2009),

indicou boa uniformidade do sistema avaliado, apresentando 75,61% ( $< 84%$  e  $\geq 68%$ ). Já o CUH, classificado segundo Bralts (1986), exhibe boa uniformidade, visto resultado  $< 90%$  e  $\geq 80%$ . Sabendo-se que para o cálculo do CUH é utilizado o desvio padrão, na condição em que a lâmina de aplicação demonstra desuniformidade, maior se apresentará o desvio padrão e menor será o valor de CUH.

Observa-se na tabela 4 os dados referentes ao tempo de percurso do pivô central, velocidade do vento, pressão de operação, vazão do sistema e informações sobre a operação do teste.

A velocidade do vento durante o teste apresentou média de 2,74 m/s, não interferindo nos valores dos coeficientes. Heermann & Hein (1968), observando o efeito do vento na uniformidade de distribuição de água em sistema por pivô central, inferiram que este não foi afetado de forma significativa pelo vento, visto a uniformidade permanecer acima de 80%. Autores como Solomon (1979), Kincaid (1996), Dechmi (2003), afirmam que a velocidade do vento é um dos principais fatores de influência na uniformidade dos sistemas de irrigação. Segundo Bernardo *et al.* (2019), ainda outros fatores como temperatura do ar e fracionamento do jato de água elevam a perda d'água por evaporação e deriva ocasionada pelo vento.

Pode-se observar no gráfico 1, o perfil de distribuição da lâmina aplicada ao longo do raio do pivô central, considerando a lâmina coletada em

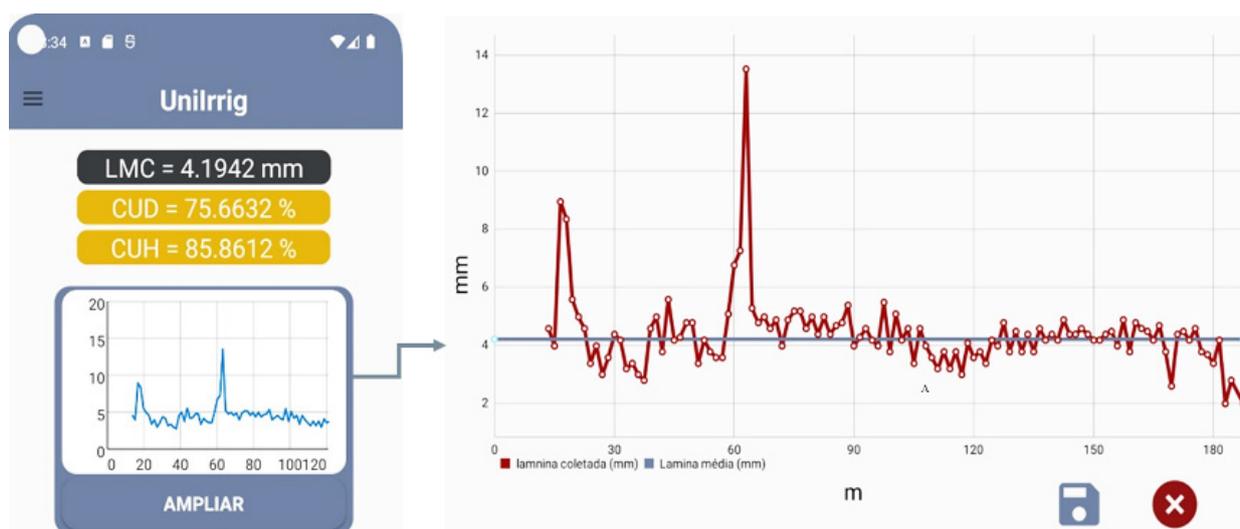


Imagem: Autor (2022). LMC= lâmina média coletada, CUD= coeficiente de uniformidade de distribuição, CUH= coeficiente de uniformidade de Heermann e Hein

**Figura 8.** Resultado da avaliação do pivô central utilizando o aplicativo UniIrrig® e ampliação do gráfico de uniformidade do sistema

**Tabela 4.** Informações do teste de uniformidade no sistema de irrigação por pivô central

Horário	Pressão (mca)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Processos
10:40	10	66,09	Início - Passagem da lateral pela LA
10:55	10	66,45	
11:10	10	64,43	
11:25	10	65,60	
11:40	10	64,10	
11:44			Final - Passagem da lateral pela LB
11:53			Início da coleta LA
11:57			Início da coleta LB

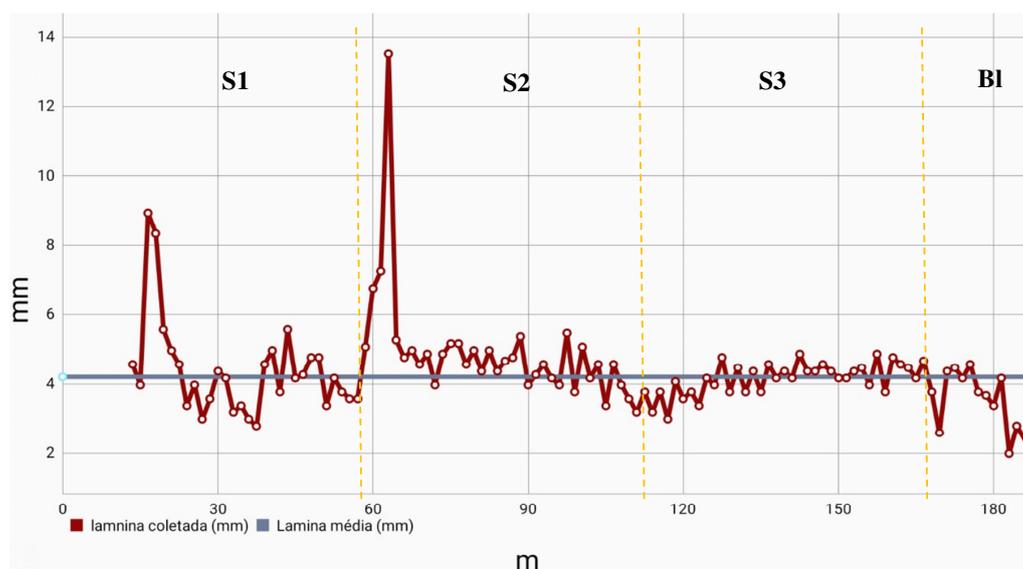


Imagem: Autor (2022). S1: Segmento 1 do pivô central, S2: segmento 2, S3: segmento 3, BI: Balanço

**Gráfico 1.** Perfil da lâmina coletada em função da lâmina média ponderada

função da lâmina média ponderada calculada (4,12 mm). De modo geral, é observado em algumas faixas irregularidade na uniformidade de aplicação e na distribuição de água ao longo do pivô central (Gráfico 1).

Analisando a distância do eixo do pivô aos melhores resultados de uniformidade da lâmina aplicada, nota-se que a partir dos 66m de distância, equivalente à metade do segmento 2 (S2) uma menor variação das lâminas é verificada. Entretanto, denota-se que o segmento 3 (S3) apresenta-se com maior uniformidade das lâminas. Dessarte, notado a desuniformidade do sistema evidenciado no gráfico e no cálculo dos coeficientes executados no aplicativo UniIrrig®, o sistema apresenta-se com boa uniformidade segundo Mantovani *et al.* (2009) e Bralts (1986).

## CONCLUSÕES

- O aplicativo UniIrrig®, desenvolvido para

o sistema operacional Android, pode ser utilizado na determinação dos coeficientes de uniformidades para avaliação de sistemas de irrigação localizada, aspersão convencional e pivô central.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABNT (2016) ABNT NBR ISO 11545:2016 **Equipamentos de irrigação agrícola: Máquinas de irrigação pivô central e linear móvel, equipadas com sprayers ou aspersores - Determinação da uniformidade de distribuição de água.** Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2016. 20 p.

Bernardo, S.; Soares, A. A.; Mantovani, E. C. **Manual de irrigação.** 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 611 p.

- Bernardo, S.; Mantovani, E. C.; Silva, D. D.; Soares, A. A. **Manual de Irrigação**. 9ª ed, p.545, Editora UFV. Viçosa-MG, 2019.
- Barberena, I.; Campo-Bescós, M. Á.; Casali, J. Extended Assessment of Sprinkler Irrigation Uniformity in Greenhouses Using GIS and Hydraulic Modeling. **Sustainability**, v.14, n.15, p.9723, 2022.
- Borges Júnior, J. C. F.; Ferreira, P. A.; Hedden-Dunkhorst, B.; Andrade, C. L. T. Modelo computacional para suporte à decisão em áreas irrigadas. Parte I: Desenvolvimento e análise de sensibilidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 3/1-11, 2008.
- Braults, V. F. Field performance and evaluation. In: Developments in Agricultural Engineering. [s.l.]: Elsevier, 1986. v. 9p. 216-240.
- Campêlo, A. R.; Fernandes, C.N.V.; Silva, A.R.A. da; Oliveira, S. R. M. de; Bezerra, F. M. L.; Cândido, M. J. D. Avaliação de sistemas de irrigação por aspersão em malha em áreas cultivadas com capim-braquiária. **Revista Agrotec**, v. 35, n. 1, p 1-12, 2014.
- 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. <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/90342/1/Doc206-DrEugenio.pdf>>. 01 de ago de 2022.
- Christiansen, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkley: University of California, p. 124, 1942. <[https://brittlebooks.library.illinois.edu/brittlebooks\\_closed/Books2009-04/chrije0001irrspr/chrije0001irrspr.pdf](https://brittlebooks.library.illinois.edu/brittlebooks_closed/Books2009-04/chrije0001irrspr/chrije0001irrspr.pdf)>. 01 de ago de 2022.
- 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. <<https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT87210897/pdf>> 02 de ago de 2022.
- Dechmi, F.; Playán, E.; Faci, J. M.; Tejero M. Analysis of an irrigation district in northeastern Spain: I. Characterisation and water use assessment. **Agricultural Water Management**, v.61, n.2, p.75-92, 2003.
- Guimarães, P. R. B. **Análise de correlação e medidas de associação**. Universidade Federal do Paraná. <<https://docs.ufpr.br/~jomarc/correlacao.pdf>>. 01 jul. 2022.
- Heermann, D. F. Hein, P. R. Performance characteristics of self-propelled centerpivot sprinklers irrigation systems. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, n.11, v.1, p.11-5, 1968.
- Jobbágy, J.; Dančaniň P.; Krištof K.; Maga J.; Slaný V. “Evaluation of the Quality of Irrigation Machinery by Monitoring Changes in the Coefficients of Uniformity and Non-Uniformity of Irrigation.” **Agronomy**, Basel, v.11, n.8, p. 1499, 2021.
- Kincaid, D. C.; Solomon, K. H.; Oliphant, J. C. Drop size distributions for irrigation sprinklers. **Society of Agricultural and Biological Engineers**, v.39, n.3, p.839-845, 1996.
- Lopes, L. C. L.; Vieira, H. D.; Vieira, G. H. S.; Sousa, 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.
- Nielsen, J. **Usability engineering**. San Francisco: Morgan Kauffman, 1993. 132 p.
- Mantovani, E. C.; Bernardo, S.; Palaretti, L. F. **Irrigação: Princípios e métodos**. Editora UFV. 3ª ed. Viçosa – MG, 2009. p. 355.
- 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.

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.

Topak, R.; Suheri, S.; Cifti, N.; Acar, B. Performance evaluation of sprinkler irrigation in a semi-arid area. **Pakistan Journal of Biological Sciences**. v.8, p. 97-103, 2005.

Solomon, K. Variability of sprinkler coefficient of uniformity test results. **Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 22, n.5, p.1078-1080, 1979.

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.