

**CARLOS HENRIQUE RAMALHO FERENC**

**SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO PARA CAMPOS DE FUTEBOL E QUADRAS DE  
TÊNIS COM PISO DE SAIBRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Fernando França da Cunha

Coorientador: Carlos Augusto B. de Alencar

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

F349s  
2021 Ferenc, Carlos Henrique Ramalho, 1971-  
Sistemas de irrigação para campos de futebol e quadras de  
tênis com piso de saibro / Carlos Henrique Ramalho Ferenc. –  
Viçosa, MG, 2021.  
59 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Fernando França da Cunha.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Irrigação por aspersores. 2. Engenharia de irrigação.  
3. Parques urbanos. 4. Áreas de recreação. I. Universidade  
Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 631.587

**CARLOS HENRIQUE RAMALHO FERENC**

**SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO PARA CAMPOS DE FUTEBOL E QUADRAS DE  
TÊNIS COM PISO DE SAIBRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 04 de março de 2021.

Assentimento:



---

Carlos Henrique Ramalho Ferenc  
Autor



---

Fernando França da Cunha  
Orientador

## **OFERECIMENTO**

Aos meus pais amados, Narciso Ferenc e Ildete Maria Ramalho Ferenc que me ofereceram com muito amor educação, personalidade e caráter. Vocês não estão mais entre nós, mas em cada passo que dou sinto a presença de vocês alegres ao meu lado.

Aos meus irmãos, Maria do Socorro, Tereza, Cezar, Jaqueline e Michelle por tudo que vocês representam para mim. Agradeço a Deus por ter colocado ao meu lado os melhores irmãos do mundo e saibam que vocês são tudo para mim. Tenho certeza que a vitória de um é uma vitória de todos nós.

Aos meus filhos, Bernardo Henrique e Lorenzo Gabriel vocês chegaram tem pouco tempo à minha vida e mesmo assim já conseguiram mudar todo meu mundo, para melhor. Hoje sou um pai realizado, feliz e cheio de esperanças e ilusões. Tenho muitos sonhos para vocês e para nós, mas o que mais quero é ver você crescerem fortes, felizes e saudáveis.

## **DEDICATÓRIA**

À Alvanize minha esposa que me acalma quando estou precisando de paz e enche a minha alma de energia quando eu preciso de forças! Te amo!

## AGRADECIMENTOS

A Deus que com sua infinita sabedoria foi um verdadeiro guia nessa minha jornada.

Ao professor Dr. Fernando França Cunha pela orientação, amizade e paciência, e ao coorientador professor Dr. Calos augusto Brasileiro de Alencar pelo apoio e confiança de depositar em nós a ideia deste nosso trabalho.

Aos amigos que aceitaram compor a banca de defesa desta dissertação o professor Dr. Roberto Avelino Cecílio e Dr. Roberto Filgueiras e que muito contribuíram com críticas e sugestões que enriqueceram este trabalho.

A empresa Irrizom – Irrigação zona da Mata Ltda. que permitiu e muito contribuiu para o desenvolvimento deste trabalho, pela sua estrutura e dos seus colaboradores que não mediram esforços para que pudéssemos nos momentos difíceis nos ausentarmos para nos dedicarmos a este trabalho

Ao Clube Campestre de Viçosa pela disponibilidade do uso de seu espaço e estrutura de campo de futebol e quadra de ténis com piso saibro junto com seus sistemas de irrigação para coleta dos nossos dados para realização deste trabalho.

A todos os familiares, amigos, professores e colegas que que de alguma forma direta ou indiretamente torceram pelo sucesso e finalização desse trabalho.

Aos professores, funcionários, alunos e amigos, que nos momentos difíceis nos apoiaram nesse trabalho

À Universidade Federal de Viçosa, pelo apoio técnico e científico, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade da realização deste curso.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## BIOGRAFIA

CARLOS HENRIQUE RAMALHO FERENC – nascido em Vila Velha – ES, no dia 19/11/1971, filho de Narciso Ferenc e Ildete Maria Ramalho Ferenc.

Em dezembro de 1991 graduou-se em Técnico de Mecânica Industrial Pela Escola Técnica Federal do Espírito Santo (ETFES), que possibilitou dois estágios entre os anos de 1991 a 1992 em Vitória ES na Usina de pelotização II Companhia - Vale do Rio Doce (VALE) e na Companhia Docas do ES (CODESA)

Em 1998, graduou-se em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), desenvolveu no período de 1996 a 1997, como atividade de Iniciação Científica, com Bolsa da FAPEMIG, o Projeto "Acoplamento de Motores Monofásicos em Série para o Bombeamento de Água" sob orientação do professor DR. Delly de Oliveira Filho na área de energia do Departamento de Engenharia Agrícola (UFV)

Em 1999 fundou e é Sócio Proprietário da empresa Irrizom (Irrigação Zona da Mata Ltda.- ME), empresa prestadora de serviços de desenvolvimento de projetos de irrigação. Tem experiência em Engenharia Agrícola e Ambiental, atuando principalmente nas seguintes áreas: levantamento topográfico (planialtimétrico) de áreas irrigáveis, elaboração de projetos, preparação de planilhas de custos, implantação do projeto de irrigação; elaboração de projetos de outorga de água; elaboração e desenvolvimento de software e cursos sobre irrigação por aspersão e localizada

Entre os anos de 2012 a 2015 foi Diretor Agropecuário da casa do empresário de Viçosa - MG

Entre os anos de 2010 a 2011 foi Conselheiro deliberativo no clube Recanto das Águas de Viçosa - MG

Em 2018 iniciou o curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, na linha de Pesquisa Manejo de Água/ Planta na Agricultura, Stricto Sensu, nível mestrado, pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), com a defesa de dissertação aprovada em 04 de março de 2021.

## RESUMO

FERENC, Carlos Henrique Ramalho, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2021. **Sistemas de irrigação utilizados para campos de futebol e quadras de tênis com piso de saibro.** Orientador: Fernando França da Cunha. Coorientador: Carlos Augusto Brasileiro de Alencar.

Em parques urbanos e clubes de recreação grandes volumes de água são utilizados para enchimento de piscinas e sistemas de irrigações de quadras, campos e jardins. Considerando que a grande maioria dos clubes estão instaladas na zona urbana, onde o preço da água e da energia elétrica são maiores, aumenta-se a necessidade de utilização da irrigação de forma mais eficiente. Sendo assim, objetivou-se neste trabalho avaliar a eficiência de sistemas de irrigação para campos de futebol e quadras de tênis com piso de saibro. Os estudos foram conduzidos no Clube Campestre de Viçosa, situado em Viçosa-MG, Zona da Mata Mineira. No capítulo 1, foi avaliada a uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por aspersão em campo de futebol, por diferentes metodologias, e verificaram-se as influências de diferentes espaçamentos entre aspersores e fatores climáticos nos resultados. O sistema de irrigação possuía aspersores do modelo Falcon 6504 operando com pressão de 320 kPa. Foram realizados seis testes de campo e as lâminas coletadas foram sobrepostas simulando sistemas de irrigação com espaçamentos entre aspersores de 6x6, 6x9, 9x9, ....., e 30x30 m. No segundo capítulo, avaliou-se o desempenho de um sistema de irrigação por aspersão com mangueira e chuveiro, tradicionalmente utilizado em quadra de tênis de piso de saibro, e foi proposto um outro sistema de irrigação de baixo custo (denominado de barra irrigadora) e que fosse operacional e apresentasse viabilidade técnica. Para cada sistema de irrigação, foram realizadas três avaliações. Para ambos os capítulos, no início de cada teste, as pressões e vazões dos emissores foram medidas e utilizou-se o método do perfil de distribuição de água na determinação da uniformidade de distribuição dos sistemas. A eficiência de distribuição foi obtida por meio dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC), estatístico (CUE), de distribuição (CUD), de Hart (CUH), pela eficiência padrão da HSPA (UDH), absoluto (CUA), e pelo coeficiente de variação (CV). Posteriormente, as eficiências de aplicação e irrigação também foram calculadas. Durante os testes foram medidas algumas variáveis meteorológicas. Para o capítulo 1, calcularam-se os coeficientes de uniformidade médios e acumulados. Independente do sistema avaliado, os valores de CUC e CUH apresentaram valores próximos e foram superiores aos demais coeficientes.

No capítulo 1, a velocidade do vento reduziu o alcance do jato aplicado pelo aspersor e conferiu maior efeito na uniformidade de distribuição de água. O CUC acumulado apresentou maiores valores em relação ao CUC médio. O aumento do espaçamento entre os aspersores reduziu a uniformidade de distribuição de água. No capítulo 2, as lâminas coletadas, aplicadas pelo sistema de irrigação por mangueira/chuveiro, apresentaram alta variabilidade espacial e, conseqüentemente, baixos valores de uniformidade, sendo classificados como ruins ou inaceitáveis. A barra irrigadora proporcionou maiores valores dos coeficientes de uniformidade, sendo classificados como bons. Para atendimento de critérios técnicos e econômicos, recomenda-se o espaçamento de 12x15 m entre os aspersores Falcon 6504 operando com a pressão de serviço de 320 kPa para irrigar campos de futebol. Para irrigação de quadras de tênis, com superfície de saibro, o sistema de irrigação por mangueira/chuveiro não deve ser recomendado, pois apesar de terem um baixo custo de aquisição consomem muita energia, água e mão de obra qualificada. A barra irrigadora, por apresentar benefícios técnicos, operacionais e econômicos, apresenta potencial para ser utilizada no sistema de irrigação de quadras de saibro.

**Palavras-chave:** Barra irrigadora. Coeficiente de uniformidade. Eficiência de aplicação. Eficiência de distribuição. Sistemas de irrigação. Parques urbanos. Clubes de recreação.

## ABSTRACT

FERENC, Carlos Henrique Ramalho, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March 2021. **Irrigation systems used for football fields and tennis courts with clay floors.** Advisor: Fernando França da Cunha. Co-advisor: Carlos Augusto Brasileiro de Alencar.

In urban parks and recreation clubs, large volumes of water are used to fill swimming pools and irrigation systems for courts, fields and gardens. Considering that the vast majority of clubs are installed in urban areas, where the price of water and electricity are higher, the need to use irrigation more efficiently is increasing. Therefore, the objective of this work was to evaluate the efficiency of irrigation systems for soccer fields and tennis courts with gravel floors. The studies were conducted at Clube Campestre de Viçosa, located in Viçosa-MG, Zona da Mata Mineira. In chapter 1, the uniformity of distribution of a sprinkler irrigation system on a soccer field was evaluated, using different methodologies, and the influence of different spacing between sprinklers and climatic factors on the results was verified. The irrigation system had Falcon 6504 model sprinklers operating at a pressure of 320 kPa. Six field tests were carried out and the collected blades were superimposed simulating irrigation systems with spacing between sprinklers of 6x6, 6x9, 9x9, ....., and 30x30 m. In the second chapter, the performance of a sprinkler irrigation system with hose and shower, traditionally used in a clay tennis court, was evaluated, and another low-cost irrigation system (called the sprinkler bar) and operational and technically feasible. For each irrigation system, three evaluations were carried out. For both chapters, at the beginning of each test, the pressures and flows of the emitters were measured and the water distribution profile method was used to determine the uniformity of distribution of the systems. Distribution efficiency was obtained using Christiansen's uniformity coefficients (CUC), statistical (CUE), distribution (CUD), Hart's (CUH), by the standard efficiency of HSPA (UDH), absolute (AUC), and by the coefficient of variation (CV). Subsequently, application and irrigation efficiencies were also calculated. During the tests some meteorological variables were measured. For Chapter 1, the average and accumulated uniformity coefficients were calculated. Regardless of the system evaluated, the values of CUC and CUH presented similar values and were higher than the other coefficients. In chapter 1, the wind speed reduced the range of the jet applied by the sprinkler and conferred a greater effect on the uniformity of water distribution. The accumulated CUC presented higher values in relation to the average CUC. Increasing the spacing between the sprinklers reduced the uniformity of water distribution. In chapter 2, the collected slides, applied by the hose / shower

irrigation system, showed high spatial variability and, consequently, low uniformity values, being classified as bad or unacceptable. The irrigating bar provided higher values of uniformity coefficients, being classified as good. To meet technical and economic criteria, a spacing of 12x15 m is recommended between Falcon 6504 sprinklers operating at a service pressure of 320 kPa to irrigate soccer fields. For tennis court irrigation, with gravel surface, the hose / shower irrigation system should not be recommended, because despite having a low acquisition cost, they consume a lot of energy, water and qualified labor. The irrigation bar, for presenting technical, operational and economic benefits, has potential to be used in the irrigation system of clay courts.

**Keywords:** Irrigation bar. Uniformity coefficient. Application efficiency. Distribution efficiency. Irrigation systems. Urban parks. Recreation clubs.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.A.</b> Localizações da área experimental em relação ao Brasil.....	24
<b>Figura 1.B.</b> Localizações da área experimental em relação ao Município de Viçosa-MG.....	24
<b>Figura 1.C.</b> Localizações da área experimental em relação e ao Clube Campestre de Viçosa...	24
<b>Figura 1.D.</b> Esboço da montagem dos pluviômetros para a avaliação do sistema de irrigação...	24
<b>Figura 2.A.</b> Característica técnica do aspersor Falcon 6504 vazão versus pressão.....	25
<b>Figura 2.B.</b> Característica técnica do aspersor Falcon 6504 Raio de alcance versus pressão.	25
<b>Figura 3.</b> Uniformidade de distribuição para aplicação da lâmina de irrigação média de 10 mm em diferentes simulações de espaçamentos dos aspersores Falcon 6504 (bocal 14) operando com pressão de serviço de 320 kPa.....	29
<b>Figura 4.</b> Alcance máximo do jato de água aplicado pelo aspersor Falcon 6504 (bocal 14), operando com a pressão de serviço média de 320 kPa, em função da velocidade do vento....	31
<b>Figura 5.A.</b> Coeficientes de uniformidade de distribuição de água (%) em função de diferentes espaçamentos do aspersor Falcon 6504 (bocal 14) operando com a pressão de serviço de 320 kPa: Lâminas médias coletadas .....	32
<b>Figura 5.B.</b> Coeficientes de uniformidade de distribuição de água (%) em função de diferentes espaçamentos do aspersor Falcon 6504 (bocal 14) operando com a pressão de serviço de 320 kPa: Lâminas coletadas acumuladas.....	32
<b>Figura 6.A.</b> Valores de coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) durante a irrigações por um sistema equipado com aspersores Falcon 6504 (bocal 14) espaçados em 12x15 m em função dos valores médios de temperatura do ar.....	36
<b>Figura 6.B.</b> Valores de coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) durante a irrigações por um sistema equipado com aspersores Falcon 6504 (bocal 14) espaçados em 12x15 m em função dos valores médios de umidade relativa.....	36

<b>Figura 6.C.</b> Valores de coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) durante a irrigações por um sistema equipado com aspersores Falcon 6504 (bocal 14) espaçados em 12x15 m em função dos valores médio de velocidade do vento .....	36
<b>Figura 6.D.</b> Valores de coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) durante a irrigações por um sistema equipado com aspersores Falcon 6504 (bocal 14) espaçados em 12x15 m em função dos valores médios de radiação solar .....	36
<b>Figura 6.E.</b> Valores de coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) durante a irrigações por um sistema equipado com aspersores Falcon 6504 (bocal 14) espaçados em 12x15 m em função dos valores médios do déficit de pressão.....	36
<b>Figura 7.A.</b> Localizações da área experimental quadra de tênis em relação ao Brasil .....	45
<b>Figura 7.B</b> Localizações da área experimental quadra de tênis em relação a Viçosa-MG .....	45
<b>Figura 7.C.</b> Mangueira com o emissor tipo chuveiro .....	45
<b>Figura 7.D.</b> Detalhe da distribuição dos coletores na quadra de tênis.....	45
<b>Figura 8.A.</b> Barra irrigadora.....	47
<b>Figura 8.B.</b> Emissores SempreVerde da Fabrimar® .....	47
<b>Figura 8.C.</b> Base/suporte com as peças constituintes da barra irrigadora.....	47
<b>Figura 8.D.</b> Visão geral da distribuição dos pluviômetros para a avaliação do sistema (D)...	47
<b>Figura 9.A.</b> Curva vazão versus pressão de serviço para os emissores 90° .....	48
<b>Figura 9.B.</b> Curva vazão versus pressão de serviço para os emissores 180° .....	48
<b>Figura 10.A.</b> Distribuição espacial das lâminas de água coletadas na quadra de tênis de piso saibro por sistemas de irrigação por mangueira conectada ao emissor do tipo chuveiro.....	53
<b>Figura 10.B.</b> Distribuição espacial das lâminas de água coletadas na quadra de tênis de piso saibro por sistemas de irrigação por barra irrigadora.....	53

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Valores médios das variáveis meteorológicas durante as avaliações do sistema de irrigação.....	26
<b>Tabela 2.</b> Materiais constituintes da barra irrigadora com suas respectivas quantidades e custo médio para a sua aquisição.....	48
<b>Tabela 3.</b> Classificação dos valores de coeficientes de uniformidade para sistemas de aspersão.....	50
<b>Tabela 4.</b> Dados obtidos durante as avaliações dos sistemas de irrigação para quadras de tênis.....	51
<b>Tabela 5.</b> Valores de coeficientes de uniformidade e eficiências, com seus respectivos desvios e classificações, para diferentes sistemas de irrigação para quadras de tênis.....	54

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ONU	Organização das Nações Unidas
FAO	Organização da ONU para a Alimentação e a Agricultura
WWC	Concelho Mundial da Água
ANA	Agência Nacional as Águas e Saneamento Básico
CUC	Coeficientes de uniformidade de Christiansen
CUE	Coeficientes de uniformidade estatístico
CUD	Coeficientes de uniformidade de distribuição
CUH	Coeficientes de uniformidade de Hart
UDH	Coeficientes pela eficiência padrão da HSPA
CUA	Coeficientes de uniformidade absoluto
CV	Coeficiente de variação
PEA	Perdas por evaporação e arraste
La	Lâmina aplicada
Lc	Lâmina coletada,
E <sub>A</sub>	Eficiência de aplicação
E <sub>i</sub>	Eficiência de irrigação
WGS	Sistema Geodésico mundial
ABNT-NBR	Associação Brasileira de normas Técnicas
IDW	Interpolações ponderadas
TIB	Taxa de infiltração básica
ET <sub>c</sub>	Evapotranspiração da cultura
PVC	Polietileno de polivinil

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
kPa	kilopascal
m	metros
mm	Milímetros
m <sup>2</sup>	Metros quadrados
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
bar	Bar
CV	Cavalo vapor
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
®	marca registrada
°	Graus
r <sup>2</sup>	Coeficiente de determinação
m <sup>2</sup>	Metros quadrados
°C	Graus Celsius
m s <sup>-1</sup>	Metros por segundos
mm h <sup>-1</sup>	milímetros por hora
MJ m <sup>-2</sup>	Mega joule por metros quadrados
hPa	Hectapascal

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	16
OBJETIVO GERAL.....	18
OBJETIVO ESPECIFICO.....	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	18
<b>CAPÍTULO 1 – UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA POR UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO EM CAMPO DE FUTEBOL.....</b>	<b>20</b>
RESUMO.....	20
INTRODUÇÃO.....	21
MATERIAL E MÉTODOS.....	23
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
CONCLUSÕES.....	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37
<b>CAPÍTULO 2 – PROPOSIÇÃO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO PARA UMEDECIMENTO DA SUPERFÍCIE DE SAIBRO DE QUADRAS DE TÊNIS.....</b>	<b>40</b>
RESUMO.....	40
INTRODUÇÃO.....	41
MATERIAL E MÉTODOS.....	43
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
CONCLUSÃO.....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>59</b>

## INTRODUÇÃO GERAL

Para a manutenção com qualidade e forma duradoura dos parques urbanos e clubes de recreação com ótimo aspecto visual e com qualidade de uso das suas quadras e campos esportivas é preciso um perfeito umedecimento e a palavra chave para obtenção deste objetivo é por meio de aplicações de laminas de água uniformes periodicamente através de sistemas que apresentem elevada uniformidade de distribuição, desenvolvidos especificamente para este propósito, como exemplo sistema de irrigação por aspersão que oferece viabilidade técnica e econômica, desde que seja aplicado de forma racional.

Decorrente de processos sócio-históricos relativos às necessidades de sobrevivência humana já se tem consolidada a importância da água. Porque se sabe que as águas são parte de uma interação socioambiental, sociocultural que pode ser através da produção de alimentos, lazer, do esporte propriamente dito, no qual se aprende todo dia (ALVES; TOUTONGE, 2020), contudo, mesmo sabendo da importância da água para a sobrevivência humana, para a produção de alimentos, de energia e para o lazer, é frequente o seu uso pouco racional, caracterizado pela sua poluição e desperdício.

Desperdício da água doce não é bem quisto, pois a mesma é fundamental na produção de alimentos em geral. Segundo a FAO-WWC (2015) há uma crescente demanda por alimentos, devido ao crescimento da população mundial e do aumento da renda em países populosos como a China e a Índia. Cerca de 805 milhões de pessoas no mundo não possuem alimentação suficiente para ter uma vida saudável e ativa. Também se deve considerar que a população mundial em 2024 será superior a 8 bilhões de pessoas e, em 2050, superior a 9,5 bilhões exigindo maior oferta de alimentos (ONU, 2012). E o uso racional da água está no âmago dessa questão, que pode se dar por meio da irrigação, que supre as necessidades das plantas nos períodos de déficits hídricos total ou parcial, com o uso de equipamentos e técnicas adequadas de manejo. Contudo, para evitar conflitos na utilização da água, há a necessidade de um esforço crescente de planejamento e de gestão (ANA, 2017).

Em relação a produção de energia, Pinto-Coelho & Haven (2015) vão dizer que essa é uma das mais importantes atividades econômicas da civilização humana, pois precisamos de energia nas mais diversas esferas cotidianas como transporte, saúde, educação, segurança, esporte e lazer, produção de alimentos e de bens de consumo. Apesar de tudo isso, há visível desconhecimento ou falta de preocupação em relação ao custo ambiental na produção da energia que usamos, principalmente de fontes de usinas hidroelétricas, ou seja, aquelas que utilizam água para produção de energia elétrica.

Uma das vertentes dos estudos que focaliza a questão do lazer, explora os parques urbanos e clubes de recreação devido ao fato desses espaços significarem alternativas que potencializam a qualidade de vida dos cidadãos e podem representar fontes de equilíbrio compreendidos como alternativas de práticas de lazer, esses espaços também se mostram como bastante representativos devido à presença da natureza que ajuda na mitigação da poluição do ar, dos efeitos de impermeabilização do solo e regulam o microclima. Pensar no uso dos parques urbanos e clubes de recreação para o lazer se faz necessário um planejamento de uso racionais dos recursos naturais (água, solo, planta atmosfera) para garantia contínua e duradoura da socialização do homem com a natureza (MELO, 2013).

Os projetos dos parques no século XX foram criados com o objetivo de se apresentarem como ambientes funcionais e arrojados, em que se valorizassem as atividades recreativas ao ar livre, introduzindo as práticas esportivas. Nessa perspectiva, os bosques, gramados e corpos d'água, passa-se a utilizar a vegetação tropical, podendo ser nativa ou exótica e são constituídos de forma mais direta entre os diferentes equipamentos de lazer (MACEDO; SAKATA, 2003; MACEDO, 1999, MELO, 2013).

Para se manter os parques urbanos e clubes de recreação com bom aspecto visual e com qualidade para o uso, se faz necessária o seu umedecimento que pode ser através da utilização de irrigação por aspersão que oferece viabilidade técnica e econômica, pois estamos sujeitos a variações significativas na ocorrência de chuvas ao longo do ano. A irrigação reduz problemas relativos a cor e crescimento das plantas, decorrente da demanda hídrica (GIACOIA, 2004).

Da mesma forma que os gramados esportivos demandam irrigação, também se irriga quadra de tênis com piso de saibro, pois o mesmo é constituído de pó de tijolo que se levanta em forma de poeira em consequência da queda da umidade da superfície, da velocidade do vento, aliado ao contato dos pés dos atletas com a superfície no decorrer das partidas. E, ainda, a irrigação é necessária para evitar que apresente trincas ao longo de suas superfícies e crescimento de ervas daninhas. Isso prejudicaria a sua qualidade e durabilidade (NOGUEIRA, 2019).

Em projetos de irrigação, busca-se realizar uniformidade de aplicação de água com o menor custo de implantação e para tal é crucial a escolha correta dos materiais (tubos, conexões, válvulas e emissores) a serem utilizados em cada parte ou unidade do sistema de irrigação. Tem-se por objetivo a redução do custo total do sistema, seja pela diminuição dos custos na implantação do sistema, seja pela economia do custo operacional (água e energia), visando o máximo rendimento do sistema de bombeamento. Dessa forma, a seleção adequada

desses materiais depende das suas respectivas funções dentro do sistema e da avaliação econômica do projeto (TESTEZLAF; MATSURA, 2015).

A escolha do bocal e espaçamento entre os emissores é uma etapa importante no processo de dimensionamento de um sistema de irrigação, pois a uniformidade de aplicação de água é crucial para a irrigação. Para eleger o melhor bocal do emissor temos que verificar a taxa de precipitação e a uniformidade obtida no espaçamento escolhido.

### **OBJETIVO GERAL**

Dessa forma, a escolha de um adequado sistema de irrigação que confira uma maior eficiência torna-se uma ferramenta importante para atender esses objetivos.

### **OBJETIVO ESPECIFICO**

Frente a essas questões aqui problematizadas, essa pesquisa teve como objetivos

- Avaliar a eficiência de distribuição de água por um sistema de irrigação por aspersão em campo de futebol
- Avaliar o desempenho de um sistema de irrigação por aspersão com mangueira e chuveiro, tradicionalmente utilizado em quadra de tênis de piso de saibro,
- Propor um outro sistema de baixo custo que seja operacional e apresente viabilidade técnica para umedecimento de quadra de tênis de piso de saibro,

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, E. S.; TOUTONGE, E. C. P. Saberes das águas intertrocas contínuas entre pessoas, saberes e uma fluida ancestralidade amazônica. **Revista Falas Breves**, n. 8, maio, 2020, Universidade Federal do Pará, Campus Universitário do Marajó - Breves, Breves-PA, 2020.
- ANA - Agência Nacional de Águas. **Atlas irrigação** - Uso da água na agricultura irrigada. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2017.
- FAO-WWC - Food and Agriculture Organization & World Water Council. **Towards a water and food secure future. Critical perspectives for policy-makers**. Roma: FAO-WWC, 2015.
- GIACCOIA, J. **Projetos e equipamentos de irrigação para Paisagismo**. SIGRA- Simpósio sobre gramados- Manejo de Gramas me Produção e em gramados formados. 2. Brasil, 2004
- MACEDO, S. S. **Quadro do Paisagismo no Brasil**. São Paulo: Gráfica Pancrom, 1999.
- MACEDO, S. S.; SAKATA, F. G. **Parques Urbanos no Brasil**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2003.
- MELO, M. I. O. **Parques urbanos, a natureza na cidade: práticas de lazer e turismo cidadão**. Dissertação (mestrado), Universidade de Brasília, 2013.
- NOGUEIRA, L. E. **Tênis: as diferenças entre os principais tipos de quadra**, 2019. Disponível em: <http://jornalismojunior.com.br/tenis-as-diferencas-entre-os-principais-tipos-de-quadra>. Acesso em 27/01/2021.
- ONU, United nations, department of economic and social affairs The United Nations, Population Division, Population Estimates and Projections Section, 2012.
- PINTO-COELHO, R. M.; HAVENS, K. **Crise nas Águas**. Educação ciências e governança, juntas, evitando conflitos gerados por escassez e perda da qualidade das águas. Belo Horizonte: Editora Recóleo, 2015.
- SOUZA, E. M. S. **Uniformidade de aplicação de água em sistema de irrigação por aspersão sob diferentes pressões de serviço** - XXI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VII Encontro de Iniciação à Docência – Universidade do Vale do Paraíba, 2017
- TESTEZLAF, R.; MATSURA, E. E. **Engenharia de irrigação: tubos e acessórios**. Campinas, SP: Unicamp/Faculdade de Engenharia Agrícola, 2015. e-book: (www.feagri.unicamp.br/irrigação) 153p. ISBN 978-85-99678-08-4 e-book 1.

## **CAPÍTULO 1 – UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA POR UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO EM CAMPO DE FUTEBOL**

### **RESUMO**

Os gramados de campos de futebol enquadram-se como culturas de alta sensibilidade ao déficit hídrico e devem ser irrigados para estarem em condições de uso o ano todo. Para isso, sistemas de irrigação eficientes são necessários para economia de água e energia, e isso é possível, desde que sejam avaliados. Sendo assim, avaliou-se a uniformidade de distribuição, por diferentes metodologias, de um sistema de irrigação para gramado de campo de futebol; e verificaram-se as influências de diferentes espaçamentos entre aspersores e fatores climáticos nos resultados. O sistema de irrigação possuía aspersores do modelo Falcon 6504 operando com pressão de 320 kPa. Foram realizados seis testes de campo e as lâminas coletadas foram sobrepostas simulando sistemas de irrigação com espaçamentos entre aspersores de 6x6, 6x9, 9x9, ....., e 30x30 m. Calcularam-se os seguintes coeficientes de uniformidade médios e acumulados: CUC, CUE, CUD, CUH e UDH e CUA. Durante os testes foram medidas algumas variáveis meteorológicas. A velocidade do vento reduziu o alcance do jato aplicado pelo aspersor e conferiu maior efeito na uniformidade de distribuição de água. Os valores de CUC e CUH apresentaram valores próximos e foram superiores aos demais coeficientes. O CUC acumulado apresentou maiores valores em relação ao CUC médio. O aumento do espaçamento entre os aspersores reduziu a uniformidade de distribuição de água. Para atendimento de critérios técnicos e econômicos, recomenda-se o espaçamento de 12x15 m entre os aspersores Falcon 6504 operando com a pressão de serviço de 320 kPa.

**Palavras-chave:** CUC. Eficiência de irrigação. Espaçamento entre aspersores. Irrigação de gramados.

## INTRODUÇÃO

Devido às distribuições irregulares das precipitações pluviárias em diferentes regiões do Brasil, a técnica de irrigação torna-se imprescindível para a manutenção dos elevados índices de produtividade e gerar maior qualidade dos cultivos (TORRES et al., 2019; ARAÚJO et al., 2020). Dentre esses cultivos, os gramados de campos de futebol, golfe, jardins, entre outros; ocupam extensas áreas e possuem alta sensibilidade ao déficit hídrico, demandando manejo adequado da água durante o ano todo. O fornecimento de água no momento e na quantidade correta é a garantia para que a grama seja mantida em condições ótimas para a realização das atividades desportivas e por questões estéticas (GARCÍA-GONZÁLEZ et al., 2015; SIQUEIRA et al., 2018). Dessa forma, um adequado sistema de irrigação torna-se uma ferramenta importante para atender esses objetivos.

A irrigação é a maior consumidora de água doce do planeta, responsável, em média, por 70% de todo uso (FAO; WWC, 2015). No Brasil esse valor é de 68,4% (ANA, 2019). Em 2050, é previsto que a irrigação continuará sendo a maior usuária de água do planeta, respondendo por mais da metade das retiradas de rios, lagos e aquíferos (FAO; WWC, 2015). Somado a isso, preocupa o fato de que a escassez de água doce é cada vez mais percebida como um risco global sistêmico (MEKONNEN; HOEKSTRA, 2016). Dessa forma, é de grande relevância que os usuários de água tenham a preocupação em utilizar sistemas com elevadas eficiências de irrigação, a fim de reduzir seu uso e ao mesmo tempo propiciar melhor desempenho dos cultivos (FILGUEIRAS et al., 2020).

O sistema de irrigação por aspersão convencional é muito utilizado no Brasil (ALVES et al., 2017). No entanto, em condições climáticas adversas, como elevadas temperaturas, baixa umidade relativa do ar e alta velocidade do vento, esse sistema não opera na sua máxima eficiência, desperdiçando água, fertilizantes e energia elétrica (MOLLE et al., 2012; SHEIKHESMAEILI et al., 2016; ARAÚJO et al., 2020). Siqueira et al. (2018) afirmam que apesar dos modernos sistemas de irrigação, os quais utilizam tecnologias capazes de reduzir o consumo de água e energia, não é possível reduzir o desperdício em sua totalidade.

A eficiência de irrigação pode ser definida como a quantidade de água aplicada pela irrigação que é aproveitada pelas plantas, sendo um indicador que reflete de forma abrangente as eficiências dos projetos de irrigação, o manejo da água e a tecnologia empregada na irrigação (WU et al., 2019). Tal eficiência é o produto entre a eficiência da aplicação, distribuição e condução (FILGUEIRAS et al., 2020).

A eficiência de distribuição é obtida por meio da uniformidade de distribuição que consiste em uma medida da capacidade de um sistema de irrigação em aplicar a mesma quantidade de água em toda a área irrigada (KELLER; BLIESNER, 1990; MOHAMED et al., 2019). A uniformidade de distribuição dos diferentes tipos de irrigação será influenciada por diferentes fatores inerentes a cada sistema (ANDRADE et al., 2015). No caso dos sistemas de aspersão, a uniformidade depende não só das características do sistema (vazão, pressão de serviço, espaçamento, diâmetros dos bocais, etc.), mas, também, das condições meteorológicas, destacando umidade relativa do ar (UR), direção e velocidade do Vento ( $m s^{-1}$ ), (KELLER; BLIESNER, 1990; FARIA et al., 2016). Sua estimativa é frequentemente avaliada com base nos coeficientes de uniformidade.

Dentre os coeficientes utilizados para expressar a variabilidade de distribuição da água, o primeiro deles foi proposto por Christiansen (1942) e adota o desvio médio absoluto como medida de dispersão (Coeficiente de Uniformidade de Christiansen - CUC). Wilcox & Swailes (1947) propuseram um coeficiente de uniformidade utilizando o desvio-padrão como medida de dispersão, para o qual se aceitam valores acima de 75% (Coeficiente de Uniformidade Estatístico - CUE), Criddle et al. (1956) introduziram outra medida da uniformidade, considerando a razão entre a média do menor quartil e a lâmina média coletada (Coeficiente de Uniformidade de Distribuição - CUD). Já Hart (1961) propôs um coeficiente de uniformidade usando, também, o desvio-padrão como medida de dispersão (Coeficiente de Uniformidade de Hart - CUH). Quando a lâmina de água aplicada pelos aspersores tem distribuição normal, tem-se que o CUC é igual ao CUH. O autor acima também propôs, ainda, outro coeficiente para representar a uniformidade de distribuição da água conhecido como eficiência padrão da HSPA (Eficiência Padrão da HSPA - UDH) sendo que, quando a lâmina de irrigação aplicada tem distribuição normal, o CUD é igual à UDH. Karmeli & Keller (1975) propuseram uma medida de uniformidade que inclui as razões das vazões máxima e mínima dos emissores com a média (Coeficiente de Uniformidade Absoluto - CUA).

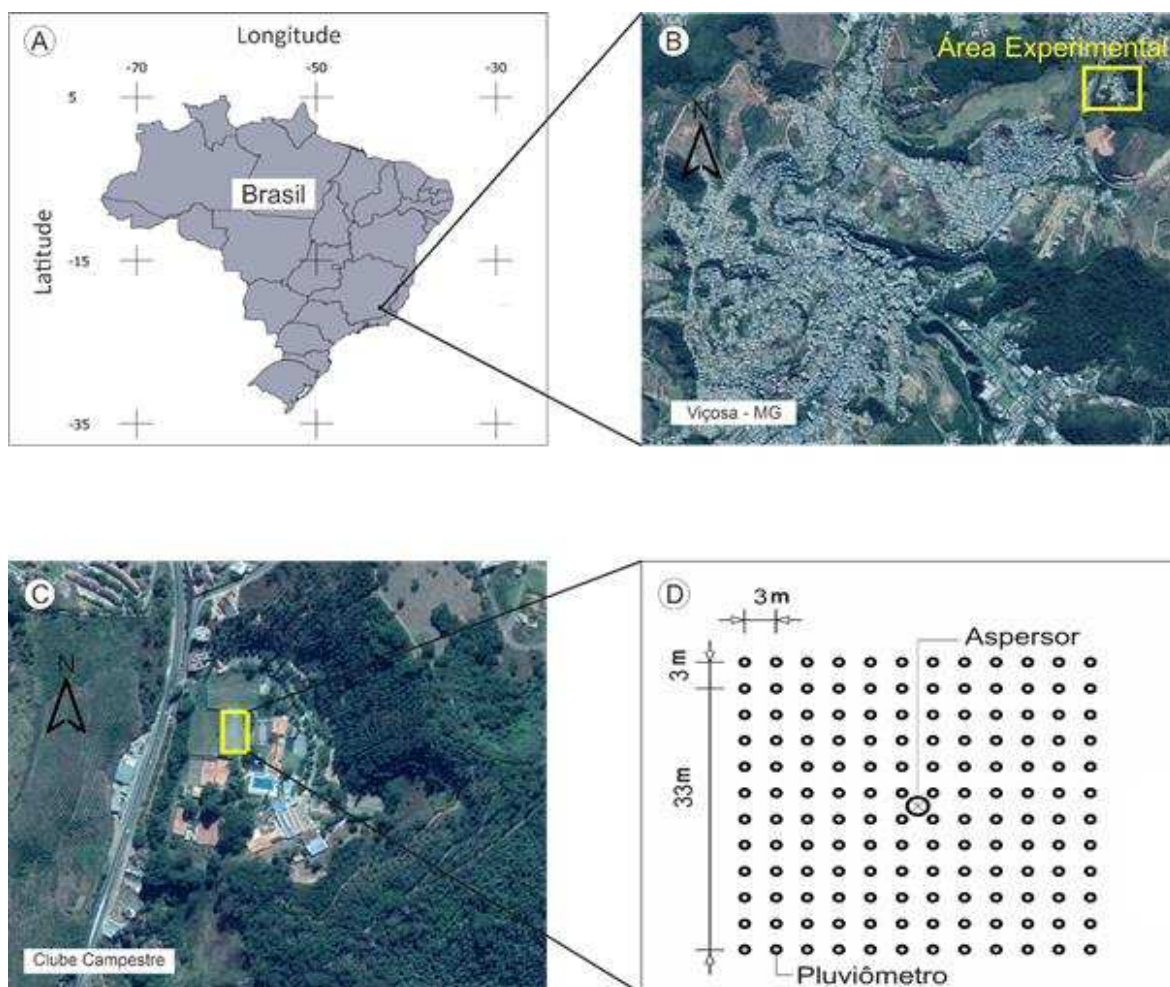
Sistemas de irrigação é uma atividade grande consumidora de água, por essa razão é de extrema importância realizar uma avaliação da uniformidade de aplicação de água do mesmo, pois quando aplicada desuniforme produzem baixa qualidade e produtividade e estas baixas estão associadas as irregularidades na instalação do sistema da irrigação e na falta do manejo adequado (SOUZA 2017). Assim como esta e outras pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de avaliar e definir o projeto do sistema de irrigação a partir da uniformidade de distribuição da água. Desta forma, objetivou-se no presente estudo avaliar a uniformidade de distribuição, por diferentes metodologias, de um sistema de irrigação para gramado de um

campo de futebol; e verificar a influência de diferentes espaçamentos entre aspersores e dos fatores climáticos nos resultados.

## MATERIAL E MÉTODOS

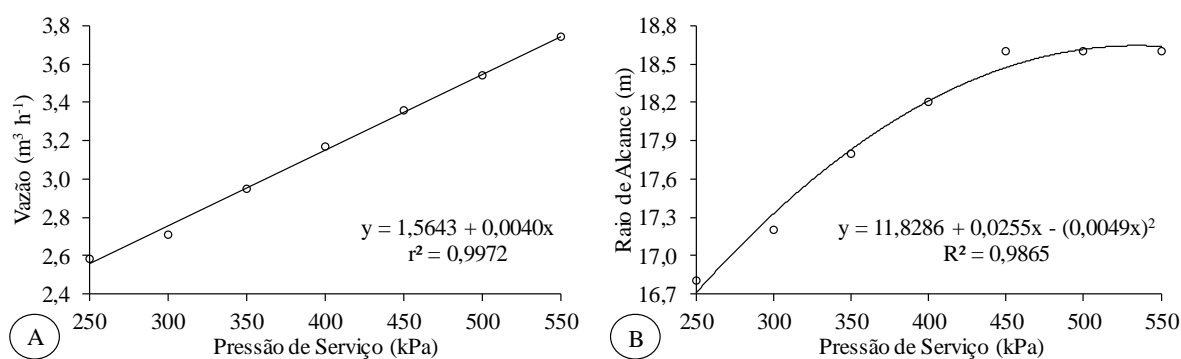
### *Localização e caracterização da área*

O estudo foi conduzido em um campo de futebol do Clube Campestre de Viçosa (Figura 1), situado em Viçosa-MG, Zona da Mata Mineira, cujas coordenadas geográficas são: latitude  $20^{\circ}44'27,42''$  S, longitude  $42^{\circ}51'46,33''$  W e altitude de 703, sistema de referência coordenadas Datum WGS 84. O clima local é Cwa, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, ou seja, um clima subtropical úmido com inverno seco e verão quente (ALVARES et al., 2013).



**Figura 1.** Localizações da área experimental em relação ao Brasil (A), ao Município de Viçosa-MG (B) e ao Clube Campestre de Viçosa (C); e o esboço da montagem dos pluviômetros para a avaliação do sistema de irrigação (D).

O trabalho consistiu na avaliação de um sistema de irrigação que possuía aspersores do tipo rotores, modelo Falcon 6504 (bocal 14), fabricado pela empresa Rain Bird. Esse aspersor é do tipo escamoteável e recomendado para irrigação de campos desportivos de grama, como de futebol, e grandes espaços verdes. O fabricante recomenda que o aspersor opere com a pressão de serviço na faixa de 250 a 550 kPa. Na Figura 2 estão apresentadas as curvas de pressão de serviço versus vazão (Figura 2A) e raio de alcance do jato de água (Figura 2B) aplicado pelos aspersores. É oportuno ressaltar que os modelos ajustados servem apenas para a faixa de estudo, ou seja, entre as pressões de 250 a 550 kPa. No presente estudo os aspersores operaram com a pressão de serviço média de 320 kPa e aplicaram uma vazão média de 2,835 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>.



**Figura 2.** Característica técnica do aspersor Falcon 6504 (bocal 14): (A) Curva vazão versus pressão de serviço e (B) Raio de alcance do jato de água em função da pressão de serviço.

#### *Avaliação dos aspersores em campo*

Para a avaliação da uniformidade de distribuição, foram utilizados coletores da marca Fabrimar<sup>®</sup>. Os coletores foram dispostos ao redor de um único aspersor e foram instalados com espaçamentos equidistantes de 3 m (Figura 1D). Assim cada coletor representou uma área quadrangular de dimensão de 9 m<sup>2</sup>, seguindo a norma brasileira ABNT-NBR: 14244 (ABNT, 1998). Foram instalados 12 colunas e 12 linhas de coletores, resultando no total de 144 coletores em volta do aspersor, amostrando uma área de 1296 m<sup>2</sup>. A distância máxima entre coletor e aspersor foi de 23,3 m para garantir lâminas iguais a zero nos coletores instalados na extremidade. Os coletores ficaram suspensos por uma haste de 70 cm de altura da superfície do solo, seguindo a metodologia proposta por Merriam & Keller (1978).

Foram realizados seis testes de campo com durações de 40 minutos, sob diferentes condições climáticas, durante o período de outubro e novembro de 2019. Durante todo o

período dos testes foram coletados os dados de temperatura média do ar, umidade relativa, velocidade do vento e radiação solar (Tabela 1).

**Tabela 1.** Valores médios das variáveis meteorológicas durante as avaliações do sistema de irrigação

Data	Horário	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Vento (m s <sup>-1</sup> )	Radiação (MJ m <sup>-2</sup> )	es-ea (hPa)
25/10/2019	14h45	31,3	37,1	0,78	2,06	28,7
30/10/2019	18h20	23,4	71,3	0,76	0,05	8,2
14/11/2019	14h20	26,6	59,3	1,77	1,57	14,2
14/11/2019	15h40	26,8	59,3	1,87	1,38	14,3
14/11/2019	20h05	20,6	94,2	0,44	0,00	1,4
14/11/2019	21h25	20,7	95,0	0,42	0,00	1,2

Ao final de cada teste, realizou-se as medições das lâminas de água em cada coletor, com auxílio de uma proveta graduada com capacidade de 15 mm da marca Fabrimar®. A evaporação de água foi quantificada por um pluviômetro de volume inicial conhecido, sendo que, no final dos testes, foi feita a leitura no mesmo pluviômetro, em que a diferença correspondeu à evaporação durante a realização dos testes. Esta diferença foi acrescida à leitura dos pluviômetros que receberam água, conforme recomendações de Bernardo et al. (2019).

#### *Avaliação da uniformidade de distribuição*

De posse dos dados das avaliações dos aspersores em campo, as lâminas coletadas foram sobrepostas simulando sistemas de irrigação com espaçamentos entre aspersores de 6x6, 6x9, 9x9, ....., e 30x30 m conforme metodologia apresentada em Bernardo et al. (2019). Para se ter ideia da distribuição espacial das lâminas de irrigação, nas diferentes configurações de espaçamentos entre os aspersores, realizaram-se interpolações ponderadas (peso = 2) pelo inverso da distância (IDW). Posteriormente calcularam-se as uniformidades de distribuição de água por meio dos coeficientes de uniformidade CUC, CUD, CUA, CUE, CUH e UDH pelas Equações 1, 2, 3, 4, 5 e 6, respectivamente.

$$CUC = 100 \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n \bar{X}} \right] \quad (1)$$

$$CUE = 100 \left[ 1 - \frac{S}{\bar{X}} \right] \quad (2)$$

$$CUD = 100 \frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \quad (3)$$

$$CUH = 100 \left[ 1 - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \left( \frac{S}{\bar{X}} \right) \right] \quad (4)$$

$$UDH = 100 \left[ 1 - 1,27 \frac{S}{\bar{X}} \right] \quad (5)$$

$$CUA = 50 \left[ \frac{X_{25\%}}{\bar{X}} + \frac{\bar{X}}{X_{12,5\%}} \right] \quad (6)$$

em que CUC é o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CHRISTIANSEN, 1942), em %;  $X_i$  a precipitação observada nos coletores, em mm;  $\bar{X}$  a média das precipitações, em mm;  $n$  o número de coletores; CUE é o coeficiente de uniformidade estatístico (WILCOX; SWAILES, 1947), em %; CUD é o coeficiente de uniformidade de distribuição (CRIDDLE et al., 1956), em %;  $X_{25\%}$  a média de 25% do total de coletores, com as menores precipitações em mm; CUH é o coeficiente de uniformidade de Hart (HART, 1961), em %; UDH é a eficiência padrão da HSPA (HART, 1961), em %;  $S$  o desvio-padrão dos dados de precipitação, em mm; CUA é o coeficiente de uniformidade absoluto (KARMELI; KELLER, 1975), em %;  $X_{12,5\%}$  a média de 12,5% do total de coletores, com as maiores precipitações, em mm.

Após determinados os coeficientes de uniformidade de cada uma das seis avaliações, foram determinados também os coeficientes de uniformidade acumulados. Para isso, somaram-se os seis valores de lâmina precipitada, para cada coletor, e com estes valores acumulados procederam-se os cálculos dos coeficientes de uniformidade conforme as Equações 1 a 6.

#### *Influência das variáveis dos elementos meteorológicos na uniformidade de distribuição*

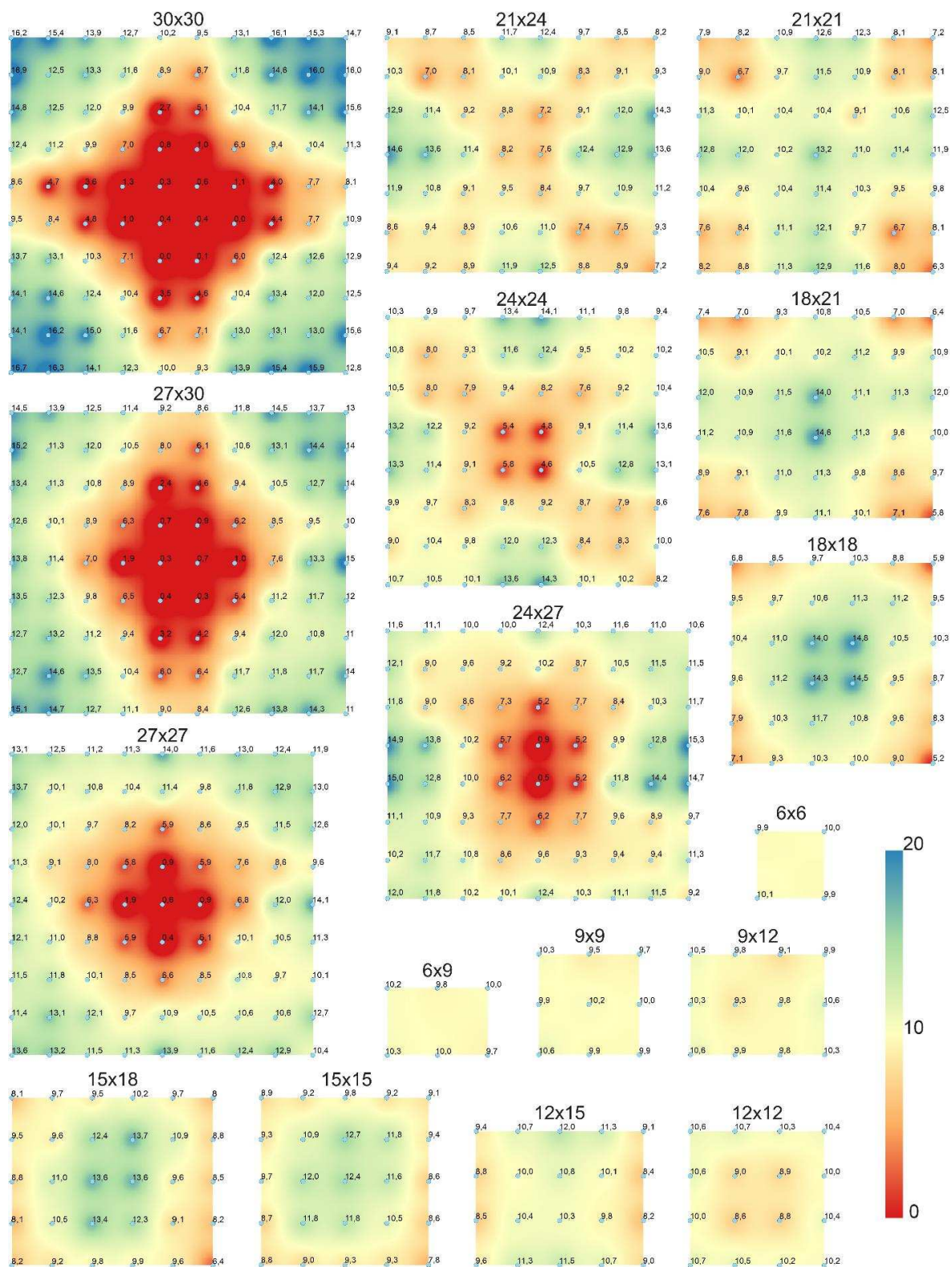
Os dados de temperatura média do ar, umidade relativa, velocidade do vento e radiação solar foram medidos por meio de uma estação meteorológica automática durante as avaliações do sistema de irrigação por aspersão. Com essas informações também foram calculadas as pressões parciais e de saturação do vapor d'água com os valores médios ocorridos em cada avaliação. Posteriormente os valores de déficit de pressão de vapor foram calculados pela diferença entre as pressões supracitadas.

Após a seleção do melhor espaçamento entre aspersores para o sistema de irrigação, os valores de CUC de cada avaliação foram plotados em função das variáveis meteorológicas utilizando gráficos de dispersão. Após isso, modelos de regressão lineares e polinomiais foram ajustados, sendo selecionados aqueles modelos que apresentaram o melhor coeficiente de

determinação ( $r^2$ ), pois quanto maior este valor dentre os modelos testado indica uma melhor qualidade de ajuste e capacidade de explicação dados coletados.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

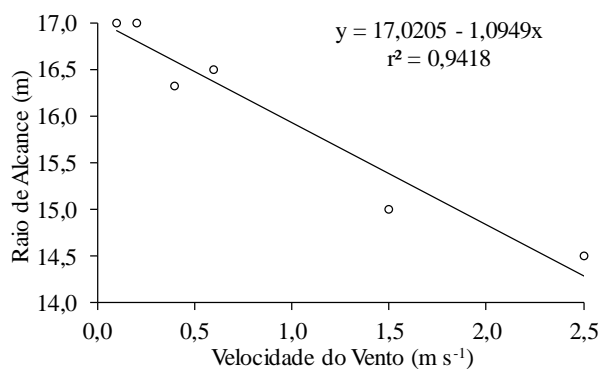
Na Figura 3 está apresentado a uniformidade de distribuição em diferentes simulações de espaçamentos entre os aspersores Falcon 6504 (bocal 14), operando com a pressão de serviço média de 320 kPa. Observa-se que a figura foi elaborada simulando uma aplicação de lâmina de irrigação bruta média de 10 mm. Essa estratégia de utilizar a mesma lâmina média foi motivada para estabelecer uma melhor comparação visual entre os sistemas de irrigação com os diferentes espaçamentos entre aspersores. É oportuno ressaltar que as intensidades de aplicação, nas diferentes configurações de espaçamento, são diferentes. No espaçamento 30x30 m, por exemplo, a intensidade de aplicação do sistema é de 3,15 mm h<sup>-1</sup> e para aplicar uma lâmina bruta média de 10 mm seriam necessários 3 horas e 10 minutos de funcionamento do sistema de irrigação. Já na configuração de 6x6 m, a intensidade de aplicação é de 78,75 mm h<sup>-1</sup> e para aplicar uma lâmina bruta média de 10 mm seriam necessários apenas 8 minutos de irrigação.



**Figura 3.** Uniformidade de distribuição para aplicação da lâmina de irrigação média de 10 mm em diferentes simulações de espaçamentos dos aspersores Falcon 6504 (bocal 14) operando com pressão de serviço de 320 kPa.

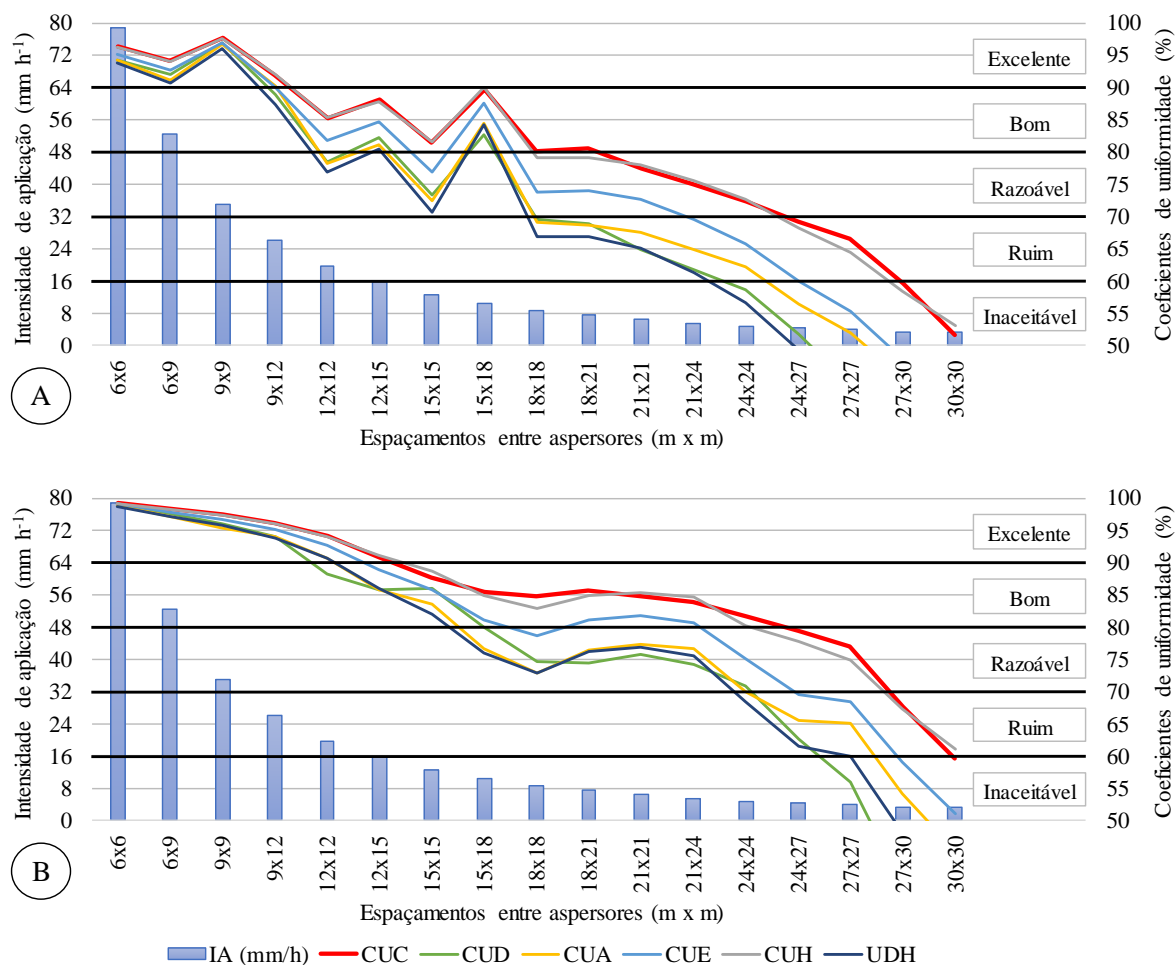
O aumento do espaçamento entre os aspersores proporcionou maior desuniformidade de distribuição das lâminas aplicadas na irrigação (Figura 3). Isso aconteceu devido a menor sobreposição entre as lâminas aplicadas pelos diferentes aspersores. De acordo com a equação de regressão, apresentada na Figura 2B, o maior raio de alcance desse aspersor seria de 17,5 m operando com a pressão de serviço de 320 kPa. Dessa forma, e na teoria, espaçamentos superiores a 24x27 m não possibilitaria aplicação de água no ponto central da área interna referente aos quatro aspersores em funcionamento. É oportuno ressaltar que uma solução para esse problema seria a utilização de espaçamento com configuração triangular, assim, o ponto central estaria mais próximo dos vértices, que seriam os locais onde os aspersores estariam instalados. Por outro lado, a disposição triangular dos aspersores dificulta o projeto do sistema e a operação da irrigação em áreas retangulares.

Durante as avaliações do sistema de irrigação a velocidade do vento proporcionou redução no alcance do jato aplicado pelo aspersor. Na Figura 4 é possível observar que a velocidade do vento proporcionou redução linear no alcance do jato de água aplicado pelo aspersor Falcon 6504 (bocal 14), operando com a pressão de serviço média de 320 kPa. De acordo com a equação de regressão, a velocidade do vento de  $2,5 \text{ m s}^{-1}$  proporcionou um alcance máximo do jato de água de 14,3 m. Então, além do aumento do espaçamento entre aspersores, o aumento da velocidade do vento também proporcionará redução na sobreposição das lâminas de água aplicadas pelos aspersores, e conseqüentemente, a redução da uniformidade de distribuição da irrigação. Valores baixos de velocidade do vento são de extrema importância para garantir adequada eficiência de irrigação, especialmente nos sistemas de aspersão, onde essa variável meteorológica causa grande impacto na aplicação e distribuição de água (KELLER; BLIESNER, 1990; FARIA et al., 2016). Uma forma de reduzir a velocidade do vento seria realizar irrigações noturnas. Segundo Munhoz & Garcia (2008), durante o período noturno o gradiente térmico é menor, assim, a velocidade do vento também será menor.



**Figura 4.** Alcance máximo do jato de água aplicado pelo aspersor Falcon 6504 (bocal 14), operando com a pressão de serviço média de 320 kPa, em função da velocidade do vento.

Apesar de existir diferença numérica, os coeficientes de uniformidade apresentaram comportamentos semelhantes nas diferentes simulações de espaçamentos dos aspersores Falcon 6504 (bocal 14), operando com a pressão de serviço média de 320 kPa (Figura 5A). Observa-se também que os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de Hart (CUH) apresentaram valores próximos. Isso já era esperado, uma vez que Hart (1961), desenvolvedor do CUH, relata que quando a lâmina de água aplicada pelos aspersores tem distribuição normal o CUC é igualado ao CUH.



**Figura 5.** Coeficientes de uniformidade de distribuição de água (%) em função de diferentes espaçamentos do aspersor Falcon 6504 (bocal 14) operando com a pressão de serviço de 320 kPa: (A) Lâminas médias coletadas e (B) Lâminas coletadas acumuladas.

Os valores de CUC e CUH foram superiores aos demais coeficientes avaliados. Em geral, os menores valores foram observados para os coeficientes de uniformidade de distribuição (CUD), absoluto (CUA) e eficiência padrão da HSPA (UDH), nessa ordem. Cunha et al. (2009) trabalhando com esses mesmos coeficientes de uniformidade, para avaliar um sistema de irrigação por aspersão convencional, verificaram que o CUC apresentou os maiores valores seguidos de CUE, CUA, CUH, CUD e UDH. O CUD é mais restritivo e geralmente será menor que o CUC, uma vez que no cálculo do CUD consideram-se apenas 25% dos coletores que receberam a menor quantidade de água. Keller & Bliesner (1990) também afirmaram isso e acrescentaram que o CUD pode estar relacionado ao CUC pela expressão:  $CUD = 100 - 1,59 (100 - CUC)$ . Calculando o CUD com essa equação, observou-se uma subestimativa de apenas 0,48% em relação ao CUD obtido por meio das lâminas coletadas no presente estudo.

Mantovani (2001) classificou o CUC em excelente ( $CUC > 90\%$ ), bom ( $80 < CUC < 90$ ), razoável ( $70 < CUC < 80$ ), ruim ( $60 < CUC < 70$ ) e inaceitável ( $CUC < 60$ ). De acordo com a Figura 5A, percebe-se que a utilização do aspersor Falcon 6504 (bocal 14) com espaçamentos de até 9x12 m proporciona uniformidade de distribuição com classificação “excelente”. Verifica-se também na Figura 5A que a utilização de espaçamentos entre 12x12 m e 18x21 m proporciona “boa” uniformidade de distribuição de água, conforme classificação de Mantovani (2001). Já na configuração do sistema de irrigação utilizando o espaçamento entre aspersores de 30x30 m, a uniformidade de distribuição é classificada como “ruim”.

Na Figura 5B as lâminas coletadas nos mesmos pluviômetros foram acumuladas ao longo de todas as seis avaliações e seus coeficientes de uniformidade também foram calculados com esses valores. Verifica-se que os coeficientes com as lâminas acumuladas (Figura 5B) apresentaram maiores valores em relação aos coeficientes de uniformidade médios (Figura 5A). Esses ganhos médios, considerando todas as simulações, foram de 5,7; 7,2; 6,6; 6,9; 5,6 e 8,7% para CUC, CUD, CUA, CUE, CUH e UDH, respectivamente.

Araújo et al. (2020) acumularam lâminas de dez avaliações de um sistema de irrigação por aspersão e observaram aumento de 7,1% nos valores de CUC. A distribuição da água na área de irrigação varia ao longo do tempo, o que altera de forma expressiva a sua uniformidade quando se considera múltiplas irrigações. Devido ao padrão aleatório de variação da precipitação coletada dado por alguns parâmetros meteorológicos, como exemplo a velocidade do vento, um ponto da área a ser irrigada pode receber em diferentes eventos de irrigação lâminas iguais, menores ou maiores que a lâminas médias. Desta forma, este mesmo ponto que recebeu uma menor lâmina de irrigação e ficou em déficit em relação aos demais pontos, pode receber uma lâmina maior que a média no próximo evento de irrigação, suprimindo parcialmente ou totalmente aquele déficit ocorrido na primeira irrigação. Assim, quando é adotado o CUC médio, é desconsiderado que uma região que recebe diferentes lâminas possa no tempo apresentar um CUC mais elevado e mais representativo da área. Segundo Araújo et al. (2020) esse aumento nos valores de uniformidade será maior quanto menor for o turno de rega, como em regiões áridas e semiáridas que recebem irrigações mais frequentes.

Considerando a metodologia de acumular as lâminas de irrigação para o cálculo da uniformidade de distribuição de água (Figura 5B), verificou-se que os sistemas que apresentaram espaçamentos entre aspersores de até 12x15 m receberam classificações “excelente”, conforme Mantovani (2001). Sabe-se que quanto menor for a uniformidade de distribuição, menor será a eficiência de irrigação, e por consequência, maior será a lâmina bruta de irrigação. Dessa forma, visando menor consumo de água e energia, recomenda-se o

espaçamento entre aspersores Falcon 6504 (bocal 14) de 12x15 m para irrigação de campos de futebol e similares. Espaçamentos menores também poderiam ser recomendados no aspecto técnico de engenharia do sistema, porém, no aspecto econômico, os mesmos gerariam um número maior de aspersores na área, e uma maior intensidade de aplicação, aumentando o custo final do projeto.

O sistema de irrigação com os aspersores Falcon 6504, espaçados em 12x15 m e operando com a pressão de serviço de 320 kPa, proporciona uma intensidade de aplicação de 15,75 mm h<sup>-1</sup>. Dessa forma, esse espaçamento entre aspersores é ideal e poderá ser recomendado apenas para áreas que apresentem taxa de infiltração básica (TIB) máxima igual ou superior a esse valor, conforme recomendações de Bernardo et al. (2019). Em áreas que apresentem TIB inferiores a 15,75 mm h<sup>-1</sup>, o espaçamento entre aspersores deverá ser aumentado, mesmo as custas de uma menor uniformidade, de forma que a intensidade de aplicação apresente valor inferior a TIB. Caso contrário, o sistema de irrigação poderá proporcionar escoamento superficial, desperdiçando água e energia elétrica.

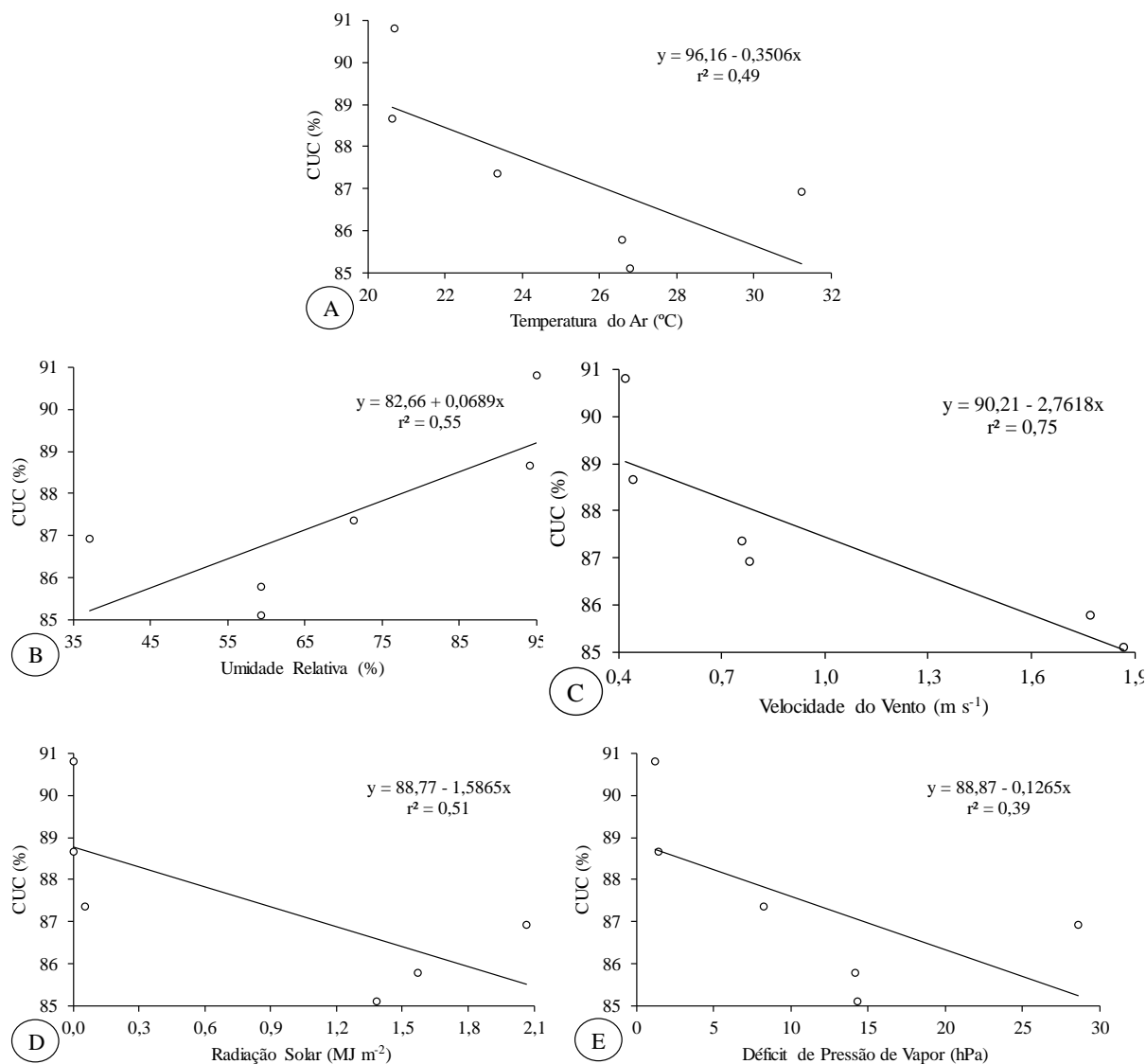
Apesar de recomendar o espaçamento entre aspersores em sistemas irrigados por meio da metodologia da lâmina acumulada, estudos adicionais são necessários para consolidação e viabilização desse procedimento. Nesses estudos futuros, recomenda-se avaliar o número de avaliações do sistema de irrigação que serão necessárias para acumular as lâminas de irrigação e realizar os cálculos de eficiência de distribuição por meio de um coeficiente de uniformidade.

Verifica-se também na Figura 5B que sistemas de irrigação com espaçamentos entre 15x15 a 24x24 m apresentaram “boa” uniformidade de distribuição de água conforme classificação de Mantovani (2001). É oportuno ressaltar que os espaçamentos entre aspersores de 15x15 m a 24x24 m poderiam ser recomendados em sistemas de irrigação para atendimento de culturas agrícolas. Sheikhesmaeili et al. (2016) sugerem que em sistemas de irrigação por aspersão, é aceitável no mínimo um valor de CUC de 80% para irrigação de diversas culturas agrícolas. Entretanto, sabe-se que quanto menor for a uniformidade de distribuição de água, maior serão as diferenças das lâminas de irrigação em relação a lâmina média. Essa menor uniformidade de distribuição resulta em menor eficiência de irrigação, e assim, maior será a lâmina bruta em relação a lâmina líquida. Na prática, quanto menor a eficiência de irrigação, maior será o tempo de irrigação para aplicar a mesma lâmina líquida. Assim, as subáreas que receberão menores lâminas de irrigação serão corrigidas em parte, pelo aumento da aplicação da água devido ao aumento do tempo de irrigação. Entretanto, aquelas subáreas que já receberiam maiores lâminas de irrigação, devido ao aumento do tempo de irrigação, receberão uma lâmina ainda maior. O resultado disso será uma área com o solo com umidade excessiva,

não proporcionando condições para utilização do campo para atividade esportiva por um tempo maior. Somado a isso, pode ocorrer também o problema de hipóxia nas plantas cultivadas nessas subáreas, além de lixiviação de nutrientes e maior gasto de energia e água.

Na agricultura, as culturas agrícolas possuem certa plasticidade e esses efeitos são menos evidentes nos resultados finais, que seriam a redução da produtividade agrícola. Por outro lado, na irrigação de gramados utilizados em campos de futebol e similares, esses problemas são mais pronunciados por causarem maior efeito visual. Esse fato foi constatado por Silva et al. (2010) em trabalho realizado com a grama batatais em Viçosa-MG. Esses autores fizeram uma análise sensorial na grama batatais e verificaram que lâminas equivalentes a 100% da  $ET_c$  receberam classificações “bom” e “muito bom” e nas outras condições receberam classificações “ruim” e “péssima”.

Além do aumento do espaçamento entre os aspersores, as variáveis meteorológicas também afetaram a uniformidade de distribuição da irrigação (Figura 6). O aumento da umidade relativa do ar proporcionou aumento linear no CUC (Figura 6B) do sistema de irrigação com aspersores espaçados em 12x15 m. As demais variáveis proporcionaram efeito linear decrescente. O melhor ajuste, de acordo com o valor de  $r^2$ , foi encontrado para a velocidade do vento (Figura 6C), seguida da umidade relativa do ar (Figura 6B) e radiação solar (Figura 6D). O aumento da velocidade do vento reduz o alcance do jato de água, como verificado na Figura 4, reduzindo a uniformidade de distribuição de água. Robles et al. (2017) estudando o efeito da velocidade do vento na uniformidade de distribuição, encontraram CUC de 89% em condições de ventos baixo (2 a 3  $ms^{-1}$ ) e 67% em condições de ventos alto (8 a 10  $ms^{-1}$ ).



**Figura 6.** Valores de coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) em função dos valores médios de (A) temperatura do ar, (B) umidade relativa, (C) velocidade do vento, (D) radiação solar e (E) déficit de pressão de vapor durante a irrigações por um sistema equipado com aspersores Falcon 6504 (bocal 14) espaçados em 12x15 m.

Por meio dos valores de  $r^2$ , é possível afirmar também que a velocidade do vento é a variável meteorológica que apresentou a maior correlação ( $r$ ) com a uniformidade de distribuição dada pelo CUC. Siqueira et al. (2018) também encontraram resultados semelhantes avaliando um sistema de aspersão para irrigação de campo de futebol em Cascavel-PR. Esses autores verificaram que a velocidade do vento foi a variável que mais conferiu efeito na uniformidade de distribuição. Segundo Rodrigues et al. (2019) tanto a intensidade quanto a direção do vento mudam o destino das partículas. Assim o vento influencia a distribuição de água sobre área afetando sua distribuição. Dessa forma, para

aumentar a uniformidade de distribuição de água, é necessário que as irrigações sejam realizadas em períodos que o vento apresenta menores velocidades, ou seja, no período noturno. Nesse período a irrigação também apresentará maior eficiência de aplicação devido a menores taxas de evaporação e arraste das gotas de água. A menor evaporação da água, durante aplicação noturna, é devido aos menores valores de déficit de pressão de vapor e temperatura do ar. Já o menor arraste das gotas de água é função das menores velocidades do vento.

## **CONCLUSÕES**

A velocidade do vento reduziu o alcance do jato aplicado pelo aspersor Falcon 6504 e foi a variável meteorológica que apresentou maior influência na uniformidade de distribuição de água.

Os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de Hart (CUH) apresentaram valores próximos e foram superiores aos demais. Em geral, os menores valores foram observados para os coeficientes de uniformidade de distribuição (CUD), absoluto (CUA) e eficiência padrão da HSPA (UDH), nessa ordem.

O aumento do espaçamento entre os aspersores Falcon 6504 reduziu a uniformidade de distribuição de água. Para atendimento de critérios técnicos e econômicos, recomenda-se o espaçamento de 12x15 m entre os aspersores Falcon 6504 operando com a pressão de serviço de 320 kPa.

Devido ao padrão aleatório da distribuição de água pelos aspersores, o CUC acumulado apresenta maiores valores em relação ao CUC médio, apresentando-se como alternativa para ser utilizado no cálculo da eficiência de irrigação. Entretanto, estudos adicionais são necessários para consolidação e viabilização desse procedimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas *NBR 14244: Equipamentos de irrigação mecanizada - Pivô central e lateral móvel providos de emissores fixos ou rotativos - Determinação da uniformidade de distribuição de água*. Rio de Janeiro: ABNT, 1998. p. 1-11.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ALVES, É. S.; SAAD, J. C. C.; SCHIMIDT, A. P. R. A.; ARAÚJO, L. M.; GOMES, M. D. A.; SANTOS, J. É. O. Caracterização de sistema de irrigação por aspersão convencional dimensionado com vazão econômica e prática e diferentes configurações hidráulicas. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, Fortaleza, v. 11, n. 8, p. 2172-2182, 2017. <https://doi.org/10.7127/RBAI.V11N800706>
- ANA - Agência Nacional das Águas. **Manual de usos consuntivos da água no Brasil**. 2019. Acesso em: 26 de junho de 2020. Disponível em: [http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/ana\\_manual\\_de\\_usos\\_consuntivos\\_da\\_agua\\_no\\_brasil.pdf/view](http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/ana_manual_de_usos_consuntivos_da_agua_no_brasil.pdf/view)
- ANDRADE, S. M.; ZANINI, J. R.; SOARES, C. A. Hydraulic performance of new and used self-compensating micro-sprinklers. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 36, n. 6, p. 3517-3528, 2015. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n6p3517>
- ARAÚJO, E. D.; SANTOS, D. L.; ALVINO, F. C. G.; FERREIRA, L. B.; CUNHA, F. F. Predictive models of water application and distribution efficiency in conventional sprinkling. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 40, n. 1, p. 24-33, 2020. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v40n1p24-33/2020>
- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. A.; SILVA, D. D. **Manual de Irrigação**. Viçosa: Editora UFV, 2019. 545p.
- CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: University of California Agricultural Experiment Station, 1942. 124p.
- CRIDDLE, W. D.; DAVIS, S.; PAIR, C. H.; SHOCKELEY, D. G. **Methods for evaluating irrigation systems**. Washington: Agriculture Handbook, 1956. 24p.
- 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, v. 17, n. 5, p. 404-417, 2009. <https://doi.org/10.13083/1414-3984.v17n05a08>
- FAO-WWC - Food and Agriculture Organization & World Water Council. **Towards a water and food secure future. Critical perspectives for policy-makers**. Roma: FAO-WWC, 2015.

- FARIA, L. C.; BESKOW, S.; COLOMBO, A.; NÖRENBERG, B. G.; RETTORE NETO, O.; SIMÕES, M. C. Influence of the wind on water application uniformity of a mechanical lateral move irrigation equipment using rotating plate sprinklers. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 1, p. 83-88, 2016. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141558>
- FILGUEIRAS, R.; CUNHA, F. F.; VENANCIO, L. P.; ALTHOFF, D.; SANTOS, R. A.; SANTOS, J. E. O.; ALENCAR, C. A. B. Alternative low-cost precipitation kit for assessing irrigation systems. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 41, n. 5, p. 1783-1798, 2020. <http://doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n5p1783>
- GARCÍA-GONZÁLEZ, J. F.; MORENO, M. A.; MOLINA, J. M.; MADUEÑO, A.; RUIZ-CANALES, A. Use of software to model the water and energy use of an irrigation pipe network on a golf course. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 151, n. 1, p. 37-42, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.11.012>
- HART, W. E. Overhead irrigation pattern parameters. **Agricultural Engineering**, Beijing, v. 42, n. 7, p. 354-355, 1961.
- KARMELI, D.; KELLER, J. **Trickle Irrigation Design**. Glendora: Rain Bird Manufacturing Corporation, 1975. 132p.
- KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and Trickle Irrigation**. New York: AVI Book, 1990. 652p.
- MANTOVANI, E. C. **Avalia: Programa de avaliação da irrigação por aspersão e localizada**. Viçosa: UFV, 2001.
- MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. Four billion people facing severe water scarcity. **Science Advances**, Washington, v. 2, n. 2, e1500323, 2016. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500323>
- MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: A guide for management**. Logan, Utah, 1978.
- MOHAMED, A. Z.; PETERS, R.T.; ZHU, X.; SARWAR, A. Adjusting irrigation uniformity coefficients for unimportant variability on a small scale. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 213, n. 3, p. 1078-1083, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.017>
- MOLLE, B.; TOMAS, S.; HENDAWI, M.; GRANIER, J. Evaporation and wind drift losses during sprinkler irrigation influenced by droplet size distribution. **Irrigation and Drainage**, New York, v. 61, n. 2, p. 240-250, 2012. <https://doi.org/10.1002/ird.648>
- MUNHOZ, F.; GARCIA, A. Caracterização da velocidade e direção predominante dos ventos para a localidade de Ituverava-SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 30-34, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862008000100003>
- ROBLES, O.; PLAYÁN, E.; CAVERO, J.; ZAPATA, N. Assessing low-pressure solid-set sprinkler irrigation in maize. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 191, n. 1, p. 37-49, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.06.001>
- RODRIGUES, L. G.; NERY, A. R.; SOUSA, F. R. 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**, Mossoró, v. 14, n. 2, p. 170-180, 2019. <https://doi.org/10.18378/rvads.v14i2.6016>

SHEIKHESMAEILI, O.; MONTERO, J.; LASERNA, S. Analysis of water application with semi-portable big size sprinkler irrigation systems in semi-arid areas. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 163, n. 1, p. 275-284, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.004>

SILVA, D. F.; OLIVEIRA, R. A.; MELO, F. A. O.; PEREIRA, O. G.; COSTA, L. C. Influência de distintas lâminas de irrigação no desenvolvimento e na qualidade visual da grama batatais. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 43-48, 2010. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v32i1.1576>

SIQUEIRA, M. M. K.; VILAS BOAS, M. A.; SIQUEIRA, J. A. C.; TOKURA, L. K. Techniques for quality control in football field located in agricultural area. **Journal of Agricultural Science**, Richmond Hill, v. 10, n. 9, p. 430-442, 2018. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n9p430>

TORRES, R. R.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; BEM, L. H. B.; MEZZOMO, W.; KIRCHNER, J. H.; ROSSO, R. B.; PIMENTA, B. D.; PEREIRA, A. C.; LOREGIAN, M. V. Water productivity and production function in irrigated millet crop. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 40, n. 6, p. 2837-2850, 2019. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n6Supl2p2837>

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

WU, D.; CUI, Y.; LUO, Y. Irrigation efficiency and water-saving potential considering reuse of return flow. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 221, n. 7, p. 519-527, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.05.021>

## CAPÍTULO 2 – PROPOSIÇÃO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO PARA UMEDECIMENTO DA SUPERFÍCIE DE SAIBRO DE QUADRAS DE TÊNIS

### RESUMO

A chave para se manter uma quadra de saibro com qualidade e de forma duradoura é por meio de aplicações de água, realizada de forma periódica e por meio de sistemas que apresentem elevada uniformidade de distribuição, desenvolvidos especificamente para este propósito. Objetivou-se na presente pesquisa avaliar o desempenho de um sistema de irrigação por aspersão com mangueira e chuveiro, tradicionalmente utilizado em quadra de tênis de piso de saibro, e propor um outro sistema de baixo custo que seja operacional e apresente viabilidade técnica, que seria a barra irrigadora. Para cada sistema de irrigação foram realizadas três avaliações. No início de cada teste, as pressões e vazões dos emissores foram medidas e utilizou-se o método do perfil de distribuição de água na determinação da uniformidade de distribuição dos sistemas. A eficiência de distribuição foi obtida por meio dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC), estatístico (CUE), de distribuição (CUD) de Hart (CUH), pela eficiência padrão da HSPA (UDH), absoluto (CUA), e pelo coeficiente de variação (CV). Posteriormente, as eficiências de aplicação e irrigação também foram calculadas. Independente do sistema avaliado, os valores de CUC e CUH apresentaram valores próximos e foram superiores aos demais coeficientes. As lâminas coletadas, aplicadas pelo sistema de irrigação por mangueira/chuveiro, apresentaram alta variabilidade espacial e, conseqüentemente, baixos valores de uniformidade, sendo classificados como ruins ou inaceitáveis. A barra irrigadora proporcionou maiores valores de coeficientes de uniformidade, sendo classificados como bons. O sistema mangueira/chuveiro apresenta baixo desempenho na irrigação de quadras de tênis com superfície de saibro. A barra irrigadora, por apresentar benefícios técnicos, operacionais e econômicos, apresenta potencial para ser utilizada na irrigação de quadras de saibro.

**Palavras-Chave:** Barra irrigadora. Coeficiente de uniformidade. Economia de água. Eficiência de aplicação. Eficiência de distribuição.

## INTRODUÇÃO

O tênis é jogado em uma superfície plana retangular, geralmente de grama, saibro ou em piso duro. As dimensões da área útil da quadra são de 23,77 e 10,97 m de comprimento e largura, respectivamente (ISHIZAKI; CASTRO, 2006). Também existe um espaço adicional em torno da quadra que é requerido para que os jogadores possam alcançar a bola quando esta despassa os limites da quadra (URSO et al., 2015). Assim, o comprimento total da quadra é de 36 m e a largura total de 18 m, resultando na área total de aproximadamente 650 m<sup>2</sup>.

O saibro apresenta o maior atrito entre todos os pisos, o que resulta em um estilo de jogo mais lento, pois a bola, ao quicar, perde velocidade e sobe mais alto. Além disso, por conta das partículas do pó de tijolo, o saibro permite um grande deslizamento dos pés dos jogadores, o que pode ser benéfico em algumas situações, embora também possa causar escorregões em outras. Nesta quadra, os pontos são mais longos e beneficiam-se jogadores que preferem jogar no fundo da quadra. Estas características fazem com que o piso de saibro seja o mais utilizado em quadras de tênis em todo o Brasil. Alguns famosos torneios disputados nesse piso são Roland Garros e Monte Carlo, além dos que ocorrem no Brasil, como Brasil Open e Rio Open (NOGUEIRA, 2019).

O pó de tijolo das quadras de saibro resseca rapidamente devido aos fatores climáticos como radiação solar, déficit de pressão de vapor, temperatura do ar, velocidade do vento etc. Assim, é necessário que a quadra receba hidratação constante e uniforme, caso contrário, rachaduras serão geradas em sua superfície, possibilitando o crescimento de vegetação, prejudicando a qualidade e a vida útil da mesma. A irrigação também tem a função de garantir a maciez do piso, a firmeza do solo e evitar que o vento levante partículas de poeira e traga desconforto aos jogadores e sujeiras nos locais vizinhos. Quando a quadra de saibro não está sendo utilizada, o ideal é varrer e irrigar duas vezes ao dia. Em dias de uso, a necessidade de irrigação é maior, mas a quantidade de água deverá ser o suficiente para que a quadra sempre esteja em condições de uso para a partida seguinte. Para isso, o funcionário deverá respeitar várias intempéries, ou seja, umidade inicial, os fatores climáticos do dia, momentos de sombra, etc (MIRANDA, 2019; NOGUEIRA, 2019).

Tradicionalmente, a irrigação de quadras de saibro no Brasil é feita por meio de sistemas por aspersão utilizando mangueiras com um dispositivo de chuveiro em sua extremidade (MIRANDA, 2019). Como vantagem deste sistema, podemos citar a operacionalidade de uso e os baixos custos para sua aquisição. Entretanto, este sistema apresenta muitas desvantagens pela aplicação ser manual e não obedecer a nenhum padrão de

operação. O jato de água e seu direcionamento é controlado manualmente pelo operador. Assim, a sobreposição dos jatos e o tempo de irrigação em cada subárea da quadra de tênis fica em função de critérios subjetivos, o que pode causar desuniformidade de distribuição da água. Além disso, o sistema precisa operar com pressões de serviço elevadas para que o jato seja fragmentado. Isso causa um maior gasto de energia e reduz o diâmetro de gota. A redução do diâmetro de gota, associado às grandes distâncias que a água percorre, desde o emissor até o alvo a ser irrigado, potencializa os efeitos dos fatores climáticos na aplicação da água (KELLER; BLIESNER, 1990; ARAÚJO et al., 2020; ANDRADE et al., 2021). Então, dependendo das condições do tempo, maiores perdas de água podem ocorrer, reduzindo a eficiência de irrigação.

Considerando que os clubes e condomínios possuem mais de uma quadra de tênis, que são realizados vários eventos de irrigação ao dia e que as quadras apresentam grandes áreas, espera-se que o volume de água gasto nas irrigações seja grande. Assim, qualquer fração de irrigação perdida proporcionará, também, em grandes desperdícios de água e energia elétrica. Se pensarmos que a grande maioria das quadras de tênis estão instaladas na zona urbana, onde o preço da água e da energia elétrica são maiores, o prejuízo econômico pode ser ainda mais significativo.

Além dos problemas econômicos, temos que considerar o problema ambiental, pois a água de boa qualidade é um recurso finito e precisa ser utilizada de forma racional. Dessa forma, é de grande relevância que os usuários de água tenham a preocupação em utilizar sistemas com elevadas eficiências de irrigação, a fim de reduzir seu uso (FILGUEIRAS et al., 2020; ANDRADE et al., 2021). Assim, sistemas de irrigação devem ser desenvolvidos ou melhorados constantemente para atendimento dessas demandas. Neste processo, as universidades e as empresas de pesquisas são fundamentais, sendo evidente que estudos que propõem o desenvolvimento de sistemas mais eficientes de irrigação são necessários e relevantes.

Para escolher ou substituir um sistema de irrigação por outro mais eficiente, avaliações devem ser realizadas (ARAÚJO et al., 2020). Ressalta-se que os desempenhos dos sistemas de irrigação devem ser quantificados tanto na fase inicial de planejamento e gerenciamento, quanto no campo, como um critério operacional. Assim, objetivou-se no presente trabalho avaliar o desempenho de um sistema de irrigação por aspersão com mangueira e chuveiro, tradicionalmente utilizado em quadra de tênis de piso de saibro, e propor um outro sistema de baixo custo que seja operacional e apresente viabilidade técnica.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliados dois sistemas de irrigação para quadra de tênis que possui piso de saibro. O primeiro sistema de irrigação avaliado foi o por mangueira com um dispositivo de chuveiro em sua extremidade, aqui chamado de sistema mangueira/chuveiro. Esta é a forma tradicional de irrigar quadras de tênis com piso de saibro em todo o Brasil. O segundo sistema de irrigação, foi uma adaptação de um sistema que constituiu de uma barra com sete emissores instalados, aqui chamado de barra irrigadora. Estas avaliações foram realizadas em Viçosa-MG, no período compreendido entre setembro e dezembro de 2020.

### *Experimento 1: Sistema por mangueira/chuveiro*

O estudo foi conduzido na quadra de tênis de número 3 do Clube Campestre de Viçosa (Figuras 7A e 7B), situado em Viçosa-MG, Zona da Mata Mineira, cujas coordenadas geográficas são: latitude 20°44'30,84" S, longitude 42°51'4,96" W e altitude de 706, sistema de referência coordenadas Datum WGS. O clima local é Cwa, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, ou seja, um clima subtropical úmido com inverno seco e verão quente (ALVARES et al., 2013). A quadra de tênis possui 18 m de largura e 36,1 m de comprimento, apresentado 650 m<sup>2</sup> de área total.



Figura 7 - Localizações da área experimental em relação ao Brasil (A), ao Município de Viçosa-MG (B), detalhe da mangueira com o emissor tipo chuveiro (C), e distribuição dos coletores na quadra de tênis (D).

O sistema de irrigação utilizado para irrigar a quadra de tênis do Clube Campestre de Viçosa, e na maioria das quadras do Brasil, é constituído de mangueiras de plástico PVC, semelhante às usadas para irrigação de jardim, com bocal associado do tipo “chuveiro”. A mangueira utilizada no experimento foi de diâmetro de  $\frac{3}{4}$ " (Figura 7C). O jato de água e seu direcionamento é controlado manualmente pelo operador. Como vantagem deste sistema podemos citar a facilidade de uso e os baixos custos para sua aquisição.

Foi empregado o método do perfil de distribuição de água na determinação da uniformidade de distribuição do sistema sobre a superfície. Para isso, foi utilizado o kit precipitação do fabricante Fabrimar<sup>®</sup>, que consiste de hastes de alumínio e pluviômetros e provetas de plástico. Os pluviômetros foram dispostos em toda a quadra de tênis e foram instalados com espaçamentos equidistantes de 3 m (Figura 7D). Assim, cada coletor representou uma área quadrangular de dimensão de  $9 \text{ m}^2$ , seguindo a norma brasileira ABNT-NBR: 14244 (Associação Brasileira de Normas Técnicas [ABNT], 1998). Foram instalados 6

colunas e 12 linhas de coletores, resultando no total de 72 coletores para representar a quadra de tênis, amostrando uma área de 648 m<sup>2</sup>. Os coletores ficaram suspensos por uma haste de 70 cm de altura da superfície do solo, seguindo a metodologia proposta por Merriam & Keller (1978).

Foram realizados três testes de campo sob diferentes condições climáticas, durante o período de setembro e novembro de 2020. No início e final de cada teste, por meio de três repetições, foram mensurados as pressões e vazões do chuveiro. As pressões foram obtidas por meio de um manômetro de glicerina e a vazão foi obtida pelo método direto. Ao final de cada teste, realizou-se as medições das lâminas de água em cada coletor, com auxílio de uma proveta graduada. Os volumes coletados foram convertidos em lâminas d'água (mm), dividindo o volume coletado (L) pela área do coletor (m<sup>2</sup>).

#### *Experimento 2: Sistema por barra irrigadora*

O estudo foi conduzido no laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), situado em Viçosa-MG, Zona da Mata Mineira, cujas coordenadas geográficas são: latitude 20°46'19,56" S, longitude 42°52'27,48" W e altitude de 667, sistema de referência coordenadas Datum WGS.

Neste ensaio, um dispositivo de irrigação foi montado utilizando uma barra de PVC de 12 mm de diâmetro e 3 m de comprimento (Figura 8A). Nesta barra, foram instalados sete emissores (Figura 8B) do modelo SempreVerde do fabricante Fabrimar<sup>®</sup>, espaçados em 0,5 m. Os dois emissores instalados na extremidade da barra trabalharam com ângulo de abertura de 90° (SempreVerde 90) e os cinco emissores na parte interna da barra trabalharam com ângulo de abertura de 180° (SempreVerde 180). As curvas de pressão de serviço versus vazão dos emissores estão apresentadas na Figura 3. Além da barra de PVC e dos emissores, o dispositivo também possui uma base/suporte (Figura 8C) constituída de materiais que estão apresentados na Tabela 2, que todos somados, resultam no custo final de (R\$314,10 /U\$58,06) em 27/01/2021). Este dispositivo foi chamado de barra irrigadora.



Figura 8 - Barra irrigadora (A), emissores SempreVerde da Fabrimar<sup>®</sup> (B), base/suporte com as peças constituintes (C) e visão geral da distribuição dos pluviômetros para a avaliação do sistema (D).

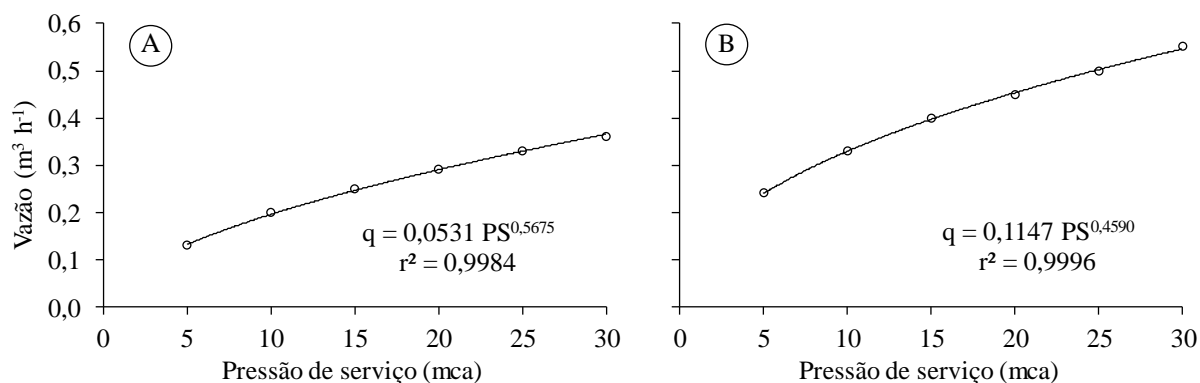


Figura 9 - Curva vazão versus pressão de serviço para os emissores SempreVerde da Fabrimar<sup>®</sup> com ângulos de abertura de (A) 90° e (B) 180°.

Tabela 2 - Materiais constituintes da barra irrigadora com suas respectivas quantidades e custo médio para a sua aquisição

Descrição	Quantidade	Preço (R\$)/(U\$)	
		Unitário	Total
Emissor SempreVerde 90°	2	19,50/3,60	39,00/7,20
Emissor SempreVerde 180°	5	19,50/3,60	97,50/18,00
Tubo PVC roscável ½"	1	64,40/11,92	64,40/11,92
Tê metal cruzeta ¾"	1	19,50/3,60	19,50/3,60
Nipel PVC ½"	7	1,95/0,36	13,65/2,52
Joelho 90 roscável ½"	2	3,90/0,72	7,80/1,44
Tê PVC roscável ½"	5	3,90/0,72	19,50/3,60
Adaptador interno ¾"	1	2,95/0,55	2,95/0,55
Registro esfera rosca ¾"	1	21,50/3,97	21,50/3,97
União PVC roscável ¾"	2	9,75/1,80	19,50/3,60
Cap roscável ¾"	1	3,90/0,72	3,90/0,72
Joelho 90 roscável ¾"	1	4,90/0,91	4,90/0,91
<b>Total</b>			<b>314,10/58,06</b>

\* Valores obtidos no comércio local.

A avaliação do sistema por barra irrigadora foi semelhante aos procedimentos já apresentados para o sistema mangueira/chuveiro. Na avaliação da barra irrigadora, foram instaladas 5 linhas e 21 colunas de pluviômetros (Figura 8D). Os pluviômetros foram dispostos com espaçamentos de 0,2 m no sentido transversal à barra (na mesma linha) e 0,8 m no sentido longitudinal (na mesma coluna). A área avaliada apresentou dimensões de 4,2 m (linha) por 4,0 m (coluna), resultado na área de 16,8 m<sup>2</sup>. Foram realizados três testes no mês de dezembro de 2020.

### *Avaliação do desempenho dos sistemas de irrigação*

De posse dos dados das avaliações, realizaram-se interpolações ponderadas (peso = 2) pelo inverso da distância (IDW) para se ter ideia da distribuição espacial das lâminas de irrigação para os diferentes sistemas testados. Nas simulações, as informações de lâmina coletada foram extrapoladas para o espaçamento de 1 m.

Posteriormente, calcularam-se as uniformidades de distribuição de água por meio do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CHRISTIANSEN, 1942), coeficiente de uniformidade estatístico (WILCOX; SWAILES, 1947), coeficiente de uniformidade de distribuição (CRIDDLE et al., 1956), coeficiente de uniformidade de Hart (HART, 1961), eficiência padrão da HSPA (HART, 1961), coeficiente de uniformidade absoluto (KARMELI; KELLER, 1975) e pelo coeficiente de variação pelas Equações 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, respectivamente.

$$CUC = 100 \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n \bar{X}} \right] \quad (1)$$

$$CUE = 100 \left[ 1 - \frac{S}{\bar{X}} \right] \quad (2)$$

$$CUD = 100 \left[ \frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \right] \quad (3)$$

$$CUH = 100 \left[ 1 - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \left( \frac{S}{\bar{X}} \right) \right] \quad (4)$$

$$UDH = 100 \left[ 1 - 1,27 \frac{S}{\bar{X}} \right] \quad (5)$$

$$CUA = 50 \left[ \frac{X_{25\%}}{\bar{X}} + \frac{\bar{X}}{X_{12,5\%}} \right] \quad (6)$$

$$CV = \frac{100}{\bar{X}} \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}} \quad (7)$$

em que CUC é o coeficiente de uniformidade de Christiansen, em %;  $X_i$  a precipitação observada nos coletores, em mm;  $\bar{X}$  a média das precipitações, em mm; n o número de coletores; CUE é o coeficiente de uniformidade estatístico, em %; S o desvio-padrão dos dados de precipitação, em mm; CUD é o coeficiente de uniformidade de distribuição, em %;  $X_{25\%}$  a média de 25% do total de coletores, com as menores precipitações, em mm; CUH é o coeficiente de uniformidade de Hart, em %; UDH é a eficiência padrão da HSPA, em %; CUA é o coeficiente de uniformidade absoluto, em %;  $X_{12,5\%}$  a média de 12,5% do total de coletores, com as maiores precipitações, em mm e CV é o coeficiente de variação, em %.

Para a interpretação dos coeficientes de uniformidade, seguiu-se uma proposta adaptada de ABNT (1998) e Mantovani (2001), apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação dos valores de coeficientes de uniformidade para sistemas de aspersão

Classificação	CUC (%)	CUD (%)	CUE (%)	CUH (%)	UHD (%)	CV (%)
Excelente	> 90	> 84	> 90	> 90	> 90	< 5
Bom	80 - 90	68 - 84	80 - 90	80 - 90	80 - 90	5 - 10
Razoável	70 - 80	52 - 68	70 - 80	70 - 80	70 - 80	10 - 20
Ruim	60 - 70	36 - 52	60 - 70	60 - 70	60 - 70	20 - 30
Inaceitável	< 60	< 36	< 60	< 60	< 60	> 30

Adaptado de ABNT (1998) e Mantovani (2001).

Para cálculo da eficiência de aplicação ( $E_A$ ), calculou-se primeiramente as perdas por evaporação e arraste (PEA) por meio da Equação 8. Por meio das PEA, calcularam-se a  $E_A$  e eficiência de irrigação ( $E_i$ ) por meio das Equações 9 e 10, respectivamente.

$$PEA = 100 \frac{La - Lc}{La} \quad (8)$$

$$E_A = 100 - PEA \quad (9)$$

$$E_i = CUC E_A \quad (10)$$

em que PEA são as perdas por evaporação e arraste, em %; La a lâmina aplicada, em mm, Lc a lâmina coletada, em mm;  $E_A$  a eficiência de aplicação, em %;  $E_i$  a eficiência de irrigação, em %; CUC o coeficiente de uniformidade de Christiansen, em decimal.

A  $E_A$  foi classificada conforme metodologia de Bralts (1986), sendo ideal quando  $E_A$  for superior a 95%, aceitável quando a  $E_A$  apresentar valores entre 80 e 95% e inaceitável quando a  $E_A$  for inferior a 80%.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados referentes às avaliações dos diferentes sistemas de irrigação para quadra de tênis estão apresentados na Tabela 4. Os valores de pressão e vazão mantiveram-se constantes durante o período de avaliação e entre as avaliações, conforme observam-se os seus respectivos valores de desvio-padrão. Isto sugere também uma baixa instabilidade da rede elétrica e boa qualidade da água utilizada nas irrigações, pois a mesma era tratada pela companhia de abastecimento do município e, assim, não apresentava sólidos em suspensão que pudessem obstruir algum componente do sistema.

Tabela 4 - Dados obtidos durante as avaliações dos sistemas de irrigação para quadras de tênis

Parâmetros	Equipamento de irrigação	
	Mangueira/Chuveiro	Barra Irrigadora
Vazão ( $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ )*	$2,870 \pm 0,010$	$1,492 \pm 0,016$
Pressão (mca)	$25,100 \pm 0,100$	$5,267 \pm 0,110$
Intensidade de aplicação ( $\text{mm h}^{-1}$ )**	$4,415 \pm 0,015$	$2,295 \pm 0,024$
Tempo de aplicação (min)**	$11,787 \pm 0,961$	$20,298 \pm 0,632$
Lâmina média aplicada (mm)	$0,867 \pm 0,073$	$0,776 \pm 0,024$
Lâmina média coletada (mm)	$0,677 \pm 0,061$	$0,771 \pm 0,016$
Velocidade média do vento ( $\text{m s}^{-1}$ )	$0,867 \pm 0,351$	$0,000 \pm 0,000$

\* Para a barra irrigadora foi considerada a soma das vazões dos sete emissores instalados na barra

\*\* Considerando toda a quadra de tênis ( $650 \text{ m}^2$ )

O sistema de irrigação por mangueira operou com maior pressão de serviço (Tabela 4) devido o dispositivo do chuveiro necessitar que a água fosse aspergida, ou seja, o jato de água era fracionado no bocal e pelo contato com a atmosfera, simulando uma chuva. Por outro lado, a menor pressão de serviço exigida no sistema por barra irrigadora apresenta a vantagem de demandar menor consumo de energia elétrica. A barra irrigadora, mesmo com sete emissores, apresentou menor vazão e intensidade de aplicação de água em relação ao sistema de irrigação por mangueira com o dispositivo chuveiro conectado no final da linha. Assim, utilizando a mesma quantidade de equipamento e mão de obra, o sistema mangueira/chuveiro apresentará um menor tempo para molhar a quadra de tênis para aplicação da mesma lâmina bruta de irrigação.

Verifica-se também na Tabela 4 que a diferença entre as lâminas de irrigação aplicada e coletada foram maiores no sistema de irrigação por mangueira/chuveiro (22,0%) quando comparado ao sistema por barra irrigadora (0,6%). Assim, podemos inferir que as perdas de água no sistema mangueira/chuveiro foram maiores que na barra irrigadora. Isto pode ser atribuído aos menores valores de pressão de serviço e velocidade do vento ocorridos na avaliação do sistema de irrigação por barra irrigadora.

Nos sistemas de irrigação em geral, parte da lâmina aplicada pelos emissores não atinge a superfície do solo e/ou alvo. Esta parcela de água representa as perdas por evaporação e arraste (PEA), que, por sua vez, são expressas como a porcentagem do volume bruto aplicado perdido em um dado evento de irrigação (ANDRÉS; CUCHÍ, 2014). As perdas por evaporação são maiores em locais que apresentam menores valores de umidade relativa do ar e maiores valores de velocidade do vento e temperatura do ar. As perdas por evaporação também são maiores em sistemas que a água é aplicada com menor diâmetro de gota, que por sua vez, é função das características do emissor e da pressão de serviço. Já as perdas por arraste

dependem, principalmente, da velocidade do vento, do diâmetro de gota e da distância percorrida pela água até alcançar o alvo a ser irrigado (MAROUFPOOR et al., 2018; ARAÚJO et al., 2020; ANDRADE et al., 2021). Assim, percebe-se no sistema de irrigação por mangueira/chuveiro, que além dos maiores valores de pressão de serviço e velocidade do vento, outra característica que contribuiu para as maiores perdas foi o fato da aplicação da água ser feita à distância. No sistema mangueira/chuveiro a distância entre alvo e emissor pode chegar até 6 m e no sistema utilizando barra irrigadora, o alvo fica a aproximadamente 30 cm de distância do emissor.

As distribuições espaciais das lâminas coletadas, após aplicações de água pelos sistemas de mangueira equipada com chuveiro e barra irrigadora, estão apresentadas na Figura 10. Observa-se que a figura foi elaborada simulando uma aplicação de lâmina de irrigação média de 1 mm. Esta estratégia de utilizar a mesma lâmina média foi motivada para estabelecer uma melhor comparação visual entre os sistemas de irrigação. Verificou-se uma maior desuniformidade de distribuição das lâminas de irrigação no sistema por mangueira/chuveiro. Isso também aconteceu devido aos fatores já mencionados, como maior pressão de operação, maior distância entre o emissor e alvo e maior velocidade do vento. Somado a isso, temos que considerar também que a aplicação da água pelo método mangueira/chuveiro é manual e pontual e, assim, não obedecendo a nenhum padrão de aplicação. Dessa forma, a sobreposição dos jatos e o tempo de irrigação em cada subárea da quadra de tênis fica em função de critérios subjetivos do operador.

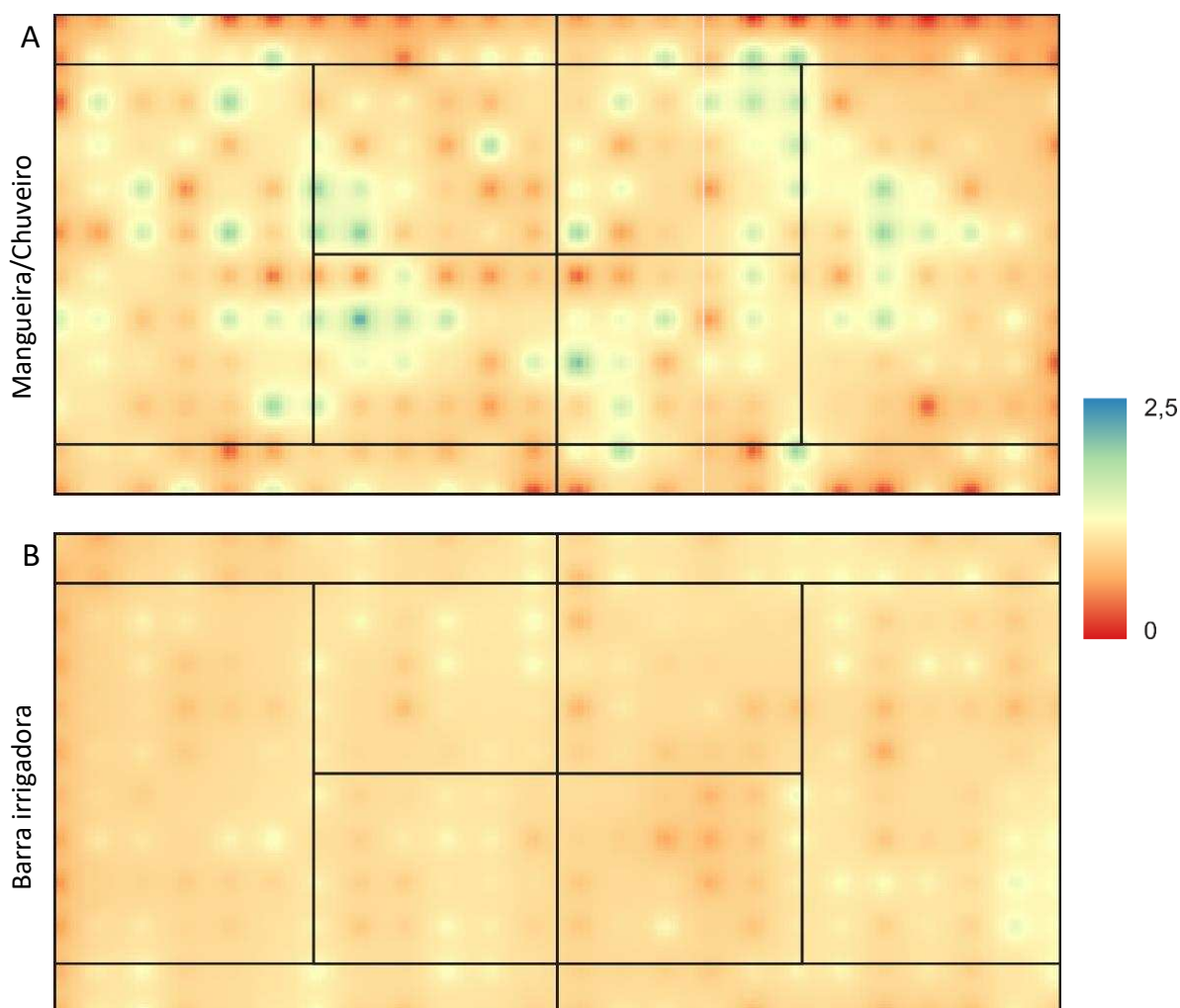


Figura 10 - Distribuição espacial das lâminas de água coletadas por sistemas de irrigação por (A) mangueira conectada ao emissor do tipo chuveiro e por (B) barra irrigadora, ambos para irrigação de quadras de tênis com superfície de saibro.

É oportuno ressaltar que as quadras de tênis, com superfície de saibro, apresentam baixa capacidade de infiltração. Isso é devido a mesma ser construída em camadas compactadas de aproximadamente 5 cm. Dessa forma, até mesmo as irrigações com baixa intensidade de aplicação de água são capazes de provocar poças de alagamento. Assim, logo no início da irrigação, inicia-se o processo de escoamento que é percebido pelo espelhamento característico da superfície da quadra. O operador, para minimizar a desuniformidade, mira o jato de água para subáreas que apresentam a tonalidade marrom fosca e, dessa forma, toda a quadra de tênis é irrigada. Diante do exposto, já se imagina que a uniformidade de distribuição de água não será adequada, e isso pode ser confirmado na Figura 10A.

Na Tabela 5 estão apresentados os coeficientes de uniformidade de distribuição de água, por diferentes metodologias, calculados para as avaliações realizadas nos diferentes

sistemas de irrigação. Como já verificado na Figura 10A, o sistema de irrigação por mangueira/chuveiro apresentou valores baixos de coeficientes de uniformidade sendo classificados como ruim ou inaceitável. Dessa forma, os resultados indicam que o sistema por mangueira/chuveiro não deve ser recomendado para irrigação de quadras de tênis com superfície de saibro, levando em consideração a uniformidade de distribuição e economia de água e energia elétrica. Contudo, outros estudos devem ser conduzidos, uma vez que os resultados da presente pesquisa são apenas para a aplicação de água na superfície da quadra de tênis, e acredita-se que após a água ser aplicada a esta superfície, a mesma seja redistribuída nas primeiras camadas de saibro, como sugere Rocha et al. (1999) e Araújo et al. (2020).

Tabela 5 - Valores de coeficientes de uniformidade e eficiências, com seus respectivos desvios e classificações, para diferentes sistemas de irrigação para quadras de tênis

Parâmetros	Equipamento de irrigação	
	Mangueira/Chuveiro	Barra Irrigadora
Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC em %)	68,43 ± 4,25 Ruim	86,49 ± 1,48 Bom
Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD em %)	50,43 ± 7,69 Ruim	78,87 ± 1,27 Bom
Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE em %)	57,82 ± 5,79 Inaceitável	84,28 ± 1,19 Bom
Coeficiente de Uniformidade de Hart (CUH em %)	66,35 ± 4,62 Ruim	87,46 ± 0,95 Bom
Eficiência padrão da HSPA (UHD em %)	47,28 ± 7,24 Inaceitável	80,35 ± 1,48 Bom
Coeficiente de Variação (CV em %)	42,17 ± 5,79 Inaceitável	15,72 ± 1,19 Razoável
Eficiência de aplicação (E <sub>A</sub> em %)	78,44 ± 10,76 Inaceitável	99,40 ± 1,04 Ideal
Eficiência de irrigação (E <sub>i</sub> em %)	53,97 ± 10,85	85,97 ± 1,77

Verificada a baixa uniformidade de distribuição de água pelo método mangueira/chuveiro, o sistema por barra irrigadora é proposto em substituição. Verifica-se na Figura 10B que a distribuição de água pela barra irrigadora apresenta menor variação espacial das lâminas coletadas, e sua melhor uniformidade é confirmada por meios dos coeficientes apresentados na Tabela 5. O sistema de irrigação por barra irrigadora, em relação ao sistema mangueira/chuveiro, apresentou ganhos de 18, 28, 26, 21 e 33% para CUC, CUD, CUE, CUH e UHD, respectivamente. Já o coeficiente de variação (CV) das lâminas coletadas no sistema por barra irrigadora foi 26% menor em relação ao outro sistema. Estes ganhos de uniformidade

proporcionaram melhores classificações dos coeficientes de uniformidade de distribuição, recebendo desempenhos classificados como bons em sua maioria.

Verifica-se também na Tabela 5 que os valores de desvio-padrão nas avaliações realizadas no sistema por barra irrigadora foram menores que no sistema mangueira/chuveiro. Isso mostra que além de apresentar maior uniformidade de distribuição, a barra irrigadora proporciona aplicações com os mesmos desempenhos nos diferentes eventos de irrigação. Também temos que considerar que as médias dos coeficientes de uniformidade calculados para o sistema por barra irrigadora são maiores, e isso contribuiria para que os desvios-padrão também fossem maiores.

Da mesma forma comentada para o sistema mangueira/chuveiro, no sistema por barra irrigadora o desempenho da irrigação também terá influência do operador. No sentido longitudinal à barra irrigadora, o desempenho da irrigação dependerá da uniformidade da velocidade do operador em conduzir a barra irrigadora. Dessa forma, a variação de velocidade do operador será diretamente proporcional ao desempenho da aplicação da irrigação. Já no sentido transversal à barra irrigadora, o desempenho da irrigação dependerá da uniformidade da vazão e distribuição da água pelos emissores instalados na barra. Daí, nota-se que o operador proporcionará menor influência no sistema por barra irrigadora em relação ao sistema mangueira/chuveiro.

Apesar de existir diferença numérica, os coeficientes de uniformidade apresentaram comportamentos semelhantes na avaliação dos diferentes sistemas de irrigação (Tabela 5). Observa-se também, nesta tabela, que CUC e CUH apresentaram valores próximos. Isso já era esperado, uma vez que Hart (1961), desenvolvedor do CUH, relata que quando a lâmina de água aplicada pelos aspersores tem distribuição normal o CUC é igualado ao CUH. Os valores de CUC e CUH foram superiores aos demais coeficientes avaliados, semelhante ao verificado na literatura (CUNHA et al., 2009; ARAÚJO et al., 2020; FILGUEIRAS et al., 2020; ANDRADE et al., 2021). Filgueiras et al. (2020) trabalhando com esses mesmos coeficientes de uniformidade, para avaliar um sistema de irrigação por aspersão convencional, verificaram que o CUC apresentou os maiores valores seguidos de CUH, CUE, CUD e UDH. O CUD é mais restritivo e geralmente será menor que o CUC, uma vez que no cálculo do CUD consideram-se apenas 25% dos coletores que receberam a menor quantidade de água. Keller & Bliesner (1990) também afirmaram isso e acrescentaram que o CUD pode estar relacionado ao CUC pela expressão:  $CUD = 100 - 1,59 (100 - CUC)$ . Calculando o CUD com essa equação, observou-se uma subestimativa média de apenas 0,84% em relação ao CUD obtido por meio das lâminas coletadas no presente estudo.

As eficiências de aplicação ( $E_A$ ) e irrigação ( $E_i$ ) foram maiores nas avaliações para o sistema por barra irrigadora (Tabela 5). Neste sistema, a  $E_A$  recebeu classificação “ideal” e foi 21% maior que o sistema por mangueira/chuveiro, que recebeu classificação “inaceitável”. Um dos motivos dessa grande diferença foi as condições do clima, pois enquanto no sistema por barra irrigadora a avaliação foi realizada no interior de um galpão, as avaliações do sistema mangueira/chuveiro foi realizada a céu aberto, na própria quadra de tênis, onde percebeu maiores velocidades do vento. Dessa forma, os mesmos comentários realizados para PEA servem também para a  $E_i$ , sendo que esse parâmetro é obtido por meio de PEA em %. Mesmo assim, imaginando uma mesma condição de clima, espera-se que a barra irrigadora proporcione maiores valores de  $E_A$ . Neste sistema, a aplicação da água é de forma localizada, com distâncias em torno de 30 cm entre emissor e alvo. Assim, as condições do clima proporcionarão menores influências nas PEA.

A  $E_i$  foi calculada multiplicando a  $E_A$  pela eficiência de distribuição, onde utilizou-se o CUC. Procedendo desta forma, espera-se uma área adequadamente irrigada de 80% (KELLER; BLIESNER, 1990). A  $E_i$  na avaliação do sistema por barra irrigadora foi 32% maior que no sistema mangueira/chuveiro. Em termos práticos, para a aplicação de uma lâmina líquida de 0,5 mm serão necessárias as aplicações de 0,58 e 0,93 mm de lâmina bruta pelos sistemas por barra irrigadora e mangueira/chuveiro, respectivamente. Considerando a quadra de tênis inteira (650 m<sup>2</sup>), os volumes gastos na irrigação seriam de 378 (barra irrigadora) e 602 (mangueira/chuveiro) litros de água, onde o sistema por barra irrigadora economizaria 224 litros de água, além da energia elétrica. Desconsiderando a  $E_A$  no cálculo da  $E_i$ , uma vez que a mesma foi maior no sistema por mangueira/chuveiro devido às condições diferentes no estudo, a economia de água seria de 99 litros de água. Essa economia ainda é significativa, pois devemos considerar que a quadra de tênis, com piso de saibro, é irrigada entre os sets do jogo, podendo existir vários eventos de irrigação em um único dia.

Diante de todo o exposto, percebe-se que a barra irrigadora apresenta potencial técnico para ser utilizada na irrigação de quadras de tênis com o piso de saibro e, certamente, em piso de grama. Este sistema também possui a vantagem de ser de baixo custo, pois a substituição do chuveiro pela barra irrigadora ficaria por (R\$314,10/U\$58,06) valor este orçado em 27 de janeiro de 2021, quando a cotação do dólar era de U\$ 5,41. Entretanto, estudos *in loco* devem ser realizados, de forma a avaliar o desempenho do sistema de irrigação em diferentes condições de clima e configurações do equipamento de irrigação. Dentre as configurações do equipamento, os autores acreditam que pesquisas utilizando diferentes emissores e pressões de serviço, que afetarão a vazão, intensidade de aplicação, diâmetro de gota etc; ainda possam

contribuir para a melhoria da eficiência de irrigação pela barra irrigadora.

## **CONCLUSÃO**

O sistema por mangueira/chuveiro não deve ser recomendado para irrigação de quadras de

tênis com superfície de saibro, levando em consideração a uniformidade de distribuição e economia de água e energia elétrica.

A barra irrigadora, por apresentar benefícios técnicos, operacional e econômico, apresenta potencial para ser utilizada na irrigação de quadras de tênis com o piso de saibro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas *NBR 14244: Equipamentos de irrigação mecanizada - Pivô central e lateral móvel providos de emissores fixos ou rotativos - Determinação da uniformidade de distribuição de água*. Rio de Janeiro: ABNT, 1998. p. 1-11.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <http://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ANDRÉS, R.; CUCHÍ, J. Á. The use of nitrogen in a sprinkler-irrigated district in Monegros (Northeast Spain). *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 144, n. 10, p. 120-133, 2014. <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.05.020>
- ARAÚJO, E. D.; SANTOS, D. L.; ALVINO, F. C. G.; FERREIRA, L. B.; CUNHA, F. F. Predictive models of water application and distribution efficiency in conventional sprinkling. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 40, n. 1, p. 24-33, 2020. <http://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v40n1p24-33/2020>
- BRALTS, V. F. Field performance and evaluation. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. (Ed.) *Trickle irrigation for crop production*. Amsterdam: Elsevier, 1986. p. 216-240. (Development in Agricultural Engineering, 9).
- CHRISTIANSEN, J. E. *Irrigation by sprinkling*. Berkeley: University of California Agricultural Experiment Station, 1942. 124p.
- CRIDDLE, W. D.; DAVIS, S.; PAIR, C. H.; SHOCKELEY, D. G. *Methods for evaluating irrigation systems*. Washington: Agriculture Handbook, 1956. 24p.
- 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, v. 17, n. 5, p. 404-417, 2009. <http://doi.org/10.13083/1414-3984.v17n05a08>
- FILGUEIRAS, R.; CUNHA, F. F.; VENANCIO, L. P.; ALTHOFF, D.; SANTOS, R. A.; SANTOS, J. E. O.; ALENCAR, C. A. B. Alternative low-cost precipitation kit for assessing irrigation systems. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 41, n. 5, p. 1783-1798, 2020. <http://doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n5p1783>
- HART, W. E. Overhead irrigation pattern parameters. *Agricultural Engineering*, Beijing, v. 42, n. 7, p. 354-355, 1961.
- ISHIZAKI, M. T.; CASTRO, M. *Tênis: aprendizagem e treinamento*. São Paulo: Phorte, 2006. 182p.
- KARMELI, D.; KELLER, J. *Trickle Irrigation Design*. Glendora: Rain Bird Manufacturing Corporation, 1975. 132p.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and Trickle Irrigation**. New York: AVI Book, 1990. 652p.

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

MAROUFPOOR, E.; SANIKHANI, H.; EMAMGHOLIZADEH, S.; KIŞI, Ö. Estimation of wind drift and evaporation losses from sprinkler irrigation systems by different data-driven methods. **Irrigation and Drainage**, New York, v. 67, n. 2, p. 222-232, 2018.  
<http://doi.org/10.1002/ird.2182>

MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: A guide for management**. Logan, Utah, 1978.

MIRANDA, R. A. **Diferentes tipos de quadras de tênis e sua influência na velocidade da bola**, 2019. Disponível em: <http://www.casadotenista.com.br/diferentes-tipos-de-quadras-de-tenis>. Acesso em 29/01/2021.

NOGUEIRA, L. E. **Tênis: as diferenças entre os principais tipos de quadra**, 2019. Disponível em: <http://jornalismojunior.com.br/tenis-as-diferencas-entre-os-principais-tipos-de-quadra>. Acesso em 27/01/2021.

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. <http://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v3n2p154-160>

SOUZA, E. M. S. **Uniformidade de aplicação de água em sistema de irrigação por aspersão sob diferentes pressões de serviço** - XXI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VII Encontro de Iniciação à Docência – Universidade do Vale do Paraíba, 2017

URSO, R. P.; PACHARONI, R.; LIMA-SILVA, A. E.; BERTUZZI, R. Tênis: Uma abordagem geral da modalidade. **Revista Mineira de Educação Física**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 174-192, 2015

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

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A velocidade do vento reduziu o alcance do jato aplicado pelo aspersor Falcon 6504 e foi a variável meteorológica que apresentou maior influência na uniformidade de distribuição de água. Assim, irrigações noturnas ou no período da manhã devem ser preferidas a fim de aumentar a eficiência de irrigação e reduzir o desperdício de água e energia elétrica.

O aumento do espaçamento entre os aspersores Falcon 6504 reduziu a sobreposição das lâminas de irrigação e, conseqüentemente, a uniformidade de distribuição de água. Para atendimento de critérios técnicos e econômicos, recomenda-se o espaçamento de 12x15 m entre os aspersores Falcon 6504 operando com a pressão de serviço de 320 kPa para irrigação de campos de futebol.

Devido ao padrão aleatório da distribuição de água pelos aspersores, o CUC acumulado apresenta maiores valores em relação ao CUC médio, apresentando-se como alternativa para ser utilizado no cálculo da eficiência de irrigação. Entretanto, estudos adicionais são necessários para consolidação e viabilização desse procedimento.

O sistema por mangueira/chuveiro não deve ser recomendado para irrigação de quadras de tênis com superfície de saibro, levando em consideração a uniformidade de distribuição e economia de água e energia elétrica. Contudo, outros estudos devem ser conduzidos, uma vez que os resultados da presente pesquisa são apenas para a aplicação de água na superfície da quadra de tênis, e acredita-se que após a água ser aplicada a esta superfície, a mesma seja redistribuída nas primeiras camadas de saibro.

A barra irrigadora, por apresentar benefícios técnicos, operacional e econômico, apresenta potencial para ser utilizada na irrigação de quadras de tênis com o piso de saibro. Entretanto, estudos *in loco* devem ser realizados, de forma a avaliar o desempenho do sistema de irrigação em diferentes condições de clima e configurações do equipamento de irrigação. Dentre as configurações do equipamento, é possível que pesquisas utilizando diferentes emissores e pressões de serviço, que afetarão a vazão, intensidade de aplicação, diâmetro de gota etc; ainda possam contribuir para a melhoria da eficiência de irrigação pela barra irrigadora.