



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

**RAMON CRUZ BORGES**

**AVALIAÇÃO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO EM MALHA EM  
ÁREAS CULTIVADAS COM CAPIM BRAQUIÁRIA E TIFTON**

**FORTALEZA**

**2016**

RAMON CRUZ BORGES

AVALIAÇÃO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO EM MALHA EM  
ÁREAS CULTIVADAS COM CAPIM BRAQUIÁRIA E TIFTON

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Agronomia do Centro de  
Ciências Agrárias da Universidade Federal  
do Ceará, como parte das exigências da  
Disciplina Atividade Supervisionada.

Orientador: Prof. D. Sc. Francisco Marcus  
Lima Bezerra

FORTALEZA

2016

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

---

B734a Borges, Ramon Cruz.  
Avaliação de sistema de irrigação por aspersão em malha em áreas cultivadas com capim braquiária e tifton / Ramon Cruz Borges. – 2016.  
46 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2016.  
Orientação: Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra.

1. Coeficiente de Uniformidade. 2. Brachiaria decumbens. 3. Cynodon spp.. I. Título.

CDD 630

---

RAMON CRUZ BORGES

AVALIAÇÃO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO EM MALHA EM  
ÁREAS CULTIVADAS COM CAPIM BRAQUIÁRIA E TIFTON

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Agronomia do Centro de  
Ciências Agrárias da Universidade Federal  
do Ceará, como parte das exigências da  
Disciplina Atividade Supervisionada.

Orientador: Prof. D. Sc. Francisco Marcus  
Lima Bezerra

Aprovada em: 22/01/2016

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra (Orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. D. Sc. Carlos Alexandre Gomes Costa  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Msc. Francisca Robevania Medeiros Borges (Conselheira)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Família e Amigos.

## AGRADECIMENTOS

Ao amor esponsal de Deus, não sou santo, mas trilho um caminho de santidade e a cada passo nessa caminhada à sua infinita misericórdia tem sido meu sustento.

A minha “Mãezinha” Nossa Senhora de infinitos títulos, que sempre está presente em minhas orações.

A Universidade Federal do Ceará, por todo seu quadro de funcionários e estrutura, o qual foi responsável por minha formação acadêmica.

Aos meus pais, Francisco das Chagas Sousa Borges e Marta Maria Cruz Borges, que sempre estiveram ao meu lado, sendo meus maiores exemplos e responsáveis diretos por meu ingresso e conclusão do curso. Dando-me consolo e apoio mesmo não estando perto. Ao meu irmão, Renan que sempre esteve ao meu lado nos momentos difíceis e alegres.

Aos meus avós, Exedito Rodrigues Borges e Terezinha de Sousa Borges, que sempre me deram amor. As minhas tias, Dadá e Giovane Helena “Ester”, que me abrigou em sua casa durante toda minha graduação, cuidando de mim como um filho. A minha tia, Geane que sempre está ao meu lado com cuidados de mãe.

Aos meus primos, Alvaro, Arthur, Kosmim, Fulgêncio, Rhenan, Lucas Emanuel, Luizim, Tyago e Tyuri contribuíram para realização desse sonho.

A Minha namorada, Rebeca de Araújo Torres que além de amiga foi imprescindível para a realização deste trabalho. Estando ao meu lado ensinou-me a ter força e sempre encarar os desafios da vida, mesmo que eles se apresentem difíceis.

Aos meus amigos-irmãos, Francisco Marcelo, Francisco Tiago, Felipe Diogo, Pedro Juvêncio, Rodrigo Jucá e Daniel Lima, os quais compartilharam grandes momentos de luta, também como momentos únicos de alegria.

A Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Carmem dos Santos Dolores Gonzaga, pelos conselhos, orientações profissionais, sabedoria e exemplo de profissional.

Ao meu orientador, Francisco Marcus Lima Bezerra, que num curto tempo de convívio, foi de imensa importância não só para minha formação profissional, mas como para minha formação pessoal. Sempre compreensivo e nunca hesitando em ajudar.

A todos os professores do curso de Agronomia da UFC, que contribuíram com a transmissão de todo valioso conhecimento.

Aos amigos da Laboratório de Irrigação e Drenagem, Tiago, Adriana, Laís, Keívia e a Robevania pela paciência e colaboração para conclusão desse trabalho.

A Agrônômica - Empresa Júnior de Agronomia, por me proporcionar experiências incríveis da vida de um Agrônomo mesmo antes de estar formado e aos membros participantes: Clice, Júnior, Eliete, Albertina, Sarah, Jean, Michelle, Isabelle, Lucas, Neres, Manoela, Caique, Gina, Paloma, Jamison, Diego Bernardes, Fuad, Marcos Chaves e Adriano, pelo apoio durante todo o tempo juntos.

Aos amigos do Departamento de Incentivo e valorização da Agronomia (D.I.V.A), Acrísio, Macário, Jones, Russas, Vinicius, Orlando, Gabriel, Walisson, Pará, Zé, Digão e Glauber que contribuíram para concretização dessa graduação.

A todos do Complexo 222-221, Janiquelle Rabelo, Maria Edvânia, Valsergio Barros, Israel Pinheiro, Alfredo Mendonça, Danilo Batista, Edbergue Santos, Edilson Bieh, Vanklane Almeida, Dayme, Antonio Neto, João Germano e Antonio Cícero, que fizeram do 222-221 uma casa e de todos os membros uma família.

Aos Amigos da Comunidade Católica SHALOM, por me ensinar a ser o feliz terceiro.

Aos amigos e amigas pela convivência e paciência em todos esses anos de convivência. E a todos aqueles que, de alguma forma me incentivaram ou me ajudaram a lutar pelo meu objetivo.

“Com a sabedoria os homens são capazes de transformar terras áridas em paraíso fértil.”

Eclesiástico 24:22-32



## RESUMO

A avaliação da eficiência e da uniformidade de sistemas de irrigação em nível de campo contribui para atenuar as perdas que ocorrem durante e após a aplicação de água pelo sistema. Com isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de um sistema de irrigação por aspersão em malha, instalado em uma área de pastagem com capim Braquiária e Tifton 85 em Fortaleza-CE. A uniformidade de aplicação de água do sistema foi estimada através do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e o Coeficiente Estatístico (CUE). Com base nos valores encontrados conclui-se que o sistema de irrigação avaliado se encontra prejudicado, uma vez que todos os parâmetros de desempenho avaliados apresentaram baixos valores, classificados como ruins quando comparados aos recomendados pela literatura.

**Palavras-chave:** Coeficiente de Uniformidade, *Brachiaria decumbens*, *Cynodon spp.* .

## ABSTRACT

Water application uniformity assessment in an irrigation sprinkler system in the municipality of Fortaleza-CE.

The evaluation of the efficiency and uniformity of field-level irrigation systems contribute to mitigate the losses that occur during and after the application of water through the system. Thus, the aim of this study was to evaluate the performance of an irrigation system by spraying mesh, installed in a *Brachiaria* and Tifton 85 grass pasture area in Fortaleza-CE. The uniform water application system was estimated by Christiansen Uniformity Coefficient (CUC) Uniformity of distribution coefficient (CUD) and statistical coefficient (CUE). Based on the values we found it is concluded that the estimated irrigation system is impaired, since all performance parameters evaluated exhibited lower values classified as bad when compared to the recommended by the literature.

**Key words:** uniformity coefficient, *Brachiaria decumbens*, *Cynodon spp.* .

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Aspersor da marca NDJ do modelo 435 ½” M, Fortaleza-CE, 2016. Foto: Borges, R. C.....	26
Figura 2	– Croqui das áreas avaliadas do experimento, Fortaleza-CE, 2016. Foto: Borges, R. C.....	26
Figura 3	– Verificação da pressão de serviço do aspersor com o auxílio do uso do tubo de Pitot acoplado ao manômetro Bourdon, Fortaleza-CE, 2016. Foto: Borges, R. C.....	27
Figura 4	– Disposição dos coletores para captação de água, Fortaleza-CE, 2016. Foto Borges, R. C.....	28
Figura 5	– Medição da temperatura do ar e velocidade do vento com o auxílio do termo anemômetro, Fortaleza-CE, 2016. Foto: Borges, R. C.....	28
Figura 6	– Disposição dos coletores em campo para determinação da evaporação, Fortaleza CE, 2016. Foto: Borges, R. C.....	28
Figura 7	– Representação gráfica das isoietas que representam as precipitações coletadas no ensaio para a área correspondente ao pique número 3 obtidas no software Surfe 11. Fortaleza-CE, 2016.....	38
Figura 8	– Representação gráfica das isoietas que representam as precipitações coletadas no ensaio para a área correspondente ao pique número 6 obtidas no software Surfe 11. Fortaleza-CE, 2016.....	38
Figura 9	– Representação gráfica das isoietas que representam as precipitações coletadas no ensaio para a área correspondente ao pique número 11 obtidas no software Surfe 11. Fortaleza-CE, 2016.....	39
Figura 10	– Representação gráfica das isoietas que representam as precipitações coletadas no ensaio para a área correspondente ao pique número 14 obtidas no software Surfe 11. Fortaleza-CE, 2016.....	39
Figura 11	– Representação gráfica do perfil tridimensional de aplicação de água dos aspersores instalados na área correspondente ao piquete número 3 obtidas no software Surfer 11. Fortaleza-CE, 2016.....	41
Figura 12	– Representação gráfica do perfil tridimensional de aplicação de água dos aspersores instalados na área correspondente ao piquete número 6 obtidas no software Surfer 11. Fortaleza-CE, 2016.....	41
Figura 13	– Representação gráfica do perfil tridimensional de aplicação de água dos aspersores instalados na área correspondente ao piquete número 11 obtidas no software Surfer 11. Fortaleza-CE, 2016.....	42
Figura 14	– Representação gráfica do perfil tridimensional de aplicação de água dos aspersores instalados na área correspondente ao piquete número 14 obtidas no software Surfer 11. Fortaleza-CE, 2016.....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Classificação dos valores de desempenho de sistemas de irrigação por aspersão convencional em função do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), do Coeficiente de Uniformidade Estatística (Us) e do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD).....	23
Tabela 2	– Comparação de uniformidades referentes ao Coeficiente de uniformidade estatística (CUE), segundo ASAE (1996).....	24
Tabela 3	– Parâmetros técnicos referentes aos aspersores avaliados: Pressão de serviço (Ps), Vazão, Intensidade de aplicação (Ia) e Rotação por minuto (RPM), em áreas com pastagens já instaladas, Fortaleza-CE, 2016.....	32
Tabela 4	– Espaçamento S1 e S2 dos aspersores instalados nos piquetes avaliados. Fortaleza- CE, 2016.....	33
Tabela 5	– Parâmetros técnicos referentes ao desempenho atual do sistema de irrigação por aspersão de quatro piquetes avaliados com pastagens: Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), Coeficiente de uniformidade estatística (CUE), Eficiência de irrigação (EI), Perda de distribuição de água (PDA), Eficiência de aplicação potencial (EAP) e Perdas por evaporação (PV). Fortaleza-CE, 2016.....	35
Tabela 6	– Lâminas (mm) coletadas durante a avaliação do sistema de irrigação de aspersão em malha, Fortaleza-CE, 2016.....	36
Tabela 7	- Condições meteorológicas observada nos dias de realização dos testes, Fortaleza-CE, 2016.....	37

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Aspectos econômicos da irrigação de pastagens no Brasil.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Sistemas de irrigação.....</b>	<b>18</b>
<i>2.2.1</i>	<i>Irrigação por superfície.....</i>	<i>19</i>
<i>2.2.2</i>	<i>Irrigação por aspersão.....</i>	<i>19</i>
<i>2.2.3</i>	<i>Irrigação localizada.....</i>	<i>20</i>
<i>2.2.4</i>	<i>Subirrigação.....</i>	<i>21</i>
<b>2.3</b>	<b>Sistemas de irrigação para pastagens.....</b>	<b>21</b>
<b>2.4</b>	<b>Avaliação do sistema de irrigação.....</b>	<b>22</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>25</b>
<b>3.1</b>	<b>Local do experimento, tipo de solo e condições climáticas.....</b>	<b>25</b>
<b>3.2</b>	<b>Procedimento no campo.....</b>	<b>25</b>
<b>3.3</b>	<b>Avaliações dos parâmetros.....</b>	<b>29</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>32</b>
<b>4.1</b>	<b>Parâmetros técnicos dos aspersores.....</b>	<b>32</b>
<b>4.2</b>	<b>Indicadores de desempenho do sistema de irrigação .....</b>	<b>34</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>44</b>
<b>6</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>45</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, em virtude das instabilidades climáticas com consequência direta na distribuição das chuvas, a evolução da pecuária brasileira se deve basicamente a participação da irrigação no agronegócio e dentre os métodos de irrigação mais utilizados em pastagens, destacam-se os sistemas pressurizados, principalmente os sistemas de irrigação por aspersão, nos quais os mais utilizados são pivô central e a aspersão em malha (DRUMOND; AGUIAR, 2005).

Segundo Drumond e Fernandes (2004), em um sistema de irrigação por aspersão em malha, as linhas laterais são interligadas em malha e enterradas, assim como a linha principal e a de derivação. Possui como características principais: baixo consumo de energia, possibilidade de divisão da área em várias subáreas, facilidade de operação e manutenção, possibilidade de fertirrigação e baixo custo de instalação e manutenção.

Em qualquer projeto de irrigação, é necessário verificar se as condições previstas inicialmente estão sendo atendidas no campo. Na avaliação devem-se considerar as condições de pressão, vazão, lâminas d'água aplicadas e uniformidade de aplicação, entre outros parâmetros (MANTOVANI et al., 2009). No entanto, a avaliação do desempenho de sistemas de irrigação ainda é pouco frequente na maioria das propriedades rurais e quando se faz a avaliação, esta geralmente executada sem nenhuma assessoria e, de uma maneira geral, não conseguem retribuir aos produtores os incrementos de produção em material vegetal da forma esperada.

O manejo racional de qualquer projeto de irrigação deve considerar aspectos sociais e ecológicos e procurar maximizar a produtividade, minimizar os custos, aumentar a eficiência no uso da água e da energia, mantendo as condições de umidade do solo favoráveis ao bom desenvolvimento da planta (PAZ et al., 2000).

A agricultura irrigada apresenta diversos benefícios que só podem ser alcançados em toda sua plenitude quando o sistema de irrigação for utilizado com critérios de manejo que resultem em aplicações de água de qualidade, no momento oportuno e nas quantidades compatíveis com as necessidades de consumo das culturas irrigadas, levando sempre em consideração a relação solo-planta-água-clima (DRUMOND, 2003).

Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a qualidade da irrigação de um sistema por aspersão em malha, operando em condições de campo, mediante a quantificação de parâmetros de desempenho em uma área cultivada com capim-braquiária

(*Brachiaria decumbens*) e capim-tifton 85 (*Cynodon ssp.*) localizada no Núcleo de Ensino e Estudos em Forragicultura - NEEF/DZ/CCA/UFC em Fortaleza – CE.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Aspectos econômicos da irrigação de pastagens no Brasil

A técnica da irrigação pode ser definida como sendo a aplicação artificial de água ao solo, visando proporcionar a umidade adequada ao desenvolvimento normal das plantas nele cultivadas, a fim de suprir a falta ou a má distribuição das chuvas.

A agricultura irrigada tem sido importante estratégia para melhoria da produção mundial de alimentos, proporcionando desenvolvimento sustentável no campo, com geração de empregos e renda de forma estável. Atualmente, mais da metade da população mundial depende de alimentos produzidos em áreas irrigadas (MANTOVANI et al., 2007).

Expressivos avanços ocorreram na produção pecuária em pastagens, entre os anos de 1996 a 2006 o rebanho bovino brasileiro aumentou de 158,3 para 205,9 milhões de animais, enquanto que a área total de pastagens diminuiu de 177,7 milhões para 158,6 milhões de hectares (IBGE, 2010). Esses números revelam o esforço, ao longo desse período, de técnicos, produtores e pesquisadores em elevar a produtividade das mesmas, o que resultou em considerável melhoria na eficiência de utilização da pastagem (EUCLIDES et al., 2010).

Mesmo com o desenvolvimento, a produtividade média dos pastos brasileiros ainda são incipientes, com lotações médias inferiores a 1 unidade animal (UA) por hectare, indicando necessidade de aumento da produção (ALENCAR et al., 2009). Ao imaginar o aumento da produção a pasto, a pesquisa tem procurado o uso racional de tecnologias relacionadas com o manejo do solo, do ambiente, da planta e do animal. Dentre essas tecnologias destacam - se o método de pastejo sob lotação rotacionado, o uso de níveis de adubações compatíveis com altas produções de forragem e o uso da irrigação (ALENCAR et al., 2009).

Nesta situação, destaca - se que é progressiva a utilização de irrigação nas pastagens brasileiras, em particular nas regiões mais quentes, que apresentam maiores respostas ao seu uso (DRUMOND; AGUIAR, 2005). Entretanto, o uso desta tecnologia deve estar aliado ao uso adequado de fertilizantes, para que o incremento em produção real seja compatível com o esperado.

Segundo Garcia et al. (2007), a região semiárida do Nordeste brasileiro é normalmente prejudicada por um período irregular de precipitações, devido à insuficiência e à má distribuição das mesmas no decorrer do ano, de tal forma que tais fatos constituem um dos fatores mais restritivos às produtividades agrícolas, comprometendo consideravelmente o



rendimento das culturas. Tais fatos esclarecem a necessidade de recorrer à prática da irrigação, visando amenizar e corrigir os problemas provindos do suprimento hídrico ineficaz na agricultura.

Bilibio et al. (2010) informam que na agricultura irrigada deve-se incumbir uma atenção especial ao manejo da irrigação, uma vez que se torna imprescindível conduzir de forma racional a cultura irrigada em condições de campo, demonstrando de forma exata as necessidades hídricas da cultura sem déficit, nem excesso, assim como a lâmina e a hora mais adequada para realizar a irrigação visando desta forma maximizar a eficiência do uso da água.

A irrigação não deve ser considerada isoladamente, mas sim como parte de um conjunto de técnicas utilizadas para garantir a produção econômica de determinada cultura com adequados manejos dos recursos naturais. Portanto, devem ser levados em conta os aspectos de sistemas de plantio, de possibilidades de rotação de cultura, de proteção dos solos, de fertilidade do solo, de manejo integrado de pragas e doenças, mecanização etc., perseguindo-se a produção integrada e a melhor inserção nos mercados (MANTOVANI et al., 2007).

## **2.2 Sistemas de irrigação**

O uso de sistemas de irrigação tem sido uma importante estratégia para otimização da produção de alimentos por elevar a produtividade e a qualidade de uma cultura, favorecendo a produção fora de safra e a geração de emprego e renda no campo (LUNA et al., 2013).

Segundo Andrade (2001) alguns fatores devem ser levados em conta quanto à decisão de irrigar as culturas, como a quantidade de água disponível, o custo/benefício da utilização dessa técnica e como/quanto são distribuídas as chuvas na região. O fator de maior importância na decisão de irrigar uma cultura é a distribuição das chuvas, pois durante a produção de determinado vegetal, há períodos de maior demanda de água e outros de menor demanda o que requer do produtor grande atenção.

A demanda sazonal de água, por exemplo, é a quantidade de água que uma cultura utiliza durante seu cultivo. Dentro do ciclo de cultivo, há um período crítico, cuja demanda por água é exigida em maior quantidade que o normal (CARVALHO et al., 2013). Assim a irrigação aparece como uma alternativa para suprir as demandas do produtor. Pois é uma técnica empregada com o objetivo de equilibrar o déficit hídrico tanto nos períodos de demanda sazonal de água, bem como dos períodos críticos de demanda por água.

Os principais métodos de irrigação utilizados são: irrigação por superfície, irrigação por aspersão, irrigação localizada e sub irrigação (ANDRADE; BRITO, 2006). Cada método possui custos, vantagens e limitações diferenciados e na grande maioria dos casos se adéqua a diversas culturas.

### *2.2.1 Irrigação por superfície*

Nesse método, a distribuição da água acontece por gravidade através da superfície do solo. Apresenta demanda por elevado volume de água para seu manejo. É um método que exige áreas uniformes, sem elevações e depressões, para evitar a falta ou o acúmulo de água (BERNARDO et al., 2009).

### *2.2.2 Irrigação por aspersão*

A distribuição de água nesse método é por meio de jatos de água que ao serem lançados ao ar, caem sobre a cultura na forma de chuva. É um método que se adapta a quase todas as culturas, embora interfira nos tratos culturais, por lavar a parte aérea das plantas. Adapta-se às várias condições de solo e clima. Pode ser totalmente automatizado e portátil. Sofre influência de condições do vento e umidade relativa por afetar a uniformidade de distribuição. Não é recomendado o uso de água salina, pois reduz a vida útil do equipamento e causa possíveis danos nas folhas dos vegetais (BERNARDO et al., 2009).

Segundo Andrade e Brito (2006), o método de irrigação por aspersão, no Brasil, divide-se em cinco sistemas, que são: a) aspersão convencional; b) auto propelido; c) pivô central; d) deslocamento linear; e) LEPA.

i) *Aspersão Convencional* – Podem ser sistemas fixos, semifixos ou portáteis. Nos sistemas fixos as tubulações são permanentemente enterradas, assim requer menos mão de obra. Nos sistemas semifixos e portáteis, requerem mão de obra para mudança das linhas laterais, tais sistemas são recomendados para pequenas propriedades, com uso de mão de obra familiar para reduzir custos de instalação.

ii) *Auto Propelido* – Nesse sistema, um canhão ou minicanhão é montado sobre um carrinho que se desloca em posição longitudinal ao longo da área a ser irrigada. A pressão da água é que impulsiona o carrinho. É o sistema que mais consome energia e sofre muita influência do vento, por este interferir na distribuição de água na área irrigada.

iii) *Pivô Central* – Consiste numa linha lateral que gira em torno de um círculo (pivô). São sistemas que permitem alto grau de automação, são empregados para irrigar grandes áreas.

iv) *Deslocamento Linear* – A linha lateral tem deslocamento similar à do pivô central, mas desloca-se em posição transversal e na direção longitudinal da área. Recomenda-se esse sistema para áreas retangulares planas e sem obstrução.

v) *LEPA “low energy precision application”* – São sistemas tipo de pivô central ou de deslocamento linear, contém equipamentos com mecanismos de aplicação de água mais eficientes, no qual a água é aplicada diretamente na superfície do solo, que reduz perdas de água pelo vento e evita o molhamento da planta.

### 2.2.3. Irrigação localizada

Esse método permite que a água seja aplicada ao solo, diretamente sobre a região radicular das plantas, em pequenas intensidades, porém com altas frequências de modo que a umidade no solo seja próxima à “capacidade de campo”. Os emissores empregados podem ser gotejadores (tubos porosos) ou superficiais (microaspersores). A área molhada corresponde de 20 a 80% da área total, favorecendo a economia de água. O custo inicial da implantação desse sistema pode ser relativamente alto, por permitir automação total. Requer menor emprego de mão de obra na operação. Conforme Andrade e Brito (2006), os sistemas mais usados de irrigação localizada, são: a) Gotejamento; b) Microaspersão; c) Gotejamento Superficial.

No sistema de gotejamento, a água é aplicada de forma pontual na superfície do solo, não molhando a folhagem ou o colmo das plantas. Esse sistema requer filtragem de água para não ocorrer entupimentos dos emissores. Já o sistema de gotejamento subsuperficial, os tubos porosos são enterrados, permitindo aplicação subsuperficial da água, esse sistema possui vida útil maior e permite a remoção das linhas laterais da superfície do solo, para que facilite o tráfego e os tratos culturais.

#### 2.2.4 Subirrigação

Nesse sistema o lençol freático é mantido a certa profundidade, capaz de permitir um fluxo de água proveitoso à zona radicular de determinada cultura (ANDRADE; BRITO, 2006). Geralmente associa-se a um sistema de drenagem superficial.

### 2.3 Sistemas de irrigação para pastagens

Nos últimos anos a pecuária brasileira vem promovendo a participação da irrigação no agronegócio, sendo esta uma estratégia importante para o aumento da produção, produtividade e rentabilidade da propriedade rural (BERTOSSI et al., 2013). Entre os métodos de irrigação mais utilizados em pastagens destacam-se os sistemas pressurizados, e como exemplo apresenta-se o sistema de irrigação por aspersão (DRUMOND e FERNANDES, 2004).

Um eficiente sistema de irrigação deve aspergir água no solo uniformemente, até certa profundidade, favorecendo a umidade necessária ao desenvolvimento normal das espécies vegetais (DRUMOND, 2003).

Os tipos de sistemas de irrigação por aspersão mais usados em pastagens são:

- Aspersão convencional (semiportátil, portátil e fixo);
- Aspersão em malha (enterrado, sistema fixo ou superficial);
- Pivô central (extensas áreas).

No sistema de irrigação por aspersão utilizam-se emissores chamados de aspersores, os quais distribuem a água às plantas. Os aspersores podem ter um ou mais bocais, mecanismos por onde sai a água que é aspergida às plantas. A água sob pressão passa pelos bocais, é pulverizada e incide sob a forma de chuva artificial. A pressão de serviço geralmente é obtida por meio de motobombas (energia elétrica ou movida a óleo diesel), mas também pode ser resultante do desnível do terreno (BERNARDO et al., 2006).

Bernardo et al. (2006) informam as seguintes vantagens dos sistemas de irrigação por aspersão: Apresenta flexibilidade na taxa de aplicação de água e possui facilidade na adaptação à capacidade de infiltração de água do solo e à fase de desenvolvimento da cultura; Dispensa a sistematização do terreno e reduz o custo de instalação e de operação em diferentes condições topográficas; Existe melhor aproveitamento do terreno, dispensando o uso de canais e de sulcos para a condução de água; Favorece a economia de mão de obra para condução de água, principalmente em sistemas fixos e mecanizados; Há menor perda de água (evaporação e infiltração), devido ao transporte de água em tubulações, em relação à irrigação

por superfície; Possibilita a automação e aplicação de produtos químicos e fertilizantes por meio da água de irrigação (fertirrigação / quimigação) e proporciona boa uniformidade de aplicação e alta eficiência de distribuição de água na área irrigada, se o sistema for bem dimensionado e bem manejado.

Mendonça et al. (2007) conferem uma maior utilização de sistemas de irrigação por aspersão convencional em agricultura familiar por apresentarem tamanho reduzido das áreas a serem irrigadas, sendo os principais sistemas os semiportáteis e os fixos. Ressaltam ainda o sistema de aspersão em malha como sendo o de maior praticidade e menor custo de instalação. Geralmente estes possuem tubulações fixas e aspersores móveis, tendo as tubulações enterradas, aumentando assim a sua vida útil.

Segundo Drumond (2008), o sistema de aspersão em malha, em consequência da praticidade, das facilidades de modulações e adequações à capacidade de investimento de cada proprietário, tem tido uma gradual expansão no Brasil.

A irrigação em pastagens com uso de pivô central ganhou mercado na década de 90. As pastagens irrigadas tiveram origem em áreas de produção agrícola de grãos, onde havia baixa produtividade causada principalmente por solos degradados e contaminados por patógenos (CARDOSO, 2001). Segundo o mesmo autor, os custos são altamente relevantes em sistemas irrigados por pivô central. Além disso, nem todas as propriedades rurais dispõem de condições topográficas, energia elétrica, água e solo que permitam a adoção desta tecnologia, sendo inviável sua implantação em regiões em que o déficit hídrico causado pela escassez de chuvas seja bastante acentuado.

#### **2.4 Avaliação do sistema de irrigação**

O conceito de eficiência de irrigação engloba dois aspectos básicos: a uniformidade de aplicação e as perdas que podem ocorrer no período de operação do sistema. Para que a eficiência possa atingir índices aceitáveis, faz necessário que durante o funcionamento do sistema as perdas sejam as mínimas possíveis.

Segundo Barreto Filho et al. (2000), a uniformidade de aplicação de água é um parâmetro que detalha o sistema de irrigação em função da diferença de volume aspergido na planta ao longo das linhas laterais, tendo resultado direto no desempenho das culturas, por isso, é considerada como um dos fatores mais determinantes no dimensionamento e na execução de sistemas de irrigação.

Diversos coeficientes são utilizados para demonstrar a variabilidade de distribuição da água aplicada por um sistema de irrigação por aspersão, na superfície do solo. O primeiro deles foi sugerido por Christiansen (1942) e adota o desvio médio absoluto como medida de dispersão (CUC). Wilcox E Swailes (1947) sugeriram um coeficiente de uniformidade usando o desvio-padrão como medida de dispersão, para o qual se permitam valores acima de 75% (CUE); agora Criddle et al. (1956) inseriram outra medida da uniformidade, considerando a razão entre a média do menor quartil e a lâmina média coletada (CUD).

A uniformidade de distribuição de água (CUD) é usada como indicador dos empecilhos da distribuição da irrigação. Baixo valor de CUD indica perda abundante de água por percolação profunda, quando a lâmina mínima aplicada corresponde à lâmina de irrigação real necessária, na qual os valores de CUD são em geral menores que o CUC.

Segundo Mantovani (2001) os valores dos coeficientes de uniformidade (CUC, CUD e CUE) foram organizados em uma escala de classificação conforme está demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação dos valores de desempenho de sistemas de irrigação por aspersão convencional em função do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), do Coeficiente de Uniformidade Estatística (Us) e do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD).

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

Fonte: Mantovani (2001).

O valor aceitável do CUC adotado como referência por convenção para sistemas de irrigação por aspersão é 0,85 ou 85%. Segundo Gomes (1994) podem ser admitidos valores de CUC < 80% se: (i) a precipitação pluvial tem um valor significativo durante a estação de cultivo, (ii) o custo do sistema é suficientemente pequeno de forma a compensar a redução da receita líquida pela diminuição da produção e, (iii) as linhas laterais são operadas em posições alternadas nas sucessivas irrigações.

A American Society of Agricultural Engineers (ASAE), através de seu Comitê de Irrigação por Aspersão, apresentou uma tabela de recomendações para uma comparação correta de uniformidade referente ao CUE ASAE (1966) que esta representada na tabela 2.

Tabela 2 - Comparação de uniformidades referentes ao Coeficiente de uniformidade estatística (CUE), segundo ASAE (1996)

.Grau de Aceitabilidade	CUE
Excelente	100-95
Bom	90-85
Normal	80-75
Ruim	70-65
Inaceitável	<60

Fonte: ASAE (1996).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Local do experimento, tipo de solo e condições climáticas

O experimento foi conduzido em novembro de 2015, em quatro piquetes, identificado pelos números três (3) e seis (6), estes cultivados com capim tifton 85 e os piquetes onze (11) e o catorze (14), cultivados com capim braquiária, ambos pertencentes à área experimental localizada no Núcleo de Ensino e Estudos em Forragicultura - NEEF/DZ/CCA/UFC, Campus do Picí, no município de Fortaleza – CE.

O município de Fortaleza localiza-se na zona litorânea a 15,49 m de altitude, 30°43'02" de latitude sul, e 38°32'35" de longitude oeste. O solo da área em estudo é do tipo Argissolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 2006). Conforme a classificação de Köppen, a área está localizada numa região de clima Aw', que se evidencia por possuir um clima chuvoso, com precipitações de outono a verão e temperatura média superior de 18°C durante o ano inteiro.

#### 3.2 Procedimento no campo

O primeiro passo foi a escolha de um local no campo para o teste ao longo da linha lateral de aspersores. A avaliação do sistema já instalado foi realizada no 1/3 médio da linha lateral, segundo metodologia adotada por Bernardo et al. (2009), os quais relatam que linhas em nível possuem melhor representação da pressão média de operação dos aspersores. Geralmente esses aspersores estão localizados a uma distância de 40% do comprimento total a partir do início da linha.

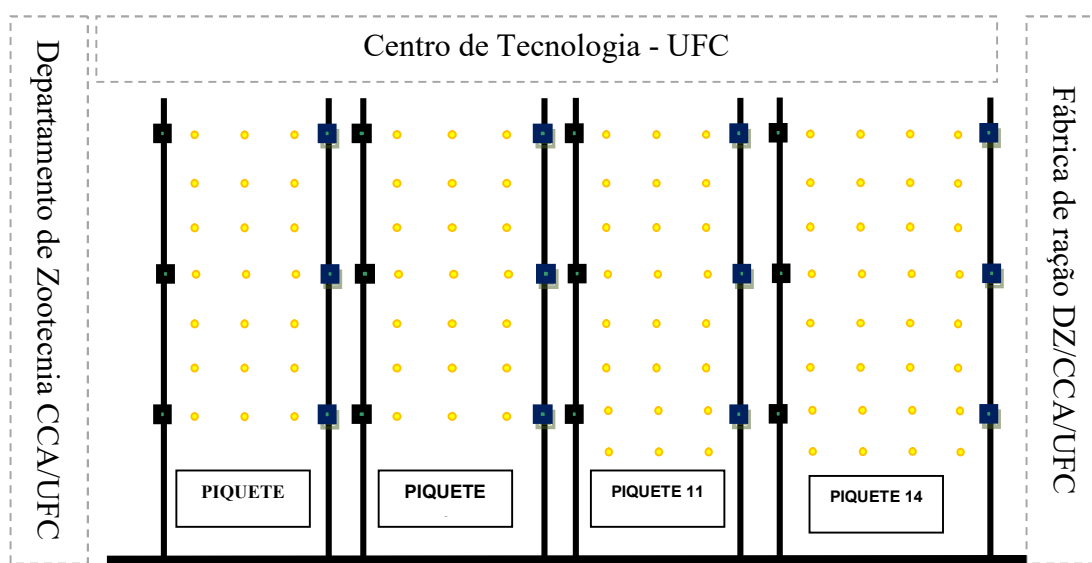
O sistema avaliado é do tipo aspersão convencional em malha, com aspersor da marca NaanDanJain®, modelo 435 de ½" M, aspersor de giro completo e setorial, que segundo as especificações do fabricante tem diâmetro molhado de 23 a 29 m com vazão de 0,38 a 1,18 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup> e pressão de serviço de 1,5 a 4 bar (Figura 1). O material empregado para avaliação do sistema de irrigação baseava-se de coletores da marca Fabrimar, proveta graduada em mL, cronômetro, tubo Pitot, manômetro de Bourdon, recipiente com capacidade de 6,0 L, mangueira, trena métrica e um termo-anemômetro portátil.





Figura 1 – Aspersor da marca NDJ do modelo 435 ½” M, Fortaleza-CE, 2016. Foto: Borges, R. C.

Deste modo, foram realizadas as medidas das distâncias S1 (espaçamento entre aspersores) e S2 (espaçamento entre laterais) dos quatros piquetes avaliados, dividindo essas áreas em m<sup>2</sup>. Para a demarcação da área foram utilizados coletores pluviométricos espaçados em quadrículas de 2 x 2 m com o auxílio de uma trena métrica. No centro de cada subárea foi fixado ao solo uma haste metálica para cada coletor, posicionado a uma altura média de 60 cm, em relação à superfície do solo, as quais serviram de suporte aos coletores. Situados entre seis aspersores, perfazendo um total de 21 unidades na Área 3, 21 unidades na Área 6, 24 unidades na Área 11 e 36 unidades na Área 14, conforme o croqui da Figura 2.





- LEGENDA:  
 Coletor pluviométrico  
 Aspersor

Figura 2 – Croqui das áreas avaliadas do experimento, Fortaleza-CE, 2016. Foto: Borges, R. C.

De início, os coletores foram colocados em posição invertida para evitar a coleta de água antes do início da avaliação. Foi realizada a verificação da centralização dos coletores e por estar tudo correto, o conjunto motobomba foi acionado. Aguardaram-se alguns minutos até a completa pressurização da tubulação do sistema.

Realizaram-se medições de vazões dos aspersores antes da realização dos testes com o auxílio de uma mangueira acoplado ao bocal de cada aspersor, um reservatório com capacidade de 6,0 L e um cronômetro de precisão. A vazão determinada representou a média aritmética de três repetições para cada aspersor, em cada piquete.

Com o auxílio do tubo de Pitot acoplado a um manômetro de Bourdon verificou-se a pressão de serviço dos 6 aspersores, das áreas em avaliação (Figura 3). Em seguida foi verificado o tempo em que o aspersor percorria cada setor e completava o seu giro total com o auxílio de um cronômetro. O tempo determinado representou a média aritmética de três repetições para cada aspersor avaliado.



Figura 3- Verificação da pressão de serviço do aspersor com o auxílio do uso do tubo de Pitot acoplado ao manômetro Bourdon, Fortaleza-CE, 2016. Foto: Borges, R. C.

O conjunto motobomba foi desligado, logo os aspersores deixaram de funcionar. Os coletores foram virados para cima sendo encaixado em sua haste para que fosse possível iniciar o teste. Ao começar a avaliação, cada coletor captava toda a água aspergida (Figura 4). O tempo de duração para cada coleta foi de aproximadamente meia (1/2) hora, correspondendo com o tempo de irrigação utilizado pelos irrigantes da área.



Figura 4 – Disposição dos coletores para captação de água, Fortaleza-CE, 2016. Foto: Borges, R. C.

Com o funcionamento do sistema de irrigação, foi medida a temperatura e a velocidade do vento em intervalos precisos de 10 minutos com o auxílio de um termo-anemômetro portátil (Figura 5).



Figura 5 – Medição da temperatura do ar e velocidade do vento com o auxílio do termo-anemômetro, Fortaleza-CE, 2016. Foto: Borges, R. C.

A evaporação determinada no decorrer do teste foi medida com base em um volume de água conhecido disposto em quatro distintos coletores (Figura 6), fazendo-se, ao final do teste, a diferença entre o volume inicial e o volume final dos quatro coletores.



Figura 6 – Disposição dos coletores em campo para determinação da evaporação, Fortaleza-CE, 2016. Foto: Borges, R. C.

Ao concluir o teste, iniciaram-se as medições dos volumes de água coletados, com o auxílio de uma proveta graduada em mm da marca Fabrimar.

### 3.3 Avaliações dos parâmetros

Para a avaliação do desempenho e da eficiência do sistema de irrigação por aspersão convencional utilizou-se como base os seguintes parâmetros: Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), Coeficiente Estatístico de Uniformidade (CUE), Eficiência de Irrigação (EI), Perdas de Distribuição de Água (PDA), Eficiência de Aplicação em Potencial (EAP) e a perda por evaporação e arrastamento pelo vento (Pv).

CHRISTIANSEN (1942) aplicou o conceito de medir a uniformidade da distribuição da água por um sistema de aspersão, chamando esse método de “coeficiente de uniformidade” (CUC), expresso pela equação 1:

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

em que,

CUC - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, em percentagem;

n - número de coletores;

$X_i$  - altura de precipitação coletada no i-ésimo coletor;

$\bar{X}$  - lâmina média aplicada.

O cálculo do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) foi realizado considerando a equação 2:

$$CUD = 100 \cdot \frac{\bar{x}}{\bar{X}} \quad (2)$$

em que,

$\bar{x}$  - lâmina média de 25% dos pluviômetros com as menores precipitações;

$\bar{X}$  - média das precipitações, considerando todos os pluviômetros.

O coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) é outro parâmetro que pode ser utilizado para a determinação da uniformidade de sistemas de irrigação e foi calculado pela equação 3:

$$CUE = 100 \left( 1 - \frac{S}{\bar{X}} \right) \quad (3)$$

em que,

S - desvio padrão dos dados de precipitação;

$\bar{X}$  - média das precipitações, mm.

O valor do CUE considerado satisfatório está entre 0,75 e 0,80 (75 e 80%).

O desvio padrão dos dados de precipitação foi determinado a partir da equação 4:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N |X_i - \bar{X}|^2}{N}} \quad (4)$$

em que,

$X_i$  - lâmina observada no coletor i, mm;

$\bar{X}$  - média das precipitações, mm;

N- número de coletores.

Fonte: Mantovani (2001).

O parâmetro Eficiência de Irrigação (EI) é utilizado para determinar com qual eficiência um sistema de aspersão pode utilizar o suprimento de água. É definido pela relação entre as 25% menores lâminas ou volumes aplicados e a lâmina média aplicada (L), obtida pela seguinte equação (5):

$$EI = \frac{\bar{x}}{L} \cdot 100 \quad (5)$$

em que,

$\bar{x}$  - lâmina média de 25% dos pluviômetros com as menores precipitações;

L - lâmina média aplicada, L = PPT aspersor x tempo de irrigação.

As Perdas de Distribuição de Água (PDA) do sistema avaliado foram obtidas através da equação 6:

$$PDA = 100 - EI \quad (6)$$

em que,

PDA - Perdas de água por aplicação (%);

EI - Eficiência de irrigação (%).

Conforme Mantovani et al. (2007) as perdas ocorridas por evaporação e arrastamento através do vento aumentam de acordo com a temperatura do ar, velocidade do vento e, conseqüentemente, com a pressão de serviço do aspersor. A eficiência de aplicação em potencial pode ser determinada pela equação 7:

$$Eap = \frac{Lm \cdot S1 \cdot S2}{q \cdot ti} \cdot 100 \quad (7)$$

Em que:

Eap = eficiência de aplicação em potencial, %;

q = vazão média do aspersor, l s<sup>-1</sup>;

ti = tempo de irrigação, s;

Lm = Lâmina média coletada, mm;

S1 = espaçamento entre aspersores, m;

S2 = espaçamento entre laterais, m.

A perda por evaporação e arrastamento pelo vento (Pv) pode ser determinada pela seguinte equação 8:

$$Pv = 100 - Eap \quad (8)$$

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Parâmetros técnicos dos aspersores

Na Tabela 3 estão apresentados os dados referentes aos parâmetros técnicos dos aspersores presentes nos quatro piquetes avaliados.

Tabela 3 - Parâmetros técnicos referentes aos aspersores avaliados: Pressão de serviço (Ps), Vazão, Intensidade de aplicação (Ia) e Rotação por minuto (RPM) em áreas com pastagens já instaladas. Fortaleza-CE, 2016.

Aspersor	Piquete 3				Piquete 6				Piquete 11				Piquete 14			
	Ps (mca)	Vazão (L h <sup>-1</sup> )	Ia (mm h <sup>-1</sup> )	RPM	Ps (mca)	Vazão (L h <sup>-1</sup> )	Ia (mm h <sup>-1</sup> )	RPM	Ps (mca)	Vazão (L h <sup>-1</sup> )	Ia (mm h <sup>-1</sup> )	RPM	Ps (mca)	Vazão (L h <sup>-1</sup> )	Ia (mm h <sup>-1</sup> )	RPM
1	15,5	563,6	6,26	9,98	16	589,2	7,20	8,57	15	544,6	5,98	10,19	21	668,2	5,14	8,57
2	16	563,8	6,26	10,96	16	594,6	7,27	10,00	15	558,7	6,13	10,42	21	661,4	5,09	9,00
3	15	531,2	5,90	9,13	16	583,8	7,14	8,57	14,5	553,8	6,08	9,17	20	641,7	4,94	7,83
4	18	617,1	6,86	11,79	19	648,1	7,92	8,57	17	573,5	6,30	8,66	22,5	696,8	5,36	8,18
5	17,8	623,5	6,93	6,73	19	635,3	7,77	10,00	16	600,0	6,59	9,47	22	682,3	5,25	7,50
6	17,5	589,2	6,55	12,24	19	641,7	7,84	7,83	16	573,5	6,30	8,16	21,5	648,1	4,99	5,63
Médias	16,6	581,4	6,46	10,14	17,5	615,5	7,52	8,92	15,6	567,4	6,23	9,35	21,3	666,4	5,13	7,78

Fonte: Borges, R. C., 2016.

Ao analisar tais parâmetros constata-se que há variações entre a maior e menor vazão dos aspersores, apresentando uma variação de 17,4% entre os aspersores 5 e 3 no piquete 3, uma variação de 11% entre os aspersores 4 e 3 no piquete 6. Já no piquete 11 a variação foi de 10,2% entre os aspersores 5 e 1 e por fim o piquete 14 apresentou uma variação de 8,6% entre os aspersores 4 e 3. É possível verificar que as vazões dos aspersores da marca NDJ do modelo 435 ½” M, estão de acordo com o catálogo do fabricante variando de 531,2 a 696,8 L h<sup>-1</sup>.

A intensidade de aplicação apresenta uma variação entre a maior e menor intensidade de 17,5% no piquete 3, 10,9% no piquete 6, 10,2% no piquete 11 e 8,5% no piquete 14. As pressões de serviço dos aspersores apresentaram uma variação da menor para maior pressão de 55,2% para os piquetes 3, 6, 11 e 14. De acordo com a pressão de serviço estabelecida pelo fabricante, os aspersores do modelo NDJ435 ½ ” M operam na faixa recomendada.

Segundo Alencar et al. (2009) quando o projeto de irrigação apresenta aspersores funcionando com diferentes pressões de serviço, diferentes vazões serão aplicadas e consequentemente menores uniformidades de aplicação de água serão observadas. Como no presente estudo as pressões dos aspersores avaliados eram diferentes, assim observou-se elevada variação na vazão aplicada.

Verificou-se ainda, uma grande diferença entre as rotações dos aspersores dos quatro piquetes, os quais operaram na faixa de 5,63 a 12,24 RPM (Rotação por minuto),

comprovando a elevada divergência entre as precipitações coletadas ao longo do teste, servindo também para explicar os baixos valores de desempenho constatados na irrigação das áreas em questão, uma vez que a medição dos tempos de giro dos aspersores nos quadrantes indicou que a água foi lançada com distribuição irregular em todas as direções. Bernardo et al. (2009) consideram que a velocidade de rotação do aspersor deve variar de 0,5 a 2,0 RPM. A norma ISO-7749-1 da INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARTIZATION (1990) define que a rotação do aspersor não deve ser superior a 3 rotações por minuto. Valores superiores podem ocasionar maior pulverização e redução do alcance do jato e maior efeito do vento no perfil de distribuição de água (MAROUELLI, 1989).

Constatou-se, que todos os aspersores para ambos os piquetes demonstraram valores superiores aos admissíveis para uma irrigação por aspersão ser conduzida de forma adequada. Segundo Christiansen (1942), a alta velocidade de rotação do aspersor acarreta redução da área coberta pelo emissor, resultando num aumento correspondente na taxa de aplicação real de até 40 %, quando comparado com o mesmo aspersor girando em sua rotação recomendada.

O espaçamento ente aspersores é considerado de grande influência na uniformidade de distribuição de água na área a ser irrigada. Na Tabela 4 estão expostos os espaçamentos entre aspersores (S1) e entre linhas laterais (S2).

Tabela 4 - Espaçamento S1(espaçamento entre aspersores) e S2 (espaçamento entre linhas de laterais) dos aspersores instalados nos piquetes avaliados. Fortaleza- CE, 2016.

Espaçamento S1 (m)		Espaçamento S2 (m)	
PIQUETE 3			
Aspersor 1-2	6,00	Aspersor 1-4	6,10
Aspersor 2-3	6,00	Aspersor 2-5	6,15
Aspersor 4-5	6,10	Aspersor 3-6	6,05
Aspersor 5-6	6,20		
PIQUETE 4			
Aspersor 1-2	6,27	Aspersor 1-4	6,20
Aspersor 2-3	6,25	Aspersor 2-5	6,30
Aspersor 4-5	6,25	Aspersor 3-6	6,15
Aspersor 5-6	6,25		
PIQUETE 11			
Aspersor 1-2	6,72	Aspersor 1-4	6,85
Aspersor 2-3	6,76	Aspersor 2-5	6,80
Aspersor 4-5	7,00	Aspersor 3-6	6,90
Aspersor 5-6	6,15		
PIQUETE 14			
Aspersor 1-2	7,60	Aspersor 1-4	7,60



Aspersor 2-3	7,60	Aspersor 2-5	7,60
Aspersor 4-5	7,40	Aspersor 3-6	7,60
Aspersor 5-6	7,70		

Fonte: Borges, R. C., 2016.

Analisando a Tabela 4, percebe-se que há certa irregularidade entre os espaçamentos tanto em S1 como no S2, o que certamente somam-se aos demais fatores discutidos na contribuição para a baixa uniformidade de precipitação na extensão da área em avaliação. Ribeiro (1982) constatou que à medida que se aumentava o espaçamento entre aspersores, ocorria à diminuição dos coeficientes de uniformidade e da eficiência de irrigação, aumentando grandemente, as perdas por percolação profunda.

Faria et al. (2009) confirmam que a uniformidade em sistemas convencionais de aspersão resulta de fatores como o tipo de aspersor e suas condições operacionais, a disposição e o espaçamento entre aspersores no campo, a velocidade e a direção do vento durante o período de aplicação de água. As características de distribuição de água dos aspersores provem do modelo de aspersor considerado e das suas condições operacionais como: altura de instalação, diâmetros dos bocais, pressão de serviço, ângulo de saída do jato e velocidade de rotação, além das condições climáticas durante sua operação (KING et al., 2011).

A pressão de operação do aspersor, seguido pelo espaçamento entre aspersores, espaçamento entre linhas laterais e velocidade de rotação do aspersor foram os que mais influenciaram na uniformidade de aplicação de água de sistemas convencionais de aspersão segundo Azevedo et al. (2000).

#### **4.2 Indicadores de desempenho do sistema de irrigação**

Os valores dos coeficientes calculados a partir do teste de uniformidade realizado para o sistema de irrigação podem ser visualizados na Tabela 5.

Tabela 5 - Parâmetros técnicos referentes ao desempenho atual do sistema de irrigação por aspersão de quatro piquetes avaliados com pastagens: Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), Coeficiente de uniformidade estatística (CUE), Eficiência de irrigação (EI), Perda de distribuição de água (PDA), Eficiência de aplicação potencial (EAP) e Perdas por evaporação (PV). Fortaleza-CE, 2016.

	CUC (%)	CUD (%)	CUE (%)	EI (%)	PDA (%)	EAP (%)	PV (%)
Piquete 3	67,2	66,7	47,2	56,8	43,2	77,7	22,3
Piquete 6	63,7	59,6	35,8	59,6	40,4	74,1	25,9
Piquete 11	73,8	70,8	62,7	70,8	29,2	57,5	42,5
Piquete 14	79,5	63,8	73,3	63,8	36,2	97,0	3,0

Fonte: Borges, R. C., 2016.

Referente à uniformidade de distribuição de água, constatou-se que o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e a Uniformidade de Distribuição (CUD) apresentaram valores abaixo da faixa de bom desempenho, conforme classificação mencionada na Tabela 1, nos piquetes 3, 6 e 14, com exceção do piquete 11, onde o CUD apresentou um bom desempenho.

O CUC, nos piquetes 3, 6, 11 e 14, evidenciaram, uma diferença entre o maior e o menor valor do CUC foi de 24,8% entre os quatros piquetes. Em relação ao CUD, os valores obtidos com o teste foram consideravelmente inferiores aos valores de CUC, nos quatros piquetes, representando uma elevação do menor ao maior valor do CUD de 23,8%.

De acordo com Mantovani (2001), os coeficientes obtidos na avaliação do desempenho do sistema de irrigação implantado nos piquetes avaliados apresentaram valores razoáveis e ruins, demonstrando um desempenho ruim do sistema de irrigação, conforme classificação mencionada na Tabela 1.

As lâminas coletadas durante o período de avaliação do sistema estão apresentadas na tabela 6, na qual se percebe uma grande variação entre os valores medidos, que variam de 2 mm a 19,3 mm. Os dados coletados demonstram a grande variação encontrada nas lâminas coletadas nas áreas em estudo, atestado pelos valores baixos de CUC e CUD classificados de acordo com Mantovani (2001).

Tabela 6 – Lâminas (mm) coletadas durante a avaliação do sistema de irrigação de aspersão em malha. Fortaleza-CE, 2016.

Piquete 3			Piquete 6			Piquete 11			Piquete 14			
4,8	5,4	12,1	7,4	4,2	2,6	2,6	2,1	2,0	4,8	3,6	5,2	4,3
4,0	5,0	6,2	7,0	5,8	4,0	5,6	4,2	3,8	5,2	3,4	6,4	6,6
4,2	3,8	4,8	5,4	6,2	5,1	3,7	3,6	4,8	2,4	3,6	6,3	6,0
5,7	4,8	9,0	19,3	3,1	4,8	3,6	3,2	4,4	2,1	5,2	6,1	4,8
5,2	5,8	6,4	7,2	10,4	8,0	7,9	3,4	4,1	3,8	5,0	6,0	5,5
4,0	4,0	7,7	6,2	4,6	6,7	3,6	3,0	3,8	4,2	3,4	5,5	5,2
4,4	2,2	11,7	2,8	5,0	5,6	2,0	2,4	2,4	3,0	4,0	5,0	4,8
						4,2	2,0	2,4	2,2	5,1	4,8	5,5
									2,2	5,6	6,6	6,3

Fonte: Borges, R. C., 2016.

Segundo Bernardo et al. (2006), projetos de irrigação por aspersão devem apresentar coeficientes de uniformidade da ordem de 80%, tendo como efeito uma boa distribuição espacial de água por conseguinte maior uniformidade da pastagem, o que não foi observado no sistema avaliado. Resultados semelhantes também foram encontrados por Bertossi et. al. (2013), os quais trabalhando com avaliação de sistema de irrigação por aspersão em malha instalada em uma área de pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em Alegre-ES obtiveram uma grande variação entre os valores de lâminas coletados, consequentemente baixos valores de CUC e CUD.

Paulino et al. (2009) e Martins et al. (2011) ao avaliarem o desempenho de sistemas de irrigação por aspersão convencional também conferiram baixa uniformidade de aplicação de água, atribuindo os baixos valores de CUC e CUD, assim como observado no presente estudo.

No caso do CUE, segundo intervalos definidos pela ASAE (1996) expostos na Tabela 2, os piquetes 3 e 6 apresentaram valores de grau inaceitável, 47,2% e 35,8%, respectivamente. Já os piquetes 11 e 14 mostraram um grau de aceitabilidade ruim (62,7% e 73,3%, respectivamente).

A velocidade do vento durante as realizações das avaliações do sistema de irrigação por aspersão foi relativamente moderada, podendo ter exercido efeito sobre os coeficientes de uniformidade. Durante os testes, os valores de velocidade do vento variaram de 0,87 m s<sup>-1</sup> a 2,1 m s<sup>-1</sup>. Bernardo et al. (2009) afirmam que a velocidade do vento afeta a uniformidade de distribuição dos aspersores, quanto maior a velocidade do vento menor será a uniformidade de aplicação.

Ao analisar a eficiência de irrigação (EI), constatou-se os seguintes valores 56,8%, 59,6%, 70,8% e 63,8% nos respectivos piquetes 3, 6, 11 e 14. Segundo Bernardo et al. (2006) para o sistema convencional fixo, os valores geralmente encontrados estão entre 75% a 85% para eficiência, estando, portanto, as eficiências encontradas nos quatro piquetes abaixo do

recomendado pela literatura, demonstrando um desempenho ruim do sistema de irrigação (Tabela 5), afetando diretamente o aumento do consumo de água e de energia devido a maiores perdas, aumentando assim os custos de produção (PAULINO et. al., 2009).

Os valores verificados, de perdas de água por evaporação (Pv), observados na Tabela 5, foram de 22,3%, 25,9% e 42,5% nos respectivos piquetes 3, 6 e 11, podendo ser considerados altos. Já no piquete 14 o valor encontrado foi de 3%, considerado baixo, em relação aos demais piquetes e corroborando com os autores Beskow et al. (2008a) e Beskow et al. (2008b), onde encontraram valores de perdas de água por evaporação e arraste pelo vento igual a 4,69% e valores inferiores a 10%, respectivamente.

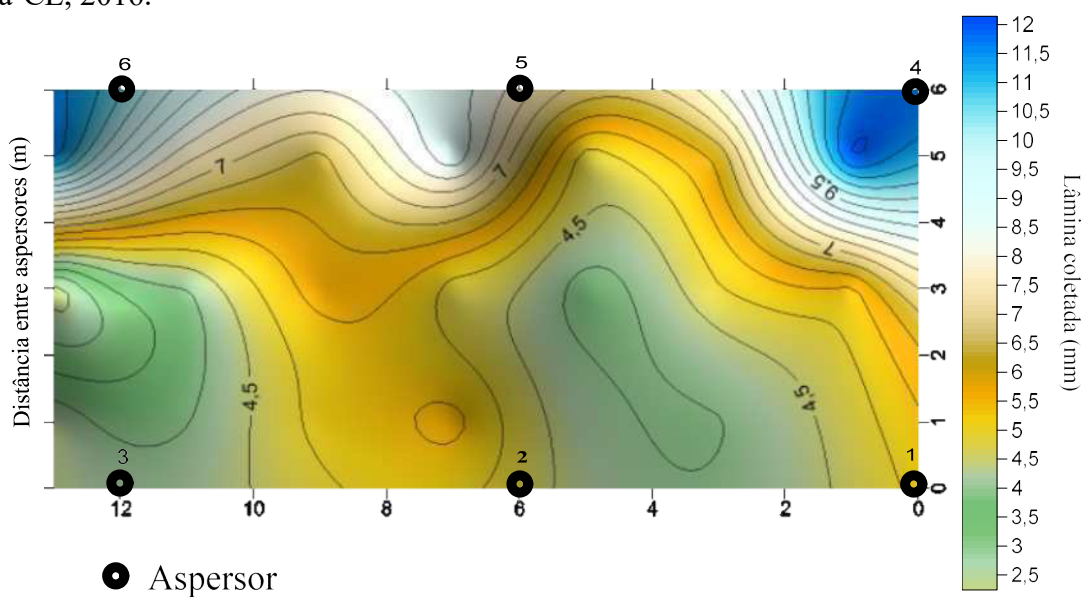
Esta menor perda por evaporação verificada no piquete 14 está correlacionada com as condições meteorológicas nos dias de realização das avaliações como se pode observar no tabela 7, em função do período em que o trabalho foi realizado, correspondendo a meia hora de funcionamento do sistema para cada piquete.

Tabela 7 - Condições meteorológicas observada nos dias de realização dos testes, Fortaleza-Ce, 2016.

Piquete	Data	Temperatura média (C°)	Velocidade do vento (m/s) a 2m de altura
3	24/11/2015	32,9	0,88
6	18/11/2015	32,0	0,87
11	02/11/2015	33,3	1,29
14	01/11/2015	31,2	2,13

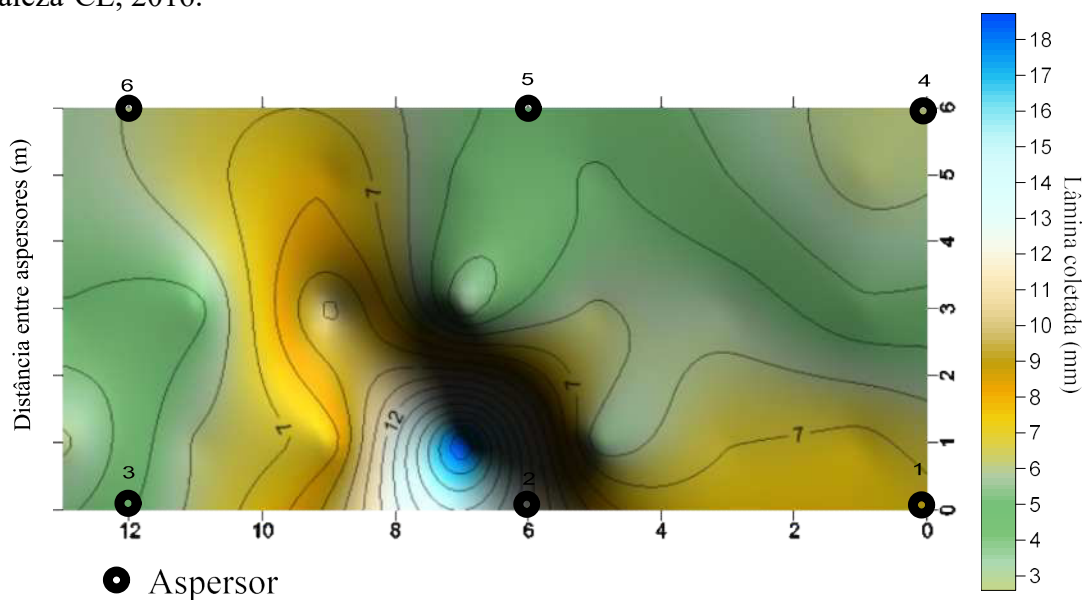
Fonte: Borges, R. C., 2016.

Figura 7 - Representação gráfica das isoietas que representam as precipitações coletadas no ensaio para a área correspondente ao piquete número 3 obtidas no software Surfer 11. Fortaleza-CE, 2016.



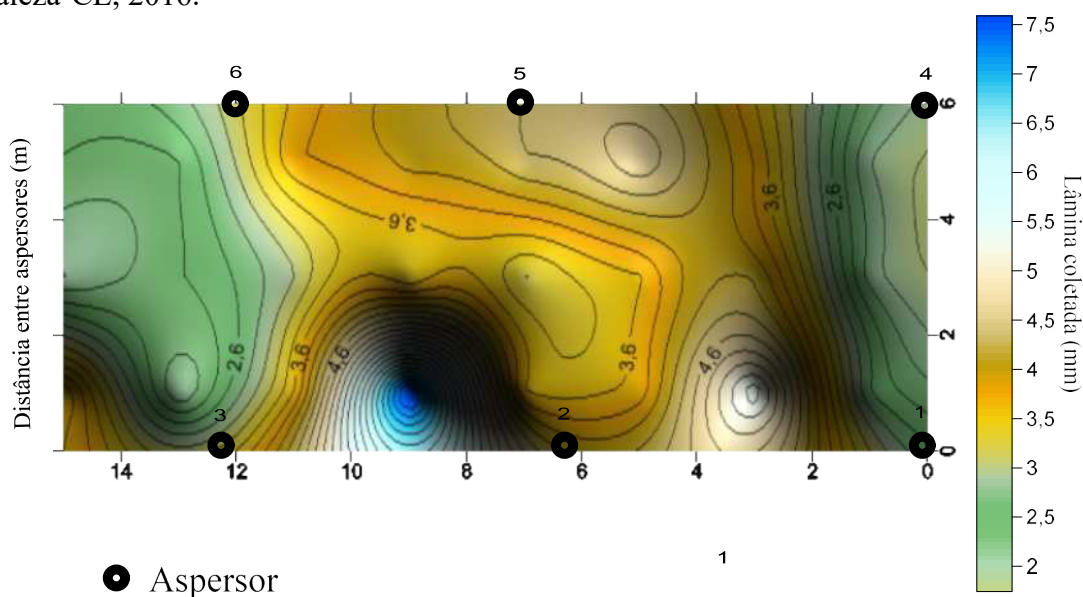
Fonte: Borges, R. C. (2016)

Figura 8 - Representação gráfica das isoietas que representam as precipitações coletadas no ensaio para a área correspondente ao piquete número 6 obtidas no software Surfer 11. Fortaleza-CE, 2016.



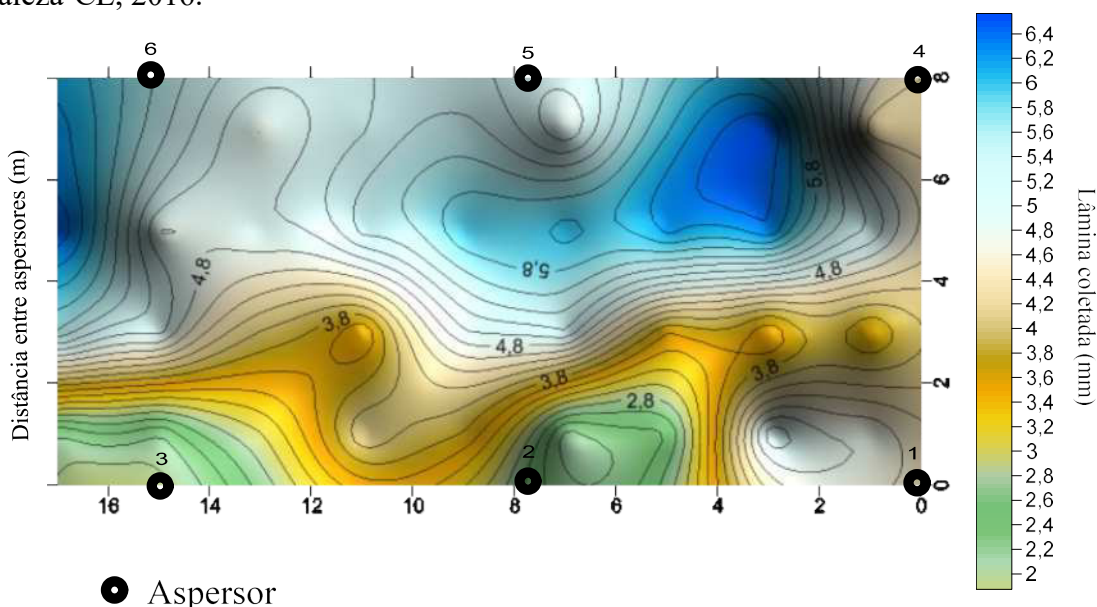
Fonte: Borges, R. C. (2016)

Figura 9 - Representação gráfica das isoietas que representam as precipitações coletadas no ensaio para a área correspondente ao piquete número 11 obtidas no software Surfer 11. Fortaleza-CE, 2016.



Fonte: Borges, R. C. (2016)

Figura 10 - Representação gráfica das isoietas que representam as precipitações coletadas no ensaio para a área correspondente ao piquete número 14 obtidas no software Surfer 11. Fortaleza-CE, 2016.



Fonte: Borges, R. C. (2016)

Nota-se, que em todos os piquetes houve uma considerável amplitude de precipitação, fato que, supostamente, pode justificar os baixos valores dos parâmetros que foram identificados na avaliação do desempenho do sistema, uma vez que durante a realização do teste constatou-se que a distribuição de água do aspersor foi visivelmente influenciada pela

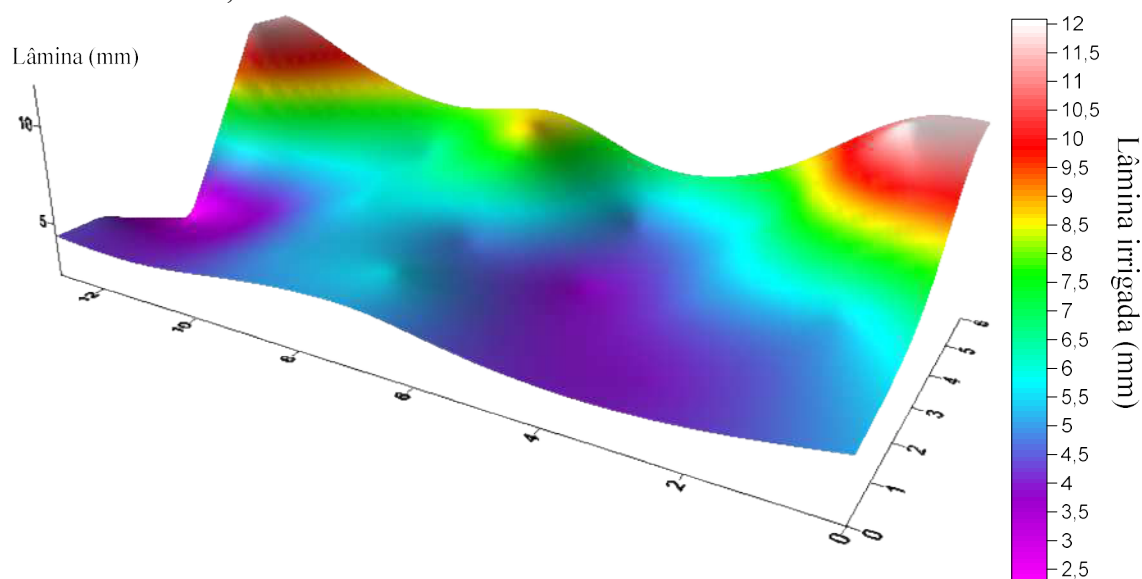
posição do defletor de ajuste do aspersor, tendo influência direta na lâmina de água aplicada e no alcance do jato de água, corroborando com as constatações de Guirra (2011).

Percebe-se nas Figuras 7, 8, 9 e 10 que há uma concentração de lâmina nos pontos próximos aos aspersores, esse fato pode ser explicado por esses aspersores serem os que apresentaram elevadas vazões quando comparados aos demais. Outro fato a considerar nessa má distribuição pode estar relacionado à pressão de serviço dos aspersores, o aumento na pressão pode ter ocasionado maior pulverização do jato d'água, o que ocasionaria consequente diminuição no raio de alcance. Bernardo et. al. (2009) relatam que uma pressão de serviço muito alta resulta em uma elevada pulverização do jato de água, diminuindo seu raio de alcance e consequentemente causando uma concentração da precipitação próxima ao aspersor, já uma pressão muito baixa implica em uma pulverização inadequada do jato de água ocasionando um perfil de distribuição muito irregular.

Para Siginer (1987) se a irrigação é realizada de maneira desuniforme existirão áreas que serão superirrigadas, que nas figuras são as áreas de coloração mais intensa, e áreas subirrigadas, evidenciadas pelas colorações mais claras, onde possivelmente a produtividade de matéria fresca e, por conseguinte, da matéria seca do capim (braquiária e tifton 85) é visivelmente diferenciada do resto do pasto.

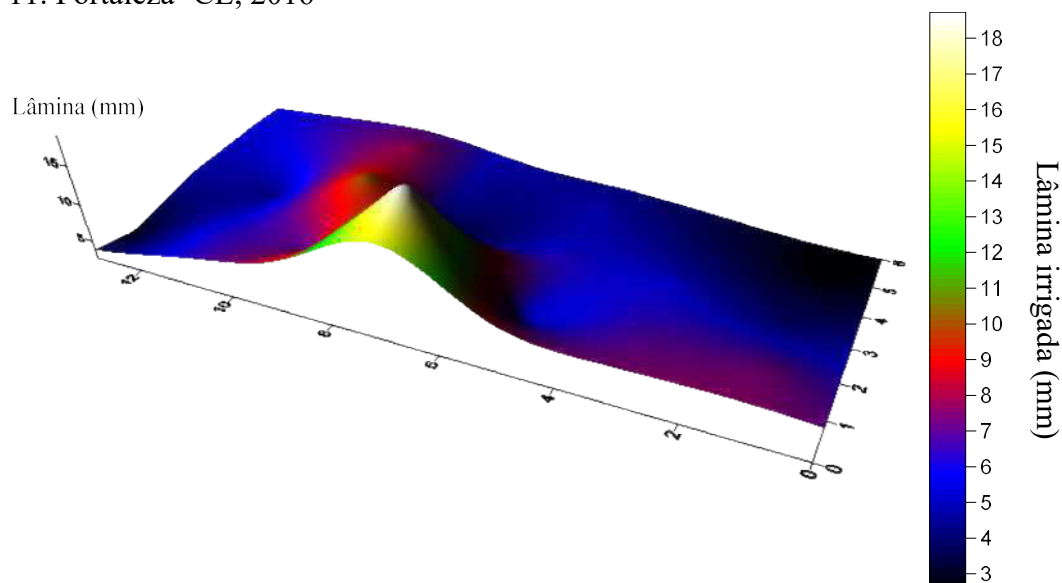
Nas Figuras 11, 12, 13 e 14 têm-se as representações gráficas do perfil tridimensional de aplicação de água dos aspersores instalados nas áreas correspondente aos piquetes 3, 6, 11 e 14 obtidas no software Surfer 11.

Figura 11 – Representação gráfica do perfil tridimensional de aplicação de água dos aspersores instalados na área correspondente ao piquete número 3 obtidas no software Surfer 11. Fortaleza-CE, 2016.



Fonte: Borges, R. C. (2016)

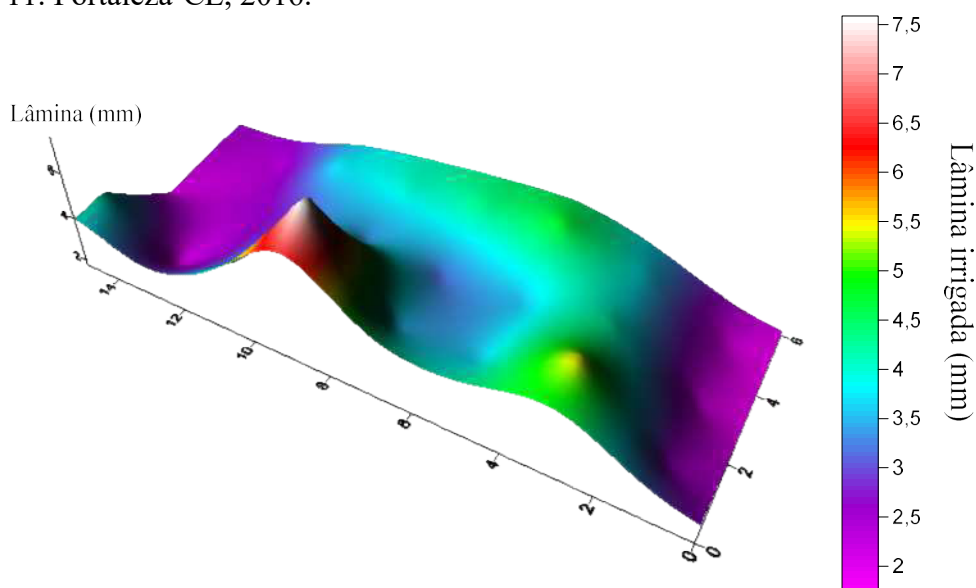
Figura 12 – Representação gráfica do perfil tridimensional de aplicação de água dos aspersores instalados na área correspondente ao piquete número 6 obtidas no software Surfer 11. Fortaleza- CE, 2016



Fonte: Borges, R. C. (2016)

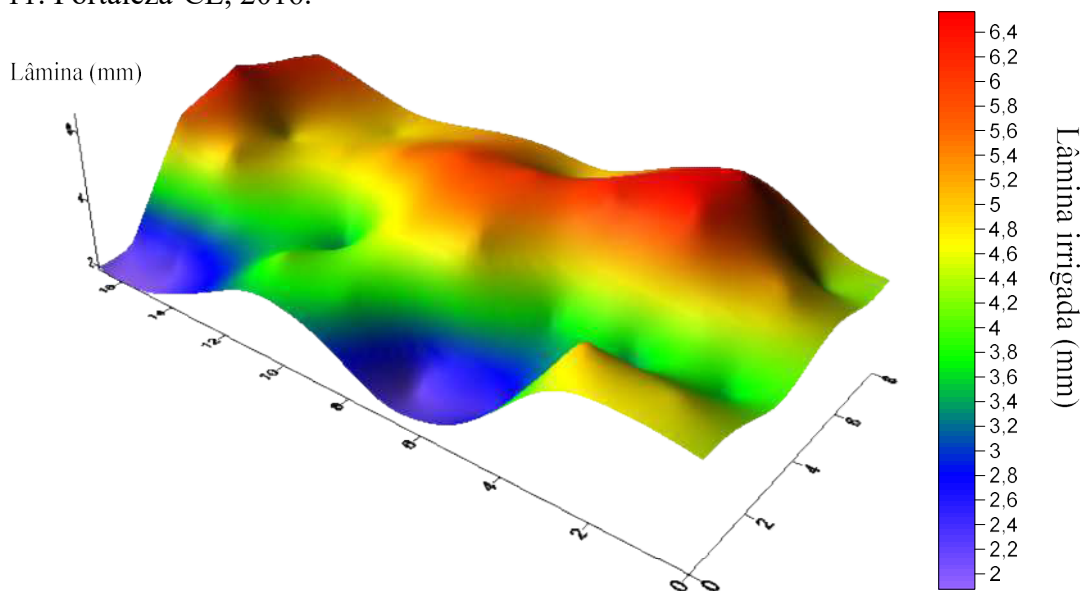


Figura 13 – Representação gráfica do perfil tridimensional de aplicação de água dos aspersores instalados na área correspondente ao piquete número 11 obtidas no software Surfer 11. Fortaleza-CE, 2016.



Fonte: Borges, R. C. (2016)

Figura 14 – Representação gráfica do perfil tridimensional de aplicação de água dos aspersores instalados na área correspondente ao piquete número 14 obtidas no software Surfer 11. Fortaleza-CE, 2016.



Fonte: Borges, R. C. (2016)

A baixa eficiência da irrigação por aspersão em condições de campo vem sendo costumeiramente publicada na literatura, bem como os presentes resultados, se relacionam diretamente com a relevante desuniformidade de distribuição de água, conforme demonstrado nas Figuras.

Provavelmente, as diferenças constatadas entre picos de déficit e excesso de água destacados nos perfis tridimensionais de aplicação de água podem estar relacionadas à ação dos ventos durante o tempo de realização do teste. Confirmando com tais pressupostos, Bernardo et. al. (2009) relatam que esta baixa eficiência além de ser decorrente da uniformidade de distribuição da água, se relaciona também com as perdas de água por evaporação e por arraste pelo vento, sendo estas perdas afetadas, principalmente, pela velocidade do vento, umidade relativa e temperatura do ar.

Referente a este aspecto, Christiansen (1942) descreve que o efeito do vento pode alterar o modelo de distribuição de água pelos aspersores, resultando assim, numa elevada concentração de água nas imediações do aspersor, especialmente na direção normal a do vento, portanto ocasiona uma deficiência no local oposto ao sentido do vento.

## 5. CONCLUSÃO

O projeto de irrigação avaliado em campo apresentou uma uniformidade ruim de aplicação de água. A distribuição da água de irrigação nas áreas dos piquetes em estudo está prejudicada, uma vez que sua eficiência de irrigação e todos os coeficientes de uniformidade avaliados apresentaram valores abaixo do recomendado pela literatura. Desta forma, em virtude dessa má distribuição, o desempenho do sistema de irrigação por aspersão em malha avaliado encontra-se inadequado para o tipo de sistema.

## 6. REFERENCIAS

ANDRADE, C. L. Seleção do Sistema de Irrigação. **Circular Técnica**, n.14. Minas Gerais: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2001. Disponível em:<<http://docsagencia.cnptia.embrapa.br/milho/circul14.pdf>>. Acesso em 04/01/2016.

ANDRADE, C. L. T; BRITO, R. A. L. Cultivo do Milho: Irrigação. **Circular Técnica**, n.86. Sete Lagoas, MG. EMBRAPA Milho e Sorgo. Dezembro de 2006. Disponível em: <[http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2006/circular/Circ\\_86.pdf](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2006/circular/Circ_86.pdf)> Acesso em 12/12/2015.

ASAE – AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Field Evaluation of Microirrigation Systems**. St. Joseph. 1996.

ALENCAR, C. A. B.et al. Irrigação de pastagem: atualidade e recomendações para uso e manejo. **R. Bras. Zootec.**, Viçosa, v. 38, 2009

AZEVEDO, H. J.; BERNARDO, S.; RAMOS, M. M.; SEDIYAMA, G. C.; CECON, P. R. Influência de fatores climáticos e operacionais sobre a uniformidade de distribuição de água, em um sistema de irrigação por aspersão de alta pressão . **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.2, p.152-158, 2000.

BARRETO FILHO, A. de A.; DANTAS NETO, J.; MATOS, J. A. de; GOMES, E. M.; Desempenho de um sistema de irrigação por microaspersão, instalado a nível de campo **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p.309-314, 2000.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. 2º Reimpressão. Viçosa: UFV, 2009. 596 p.

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

BERTOSSI, A. P.; MILEN, L. C.; HOTT, M. O.; RODRIGUES, R. R.; REIS, E. F. AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO EM MALHA EM PASTAGEM. **Nucleus**, v.10, n.1, abr. 2013.

BESKOW, S.; COLOMBO, A.; PEREIRA, G. M.; TAVEIRA, J. H. S.; RICARDO, C. M. Perdas de água por evaporação e arraste na irrigação por aspersão nas condições climáticas de Lavras-MG, utilizando aspersores de tamanho médio. **Revista Irriga**, Botucatu, v.13, n. 1, p. 113-127, 2008a.

BESKOW, S.; COLOMBO, A.; RIBEIRO, M. S.; FERREIRA, L. S.; ROSSI, R. Simulação das perdas de água por evaporação e arraste, no aspersor NY-7 (4,6mm x 4,0mm), em sistemas de aspersão convencional. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n.3, p. 427-437, 2008b.

BILIBIO, C. *et al.* Desenvolvimento vegetativo e produtivo da berinjela submetida a diferentes tensões de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 07, p. 730-735, 2010.

CARDOSO, G. C. Alguns fatores práticos da irrigação de pastagens. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 2., 2001, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. p. 243-260.

CARVALHO, I. R.; PELISSARI, G.; HANUS, A. D. e ROSA, G. M. Demanda hídrica das culturas de interesse agrônômico. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.17; p. 2013.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: California Agricultural Station. 1942. 124p. Bulletin, 670.

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

DRUMOND, L. C. D. **Aplicação de água residuária de suinocultura por aspersão em malha: desempenho hidráulico e produção de matéria seca de Tifton 85**. 2003, 102f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

DRUMOND, L. C. D. Irrigação de pastagens. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 2008, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2008. p. 307-320.

DRUMOND, L. C. D.; AGUIAR, A. P. A. **Irrigação de pastagem**. Uberaba: L. C. D. DRUMOND, 2005. 210p.

DRUMOND, L. C. D.; FERNANDES, A. L. T. **Irrigação por aspersão em malha para cafeicultura familiar**. Uberaba: UNIUBE, 2004. 88p.

DRUMOND, L. C. D. Irrigação de pastagens. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 2008, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2008. p. 307-320.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de Solos**. 2ª Edição - EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro 2006. 306p.

EUCLIDES, V.P.B.; VALLE, C.B.; MACEDO, M.C.M.; ALMEIDA, R.G.; MONTAGNER, D.B.; BARBOSA, R.A . “Brazilian scientific progress in pasture research during the first decade of XXI cen - tury”, *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, p. 151 - 168, 2010.

FARIA, L. C.; COLOMBO, A.; OLIVEIRA, H. F. E.; PRAD O, G. do. Simulação da uniformidade da irrigação de sistemas convencionais de aspersão operando sob diferentes condições de vento. **Eng. Agric.**, Jaboticabal, v.29, n.1, p.19-27, jan./mar. 2009.

GARCIA, F. C. de H.; BEZERRA, F. M. L; FREITAS, C. A. S. de. Níveis de irrigação no comportamento produtivo do mamoeiro Formosa na Chapada do Apodi, CE. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 02, p. 136-141, 2007.

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

GUIRRA, A. P. P. M. **DESEMPENHO DO ASPERSOR NAANDANJAIN 435 EM FUNÇÃO DA POSIÇÃO DO DEFLETOR**. 2011. 67f. Dissertação (Mestre em Agronomia -Ciência do Solo). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Campus de Jaboticabal, Jaboticabal, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA – IBGE. Capturado em 23 dez. 2015. Online. Disponível em: [http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/lista\\_tema.aspx?op=0&no=1](http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/lista_tema.aspx?op=0&no=1)

KING, B.A.; TARKALSON, D.D.; BJORNEBERG, D.L.; TABERNA, J.P. Planting System Effect on Yield Response of Russet Norkotah to Irrigation and Nitrogen under High Intensity Sprinkler Irrigation. **American Journal of Potato Research** , v. 88, n. 2, p. 121-134, 2011.

LUNA, N. R. S.; ANDRADE, E. M.; CRISÓSTOMO, L. A.; MEIRELES, A. C. M.; AQUINO, D. N. Dinâmica do nitrato e cloreto no solo e a qualidade das águas subterrâneas do distrito de irrigação Baixo Acaraú, CE. **Revista Agro@ambiente On-line** , v.7, n.1, p. 3-62, 2013.

MANTOVANI, E. C. **AVÁLIA**: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada. Viçosa, MG: UFV, 2001.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: Princípios e Métodos**. 2ª Ed., Viçosa: Ed. UFV, 2007, 358p.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação, princípios e métodos**. 3.ed. atual. ampl. Viçosa: UFV. 2009. 355p.

MARQUELLI, W. A. Escolhas de aspersores e manejo de sistemas convencionais sob condições de vento. **ITEM**, Brasília, n.39, p.19-21, 1989.

MARTINS, C. A. S.et al. Desempenho de sistemas de irrigação por aspersão convencional na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Idesia**, v. 29, v. 3. p. 65-74, 2011.

MENDONÇA, J.C.; SOUSA, E.F.; BERNARDO, S.; SUGAWARA, M. T.; PEÇANHA, A.L.; GOTTARDO, R.D. Determinação do coeficiente cultural (Kc) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), em Campos dos Goytacazes - RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.5, p.471-475, 2007.

PAULINO, M. A. O.et al. Avaliação da uniformidade e eficiência de aplicação de água em sistemas de irrigação por aspersão convencional. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.3, n.2, p.48-54, 2009.

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

RIBEIRO, J. M. **Avaliação do sistema de irrigação por aspersão através do modelo linear**. Fortaleza, UFC. 1982. 89 p. (Dissertação de Mestrado).

SIGINER, I. Spatial water distribution in sprinkler irrigation. **In: Hillel, D. ed. Advances in Irrigation. Academic Press.** 4: 119 – 165. 1987.

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