



## Caracterização hidráulica de emissores e testes de uniformidade de distribuição do sistema de irrigação por mini aspersão

Marcos Alexandre Dantas Marques<sup>1</sup>, Luís Fernando de Souza Magno Campeche<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Juazeiro, BA, 48902-300, e-mail: m.alexandredm@hotmail.com

<sup>2</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sertão Pernambucano – IF Sertão-PE, Petrolina, PE, 56300-000, fone: (87) 2101-8050, e-mail: lfsmcamp@gmail.com

**RESUMO:** O presente trabalho teve como objetivo avaliar hidráulicamente o emissor da marca Agropolo e a Uniformidade de Distribuição de um sistema de irrigação modificado de aspersão convencional para mini aspersão, em uma propriedade agrícola, localizada no perímetro irrigado Apolônio Sales, Petrolândia, PE. O experimento foi dividido em duas etapas: a primeira foi realizada na propriedade agrícola, para determinar a uniformidade de distribuição, e a segunda etapa do experimento, foi realizada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Sertão Pernambucano, Campus Petrolina Zona Rural onde se avaliou a uniformidade de aplicação, para as pressões 100, 150, 200, 250, 300 e 350 kPa, utilizando os dados no ‘software’ Catch 3d para simulações em diferentes espaçamentos. A uniformidade de distribuição foi classificada como excelente, mantendo-se na faixa acima de, no mínimo, 93,22 %. De acordo com o software, as maiores uniformidades (coeficiente de uniformidade de Christiansen – CUC; e o coeficiente de uniformidade de distribuição – CUD) foram encontradas para o espaçamento de 6,00 m x 6,00 m até 10,50 m x 11,00 m.

**Palavras-chave:** sobreposição de lâminas, curva característica de emissor, *Cocos nucifera* L.

## Hydraulic characterization of emitters and tests of distribution uniformity of the irrigation system by mini sprinklers

**ABSTRACT:** This study aimed to evaluate the issuer hydraulically brand Agropolo and uniformity of an irrigation system sprinkler conventional modified for a mini sprinkler on a farm, located in the Irrigation Apollonius Sales Petrolândia, PE. The experiment was divided into two stages: the first was held on the field, to determine the uniformity of distribution, and the second stage of the experiment was conducted at the Federal Institute of Education, Science and Technology - Hinterland Pernambuco, Petrolina Campus Zone Rural for assessment of uniformity of application, the pressures to 100, 150, 200, 250, 300 and 350 kPa, using the data in the software Catch 3D simulations for different spacings. The distribution uniformity was rated as excellent, keeping the range up to at least 93.22 %. According to the software, the uniformity (uniformity coefficient of Christiansen - CUC, and the coefficient of uniformity of distribution – CUD) were found for the spacing of 6.00 m x 6.00 m to 10.50 m x 11.00 m.

**Key words:** overlapping of sprinkler application patterns, emitter characteristic curve, *Cocos nucifera* L.

## Introdução

**A**gricultura iniciou-se como uma forma de produzir os vegetais para a sobrevivência humana. Para que isso ocorresse, o homem utilizou técnicas que se adaptassem às suas necessidades. Nesse caso, a irrigação surgiu como um meio de suprir as necessidades hídricas das plantas.

A irrigação era vista como uma técnica que visava basicamente a luta contra a seca. Em uma visão mais atual, dentro do foco empresarial do agronegócio, a irrigação é uma estratégia para elevar a rentabilidade da propriedade agrícola por meio do aumento da produção e da produtividade, de forma sustentável (preservando o meio ambiente) e com maior geração de emprego e renda, com enfoque nas cadeias produtivas (BERNARDO et al., 2006).

No entanto, de acordo com Brito (2008), muitas vezes a má utilização da técnica de irrigação, com baixa eficiência dos sistemas e, ou, do uso de água, provoca a falsa impressão de escassez, em razão dos desperdícios frequentes. Esse problema é habitual na maioria dos perímetros irrigados públicos, sendo às vezes visível pela observação de volumes excessivos de drenagem em consequência dos excessos na aplicação. A disponibilidade da água no âmbito da parcela a ser irrigada, além dos aspectos quantitativos e qualitativos, ainda está condicionada a fatores externos, como custo de energia, implicações ambientais, legislação, que afetam diretamente a exequibilidade do projeto.

Porém, a tecnologia na irrigação está em constante evolução, apresentando novos equipamentos, métodos e sistemas, para adaptação em localidades e regiões distintas. Ao longo dessa evolução, alguns dos desafios a alcançar é o manejo adequado da irrigação.

O objetivo da irrigação por aspersão, segundo Christiansen (1942), é distribuir a água no solo na forma de chuva de baixa intensidade de tal forma que possa ser absorvida sem

escoamento superficial. De acordo com Stone et al. (2001), preferencialmente, a água deve ser distribuída de forma uniforme sobre a área.

De acordo com Brito (2008), é comum dividir a trajetória da água, desde a fonte até a zona radicular, em três partes: condução, distribuição e aplicação. Daí a existência dos termos: eficiência de condução, de distribuição e de aplicação. Condução está associada com a trajetória da água desde a fonte até sua entrada na área a ser irrigada. A distribuição refere-se, como indica o termo, à distribuição da água dentro do projeto. E, finalmente, a aplicação consiste no uso da água dentro das unidades, ou parcelas irrigadas, isto é, a aplicação da água no solo propriamente dita.

A uniformidade de distribuição consiste na diferença de variação de aplicação da água em toda a parcela, ou seja, depende da variação de vazão e pressão de serviço em toda a parcela irrigada. Segundo Bastos et al. (2009), se a uniformidade da irrigação é baixa significa que algumas áreas recebem menos água e outras mais água que a quantidade necessária, causando prejuízos para o desenvolvimento normal das plantas e acarretando encharcamentos, erosão, perdas de água por percolação e lavagem de nutrientes. De acordo com Mantovani et al. (2009), apesar de o controle da pressão ser uma tarefa simples, a falta de conscientização sobre a sua importância faz que a maioria dos sistemas tenha deficiência ou total falta de infraestrutura para medidas, ajustes e controle da pressão.

Como a maioria dos aspersores aplica água sobre uma área circular, será necessária certa superposição de áreas molhadas para se obter razoável uniformidade. Para manter a mesma uniformidade sobre toda a área a ser irrigada, é preciso que o posicionamento e o espaçamento entre os aspersores sejam constantes (BERNARDO et al., 2006).

A descarga do aspersor vai depender do diâmetro e da pressão no bocal. Para se obter um bom perfil de distribuição, os aspersores devem funcionar dentro dos limites de pressão especificados pelo fabricante. Pressão muito alta causará excessiva pulverização do jato de

água, diminuindo seu raio de alcance e causando precipitação excessiva próxima ao aspersor. Pressão muito baixa resultará numa inadequada pulverização do jato de água, o que causará um perfil de distribuição muito irregular. O raio de alcance do aspersor amplia-se com o aumento da pressão até determinado ponto. Pressões acima e abaixo desses valores causarão decréscimo do raio de alcance (BERNARDO et al., 2006).

Segundo Rezende et al. (1998), vários coeficientes de uniformidade têm caracterizado a distribuição da água em sistemas de irrigação por aspersão. Christiansen (1942) foi o primeiro pesquisador a estudar a uniformidade de distribuição em aspersão, quantificando-a através de um índice estatístico; denominado coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) este índice faz uso do desvio médio absoluto, para expressar a dispersão das lâminas e pode ser obtido pela eq. 1:

$$CUC = \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^N |L_i - L_m|}{N L_m} \right) 100 \quad (\text{eq. 1})$$

Em que:

CUC – coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

N – número de coletores;

$L_i$  – lâmina coletada no ponto “i”, mm; e

$L_m$  – lâmina média de todas as observações, mm.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1985) recomenda, no seu projeto de norma 12:02.08-005, a análise da distribuição de água por meio da uniformidade

na porção da área irrigada, que recebe menos água. O coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) é definido como a medida da distribuição da água que relaciona a quarta parte da área irrigada total, que recebe menos água, com a lâmina média aplicada. Caso toda a área receba no mínimo a lâmina real necessária, um baixo valor de CUD indica excessiva perda por percolação. Esse coeficiente pode ser obtido por meio da eq. 2 (REZENDE et al., 1998):

$$CUD = \frac{X_{25}}{\bar{X}} \times 100 \quad (\text{eq. 2})$$

Em que:

CUD – coeficiente de uniformidade de distribuição, em %;

$X_{25}$  – média de 25% do total de pluviômetros, com as menores lâminas, em mm;

$\bar{X}$  – média das precipitações, considerando todos os coletores, em mm.

O conhecimento do desempenho do equipamento, principalmente em relação a uniformidade de distribuição de água e lâmina de água aplicada, é imprescindível para se tomar medidas que permitam economizar água e energia. Quando se aplica somente lâmina de irrigação necessária numa área (sendo que esta lâmina corresponde à lâmina média), devido à falta de uniformidade, uma fração dessa área é

irrigada com excesso, enquanto que em outra fração ocorre déficit de água. Na fração com excesso, uma parte fica armazenada na zona das raízes para uso das plantas e a outra é perdida por percolação profunda, transportando também parte dos nutrientes daquela camada. Na fração com déficit, toda água infiltrada é considerada armazenada na zona radicular, porém, em quantidade inferior às necessidades hídricas das plantas. Por outro lado, se a lâmina média de irrigação aplicada for maior que a necessária, pode-se até eliminar a fração com déficit em irrigação, porém o custo da irrigação sobe, podendo até se tornar inviável economicamente, além de agravar a lixiviação dos nutrientes (ZOCOLER et al., 2004; LIMA, 2009).

Segundo Frizzzone (1992), em irrigação por aspersão, altos índices de uniformidades, em geral, estão relacionados com menores espaçamentos entre aspersores. Isto pode elevar o custo do sistema de irrigação. Para culturas de alto valor econômico, especialmente aquelas de sistema radicular pouco profundo, o mais econômico sistema de irrigação geralmente é aquele que proporciona alta uniformidade de distribuição de água (CUD superior a 80% ou CUC superior a 88%).

Para culturas com sistema radicular profundo, como frutíferas, especialmente onde a irrigação é suplementar, os valores de uniformidade de distribuição podem ser menores (CUD de 50 a 70% ou CUC de 70 a 82%). Para culturas com profundidade média do sistema radicular, recomendam-se valores entre 70% a 80% para CUD e 82% a 88% para CUC (FRIZZONE, 1992).

Bralts (1986) apresentou os seguintes critérios para classificação dos valores de CUD e uniformidade de emissão absoluta (CUa):

90% ou maior – excelente; 80% a 90% – bom; 70% a 80% – regular; e menor que 70% – ruim.

O software Catch 3D, desenvolvido por Allen (2004), simula gráficos de uniformidade de aplicação em diversas situações de sistemas de irrigação por aspersão, determinando, também, o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e o CUD. De acordo com Kara et al. (2008), o CU utilizado pelo software Catch 3D é o desenvolvido por Christiansen – CUC.

Segundo Paes (1985), as características hidráulicas de emissores de irrigação localizada constituem-se na uniformidade de fabricação, na relação vazão versus pressão, na grandeza e na distribuição d'água ao longo de seu raio.

Keller & Karmeli (1975), Von Betmuth & Solomon (1986) e Abreu et al. (1987), sugerem a função potencial como a equação que descreve as características de vazão versus pressão do emissor, cuja vazão se relaciona diretamente com a carga hidráulica atuante na entrada do emissor:

$$q = K h^x \quad (\text{eq. 3})$$

Em que:

q – vazão (L h<sup>-1</sup>);

K – constante de proporcionalidade, adimensional;

h – pressão de serviço (kPa);

x – expoente que reflete o tipo de fluxo no emissor.

A constante k inclui, no seu valor, os fatores relacionados à fabricação do emissor como, por exemplo, a área da seção transversal dos emissores do tipo orifício. Portanto, quando se consideram as variações de vazão do emissor devido à fabricação, deve-se referir sempre ao valor de k. Em contrapartida, o expoente x descreve como a vazão varia com a pressão e seu valor, geralmente, está compreendido entre 0 e 1 (BRALTS et al., 1981). De acordo com Keller & Karmeli (1975), o expoente “x” que caracteriza o regime de escoamento do emissor, sendo classificado de acordo com o seguinte critério:

- 0 < x ≤ 0,5: o regime de escoamento varia de turbulento a francamente turbulento e sua vazão sofre menor influência da variação da pressão;

- 0,5 < x < 1,0: o regime de escoamento varia de instável a laminar, verificando-se maior influência das variações de pressões sobre a vazão.

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.) é uma palmeira perene originária do Sudeste Asiático e foi introduzida no Brasil em 1553 pelos portugueses. A planta é considerada uma das árvores mais importantes do mundo, devido ser uma atividade que gera emprego e renda em vários países do globo, onde seus frutos podem ser consumidos in natura ou industrializados na forma de mais de 100 produtos e subprodutos (COSTA et al., 2005). Por ser uma planta que requer grande quantidade de água para seu bom desenvolvimento, a irrigação tem se constituído numa prática indispensável na maioria das áreas produtoras de coco onde há escassez ou má distribuição de chuvas (PEIXOTO et al.,

2005). A precipitação ideal para o desenvolvimento e produção da cultura, está entre 1500 a 1600 mm bem distribuídos durante o ano todo, com uma média de  $130 \text{ mm mês}^{-1}$ . Para precipitações inferiores a  $50 \text{ mm mês}^{-1}$ , durante três meses, recomenda-se o uso de irrigação, pois, o déficit hídrico é extremamente prejudicial à cultura, causando queda de frutos. Por outro lado, chuvas excessivas podem causar redução na incidência de luz, na polinização e na aeração do solo, podendo ainda provocar lixiviação de nutrientes (COSTA et al., 2005).

Em Petrolândia, cidade localizada no interior do estado de Pernambuco, NE, alguns produtores utilizam o sistema de irrigação por aspersão convencional fixo; estes estão optando por modificar parcialmente, ou totalmente, seus sistemas de irrigação. Uma prática utilizada é a mudança do sistema de irrigação por aspersão convencional fixo, por sistema classificado como mini aspersão. Porém, essa mudança ocorreu de forma que o espaçamento utilizado ainda é o mesmo do sistema anterior, nesse caso, uma porcentagem da área não está sendo irrigada, já que ocorreu uma redução do raio de alcance dos emissores. O termo mini aspersão é empregado comercialmente tanto para sistemas de micro aspersão como para irrigações convencionais de baixa vazão. Para fins didáticos, este trabalho utilizou tal termo para designar o sistema empregado no presente experimento, já que a fazenda agrícola adotou emissores do tipo micro aspersor com a finalidade de irrigar toda a superfície da área, como um sistema de irrigação convencional.

Com base nessas observações, o objetivo deste trabalho foi avaliar a uniformidade de distribuição do sistema de irrigação por mini aspersão em área comercial de coqueiro e o desempenho hidráulico do emissor da marca Agropolo.

## Material e métodos

O experimento foi dividido em duas etapas: a primeira em campo para avaliar a variação de vazão e pressão ao longo da linha

lateral (determinação da equação característica, vazão-pressão); e a segunda em laboratório, para verificação da uniformidade de distribuição de água pelos emissores por uso de software.

## Experimento em campo

O experimento em campo foi realizado em uma propriedade agrícola, localizada no Perímetro Irrigado Apolônio Sales, Petrolândia (Lat.:  $8^{\circ} 58' 45''$  S; Long.:  $38^{\circ} 13' 10''$  O), PE, nos dias 08 de setembro; 14 e 15 de outubro; 10 de novembro; 29 e 30 de dezembro do ano de 2010.

Em uma área de, aproximadamente,  $44000 \text{ m}^2$ , onde é trabalhada a cultura do coqueiro em espaçamento  $7,50 \times 7,50$  metros, para atividade comercial do fruto, o sistema de irrigação, com espaçamento de  $15,00 \times 15,00$  metros, foi modificado de aspersão convencional fixo para a mini aspersão. Sendo assim, cada emissor abrange uma área para disponibilizar a distribuição de água para quatro coqueiros.

Toda a área estudada é dividida em quatro parcelas de irrigação, intituladas como parcelas A, B, C e D. Na realização da coleta de dados da parcela C, ocorreu uma queda na pressão do sistema no período entre às 13 horas e 30 minutos e 16 horas e 30 minutos. O motivo da queda de pressão não foi levado em consideração já que esta, segundo o produtor, não ocorre com frequência. Como o experimento não pôde ser realizado em outra ocasião, para que não ocorresse um resultado distorcido de uniformidade de distribuição e para melhor compreensão de tais resultados, essa parcela foi subdividida em Parcela  $C_1$  e Parcela  $C_2$ ; sendo assim, toda a área irrigada foi dividida com as seguintes subáreas (parcelas): parcela A; parcela B; parcela  $C_1$ ; parcela  $C_2$ ; e parcela D.

## Manejo

No local do experimento, a realização do manejo é feita sem qualquer medição de controle de pressão, ficando todo o sistema

submetido à pressão fornecida pela estação de bombeamento do Perímetro Irrigado. Cada parcela é irrigada aleatoriamente a critério do agricultor, com acionamento de uma parcela por vez.

### Emissores

Os emissores utilizados são da marca Agropolo, comercializados como micro aspersores; diâmetro do bocal de 3,00 mm; vazão de 485 L h<sup>-1</sup> com pressão de serviço igual a 200 kPa e raio de alcance de 7,20 metros; possui asa giratória e base com encaixe tipo “rosca macho” de diâmetro de 1/2 polegada.

### Medida de vazão

Os valores de vazão dos emissores foram obtidos com os seguintes materiais: quatro mangueiras trançadas transparentes de PVC com 0,0127 m (12,7 mm) de diâmetro e 0,60 m de comprimento, aproximadamente; quatro garrafas de polipropileno puro com capacidade de armazenamento de 20 litros;

cronômetro; proveta de 1 litro; e emissores que foram modificados com a retirada das asas giratórias, sem alterar as características da saída dos bocais.

Após a verificação da pressão com um manômetro, as mangueiras foram encaixadas na saída de cada emissor modificado (em atividade), não bloqueando as saídas dos mesmos, e foram, simultaneamente, direcionadas para o interior dos garrafas por período cronometrado. As repetições de coletas de vazão foram realizadas em quatro emissores por vez, por linha lateral.

A metodologia para as coletas de vazões dos emissores foi baseada na forma proposta por Keller & Karmeli (1974), onde foram selecionadas quatro linhas laterais em funcionamento, as quais se encontravam nas seguintes posições, aproximadamente: início; a 1/3 da linha principal; a 2/3 da linha principal; e última. Após selecionar as quatro linhas laterais ao longo da principal, foram selecionados quatro pontos da linha lateral, nas seguintes disposições: primeiro emissor; emissor a 1/3 do comprimento; emissor a 2/3 do comprimento; e o último emissor (Figura 1).

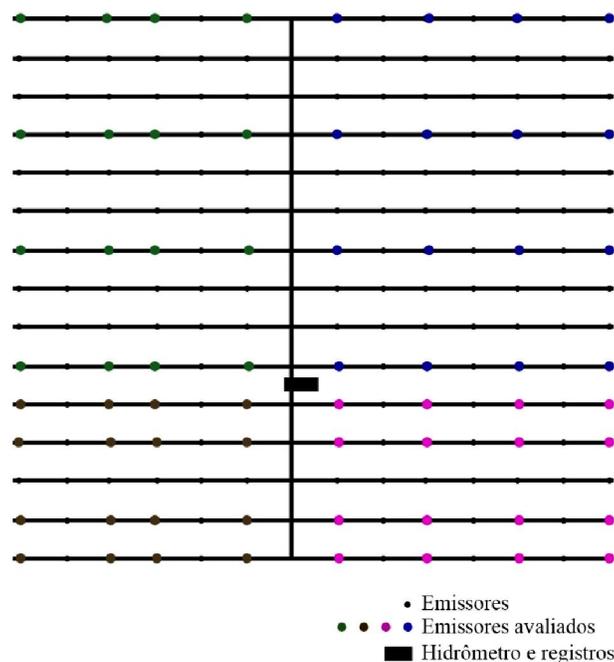


Figura 1. Croqui indicando os emissores da área, destacando os emissores avaliados.

Após cada coleta, o volume de água foi medido com uma proveta de 1 litro. Após a obtenção da média de vazão, os valores foram utilizados para se determinar a uniformidade de distribuição de cada parcela e o estudo da equação característica pressão-vazão.

### **Experimento em laboratório**

A segunda etapa do experimento foi realizada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Sertão Pernambucano (IF Sertão-PE), Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina (lat.: 9° 23' 55" S; long.: 40° 30' 03" O), PE, onde o desempenho hidráulico do micro aspersor da marca Agropolo foi avaliado.

A estrutura de subida do emissor obedeceu às características do emissor em campo, juntamente com a implantação de um registro de gaveta, para o controle da pressão e uma derivação 'T' para adaptação do manômetro. Foi utilizado o conjunto motobomba, com motor trifásico da empresa Balan, com 3450 rotações por minuto, e 2,0 cv; bomba centrífuga com rotor fechado, com elevação entre 28 e 38 metros e vazão entre 2 e 10 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. O reservatório de água utilizado foi uma caixa de amianto com capacidade para 1000 litros, localizada a, aproximadamente 2,50 metros de altura, fazendo com que o eixo do conjunto motobomba trabalhasse abaixo do nível de água do reservatório.

Os coletores, da marca Fabrimar, foram postos em forma de cruzeta, perpendicular, em volta ao emissor, em espaçamento de 0,50 metros entre coletores, ficando cada uma das quatro linhas com, no mínimo, vinte coletores. A ordem de coleta teve como referência de contagem o próprio emissor.

Tomando uma das linhas como referência (I), as localizações das posições das demais linhas ocorreram no sentido anti-horário com os seguintes graus de inclinação: 90° (II); 180° (III); e 270° (IV).

A pressão era estabilizada com a utilização do registro de gaveta, segurando a asa giratória do emissor e direcionando o jato de água no sentido intercalado das linhas, evitando assim, que houvesse resquícios de

água nos pluviômetros antes de se iniciar o ensaio. Após a estabilização da pressão é que se iniciavam as coletas, devidamente cronometradas. O experimento teve seis ensaios, onde funcionava por uma repetição de uma hora em cada ensaio, sendo utilizadas as seguintes pressões: 100; 150; 200; 250; 300; e 350 kPa, dentro da faixa recomendada pelo fabricante. Para verificação da lâmina de água, foi utilizada uma proveta confeccionada em termoplástico transparente, graduada em milímetros.

Todos os volumes coletados foram devidamente anotados e utilizados no programa Catch 3D para geração dos gráficos de intensidade de aplicação e determinação do CUC e CUD do emissor para simulação em diferentes espaçamentos.

### **Resultados e discussão**

#### **Dados do experimento em campo**

Na Tabela 1 estão apresentadas as médias aritméticas de pressão e vazão obtidas de cada parcela da área. Dentro de toda área, ocorreu variação de pressão de 160,18 a 280,66 kPa, porém não afetou a uniformidade de distribuição, já que o micro aspersor avaliado compreende a faixa de variação de 100 a 350 kPa, sendo assim, as pressões obtidas em campo obedecem aos critérios do fabricante. As vazões obedecem à curva característica do emissor, não afetando, neste caso, a uniformidade de distribuição. Com os dados, determinou-se o CUD de cada parcela. Verificou-se uma variação do CUD de 93,22 a 97,14 %. Nesse caso, segundo os critérios de Bralts (1986), todas as parcelas da área estudada estão classificadas como uniformidade excelente.

Tabela 1. Média aritmética de pressão e vazão de cada parcela irrigada, com seu respectivo CUD.

Subárea	Pressão (kPa)	Vazão (L h <sup>-1</sup> )	CUD (%)
Parcela A	280,1	575	94,02
Parcela B	282,1	587	96,82
Parcela C <sub>1</sub>	286,6	576	97,14
Parcela C <sub>2</sub>	163,3	427	97,03
Parcela D	161,8	432	93,22

De acordo com os dados de vazão e pressão obtidos no experimento em campo, foi-se ajustada uma curva exponencial característica do emissor avaliado.

A equação característica encontrada foi:

$$q = 106,118258 (H)^{0,504} \quad (\text{eq. 4})$$

Em que:

q – vazão do emissor, L h<sup>-1</sup>; e

H – pressão na entrada do emissor, em mca.

De acordo com os dados de vazão e pressão do fabricante, a equação característica encontrada foi:

$$q_{\text{fabricante}} = 105,4097983 (H)^{0,5097} \quad (\text{eq. 5})$$

O expoente da pressão de serviço (H) da equação característica do experimento foi igual a 0,504, apresentando um valor que caracteriza um regime de escoamento de turbulento a instável, segundo Keller & Karmeli (1975).

A Figura 2 representa os gráficos das curvas resultantes da equação com os dados obtidos no experimento em campo e os dados fornecidos pelo fabricante, demonstrando os valores de vazão com sua respectiva pressão. Foi observado que não houve discrepância entre as duas equações.

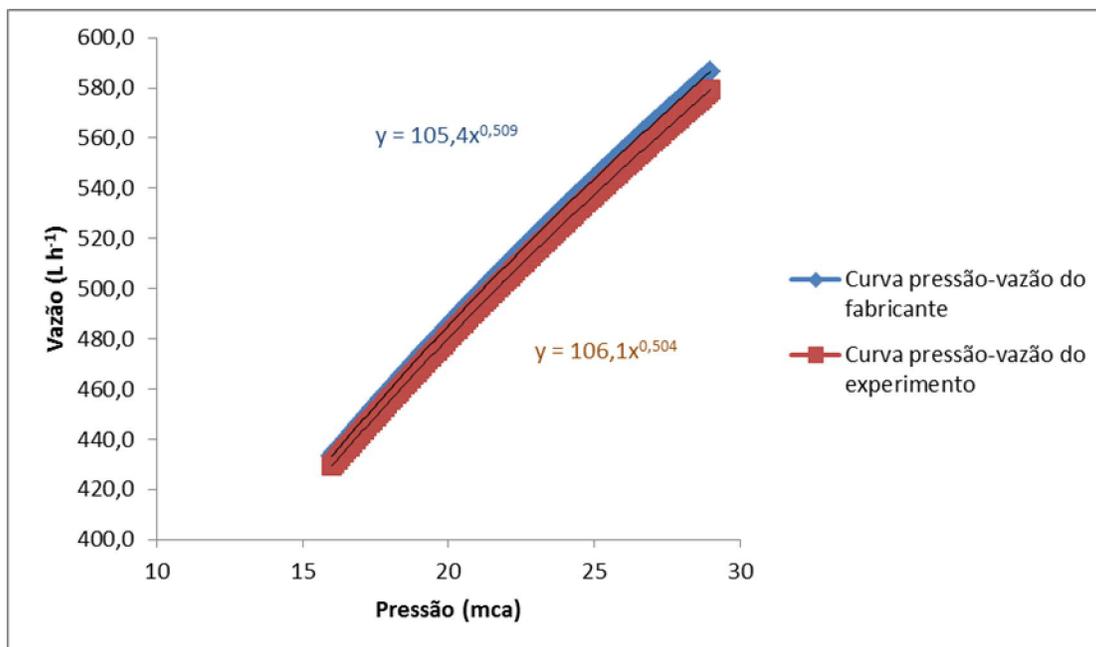


Figura 2. Representação gráfica das curvas características pressão (x) e vazão (y), de acordo com as equações formadas a partir dos dados obtidos no experimento e fornecidos pelo fabricante.

Na Tabela 2 está apresentada uma simulação de valores de vazão em relação à pressão obtidos com as equações características, onde se puderam comparar os valores de vazão apresentados pelo fabricante, de acordo com a pressão recomendada, com os

valores de vazão calculados pela equação obtida com os dados do experimento em campo, demonstrando que a faixa de pressão VS vazão recomendada para o emissor obedeceu à do fabricante.

Tabela 2. Simulação de vazão média ( $L h^{-1}$ ) relacionando as equações obtidas com os dados do experimento (eq. 4) e fornecidas pelo fabricante (eq. 5).

Subárea		Pressão (kPa)					
		100	150	200	250	300	350
Vazão ( $L h^{-1}$ )	eq. 4	339	415	480	538	589	637
	eq. 5	341	419	485	544	597	646

#### Dados do experimento em laboratório

Observando os resultados dos experimentos, constatou-se um aumento no raio de alcance de acordo com o aumento da pressão de serviço, de 100 kPa até 200 kPa. Porém, a partir de 250,0 kPa, observou-se uma

redução no raio de alcance, até a pressão de 350 kPa, como representado no gráfico da Figura 3. Essa redução no raio de alcance ocorreu devido à maior pulverização das gotas de água, ocasionando maior intensidade de aplicação próxima ao emissor, por consequência da alta pressão em relação ao diâmetro do bocal.

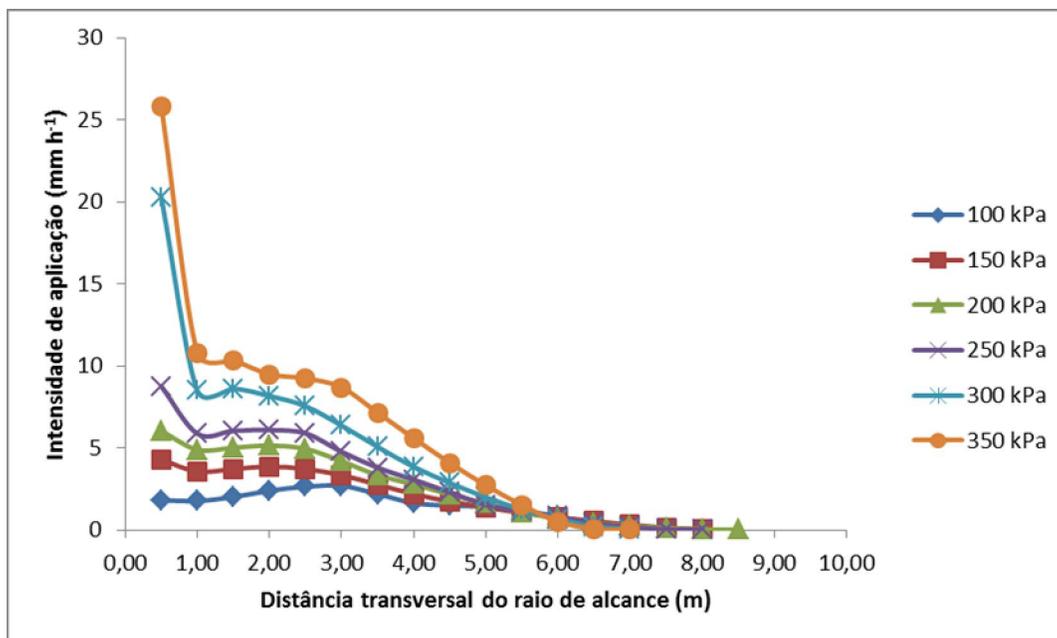


Figura 3. Representação gráfica da intensidade de aplicação versus raio de alcance, sob todas as pressões avaliadas em laboratório.

Os dados de intensidade de aplicação colhidos pelos coletores, de cada pressão de serviço, foram inseridos no programa Catch 3D, para elaboração dos gráficos de distribuição de emissão. Os gráficos gerados evidenciam a influência do aumento de pressão na intensidade de aplicação do emissor.

Nas Figuras 4a, 4b, e 4c (100, 150 e 200 kPa, respectivamente) a distribuição da lâmina

de água foi mais uniforme, não ocorrendo grandes diferenças de intensidade de aplicação; já nas Figuras 4d, 4e e 4f (250, 300 e 350 kPa, respectivamente), houve o excesso de intensidade de aplicação, próximo ao emissor, indicado pelo aumento dos picos nos centros dos gráficos.

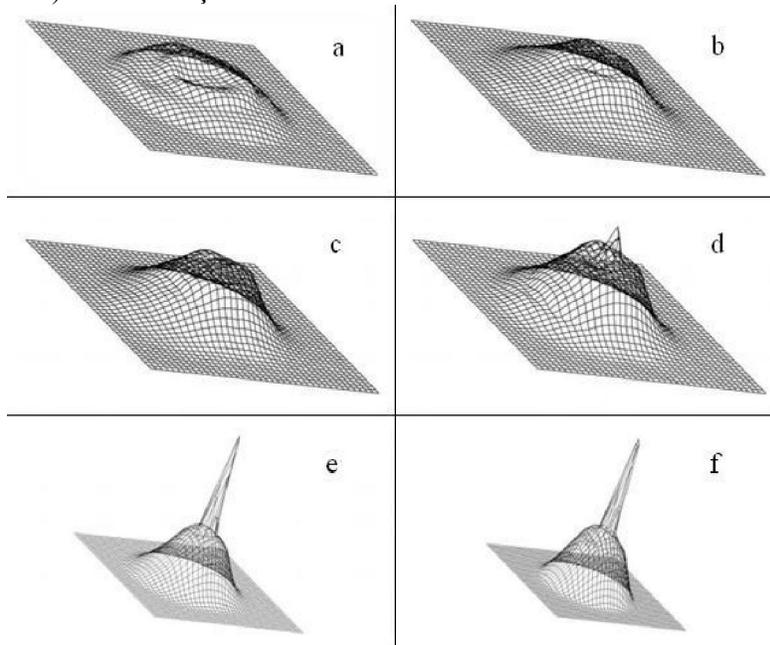


Figura 4. Simulação gráfica da uniformidade de emissão do micro aspersor. a) pressão de 100,0 kPa; b) pressão de 150,0 kPa; c) pressão de 200,0 kPa; d) pressão de 250,0 kPa; e) pressão de 300,0 kPa; e f) pressão de 350,0 kPa.

Por se tratar de um sistema de micro aspersão adaptado para se molhar toda a área, como um sistema de irrigação por aspersão, foram gerados gráficos com os espaçamentos convencionais encontrados no comércio (6,00 m x 6,00 m; 6,00 m x 12,00 m; 12,00 m x 12,00 m; 12,00 m x 18,00 m; 18,00 m x 18,00 m) e o espaçamento utilizado na propriedade agrícola (15,00 m x 15,00 m), para cada pressão de serviço avaliada. O programa Catch 3D gerou os gráficos determinando os valores de CUC e CUD para tais espaçamentos.

Em todas as pressões avaliadas, o espaçamento comercial 6,00 m x 6,00 m foi o que se obteve melhor resultado de CUC e CUD, porém, de acordo com Frizzzone (1992), o CUC acima de 70% e CUD acima de 50% ainda são aceitáveis para fruteiras, que possuem um sistema radicular profundo, nesse caso o espaçamento 6,00 x 12,00 m para uma pressão de 100 kPa ainda está dentro deste limite. No entanto, o espaçamento utilizado na propriedade agrícola, 15,00 m x 15,00 m, não é recomendado, já que se observou um CUC máximo de 15,4% e CUD de 0,1 % (Tabela 3).

Tabela 3. Simulação dos espaçamentos com seus respectivos valores de CUC e CUD para as pressões de serviço recomendadas pelo fabricante.

Pressão (kPa)	Espaçamentos (m x m)											
	6 x 6		6 x 12		12 x 12		12 x 18		18 x 18		15 x 15	
	CUC	CUD	CUC	CUD	CUC	CUD	CUC	CUD	CUC	CUD	CUC	CUD
	%											
100	87,3	79,8	73,1	54,8	57,5	30,9	17,5	0,0	0,0	0,0	15,4	0,1
150	94,3	90,9	65,5	48,3	49,8	32,5	16,8	1,0	0,0	0,0	15,2	4,4
200	94,7	91,0	57,7	36,4	41,2	23,7	8,5	0,9	0,0	0,1	6,7	3,2
250	94,7	90,9	54,9	33,3	34,6	19,8	4,1	0,3	0,0	0,1	1,4	1,3
300	92,9	89,5	48,3	25,0	24,9	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
350	90,3	86,3	47,3	20,6	23,2	5,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tomando como base a recomendação de Frizzzone (1992), que considera a faixa aceitável de CUC entre 70% e 82% e de CUD entre 50% e 70%, para fruteiras, na Tabela 4 estão apresentados os *melhores valores* de CUC e CUD, com os espaçamentos a partir de 6,00 m x 6,00 m, de acordo com a pressão de

serviço. Na Tabela 5 está apresentado o *maior espaçamento aceitável* para cada pressão de serviço dentro desta faixa. Tais valores podem ser úteis na implantação de um sistema de irrigação por aspersão com tubulação de PVC, podendo tornar o projeto mais viável economicamente.

Tabela 4. Valores de CUC e CUD para o melhor espaçamento, de acordo com o software Catch 3D.

Pressão de serviço (kPa)	Melhor espaçamento (m x m)	CUC (%)	CUD (%)
100	6,00 x 9,50	90,4	85,2
150	6,00 x 8,00	95,3	91,9
200	6,00 x 7,50	96,0	93,3
250	6,00 x 7,00	95,5	92,2
300	6,00 x 6,50	93,2	91,2
350	6,00 x 7,00	92,1	89,0

Tabela 5. Valores máximos de espaçamentos recomendados para a cultura do coqueiro, dentro da faixa de CUC e CUD para cada pressão recomendada pelo fabricante.

Pressão de serviço (kPa)	Espaçamento (m x m)	CUC (%)	CUD (%)
100,0	10,5 x 11,0	70,9	52,4
150,0	10,0 x 10,5	71,0	56,4
200,0	9,5 x 10,0	70,2	54,6
250,0	9,0 x 9,5	72,0	56,8
300,0	8,5 x 9,0	71,4	55,4
350,0	9,0 x 9,0	70,8	50,0

## Conclusão

No experimento em campo, a faixa de pressão versus vazão recomendada para o emissor obedeceu à do fabricante.

Em todas as pressões avaliadas, o espaçamento comercial 6,00 m x 6,00 m foi o mais recomendado, porém, o espaçamento 6,00 m x 12,00 m para uma pressão de 100,0 kPa também pode ser utilizado.

O espaçamento, 15,00 m x 15,00 m, utilizado na propriedade agrícola para o sistema de irrigação por aspersão avaliada, não é recomendado para a cultura do coqueiro.

Para espaçamentos não convencionais, o mínimo recomendado foi de 8,50 m x 9,00 m, para a pressão de 300,0 kPa; podendo chegar ao espaçamento máximo de 10,50 m x 11,00 m, com a pressão de 100,0 kPa.

## Agradecimentos

Ao produtor agrícola Manoel Eloi Viana;

À empresa Plantec, de Petrolândia, PE;

e

Aos estudantes dos cursos de Agropecuária do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Sertão Pernambucano, Campus Floresta, Floresta, PE.

## Referências bibliográficas

ABREU, J. M. H.; LOPEZ, J. R.; REGALADO, A. P.; HERNANDEZ, J. F. G. **El Riego localizado**. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrárias. 1987. 317p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistema de irrigação por aspersão pivô-central, caracterização de desempenho do método de ensaio; projeto de normas**. 12:02.08005. Rio de Janeiro. 1995. 22p.

ALLEN, R. G. **Catch 3d: sprinkler application uniformity and efficiency calculation software**. Version 3.50b. Biological & irrigation engineering department – Utah State University, Logan, Utah. 2004.

BASTOS, E. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SOUSA, V. F. **Manejo de Irrigação**. Águas do São Francisco. 2009. 36p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C., **Manual de irrigação**. 8 ed. Viçosa, MG: Editora UFV. 2006. 625p.

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.

- BRALTS, V. F.; WU, I. P.; GITLIN, H. M. Manufacturing variation and drip irrigation uniformity. **Transactions on the ASAE**, St. Joseph, v. 24, n. 1, p.113-119, 1981.
- BRITO, R. A. L. Avaliação do desempenho de sistemas e projetos de irrigação. In: ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo de irrigação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 403-419.
- CHRISTIANSEN, E. J. **Irrigation by sprinkler**. Berkeley: University of California, 1942. 124p. (Bulletin, 670)
- COSTA, R. S. C.; NASCENTE, A. S.; RIBEIRO, G. D.; FERREIRA, M. G. R. Cultivo do coqueiro em Rondônia. Sistemas de produção, 6. Embrapa Rondônia. ISSN – 1807-1805. Dez. 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Coco/CultivodoCoqueiroRO/index.htm>>. Acesso em 24 de março. 2011.
- FRIZZONE, J. A. **Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência**. Piracicaba, SP: ESALQ-Depto. Engenharia Rural, 1992. 53p.
- KARA, T.; EKMEKCI, E.; APAN, M. Determining the uniformity coefficient and water distribution characteristics of some sprinklers. **Pakistan Journal of Biological Science**. Samsun, Turkey: Department of Agricultural Structures and Irrigation Engineering, Faculty of Agriculture, Ondokuz Mayıs University. v.11. n.2. 2008. 214-219p.
- KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design parameters**. Transaction of the ASAE. St. Joseph, v. 17, n. 4, p.678-684, July/Aug., 1974.
- KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora: Rain Bird sprinkles manufacturing corporation. 1975, 133p.
- LIMA, A. S. **Uso de inversor de frequência em sistema de irrigação do tipo pivô central e seu efeito na lâmina e uniformidade de distribuição de água**. 2009. 104 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Botucatu, SP, 2009.
- MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa: Editora UFV. 3 ed. 2009. 355p.
- PAES, L. A. D. **Características hidráulicas dos microaspersores Dantas MA120 e Irtec e das linhas laterais em sistemas de irrigação por microaspersão**. Viçosa, 1985. 85p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – UFV, 1985.
- PEIXOTO, J. F. S.; CHAVES, L. H. G.; GUERRA, H. O. C. Uniformidade de distribuição da fertirrigação no distrito de irrigação Platô de Neopolis. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. v. 5, n. 2, ISSN 1519-5228. 2005.
- REZENDE, R.; FRIZZONE, J. A.; GONÇALVES, A. C. A.; FREITAS, P. S. L. Influência do espaçamento entre aspersores na uniformidade de distribuição de água acima e abaixo da superfície do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 2, n. 3. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB. 1998. p.257-261.
- STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M.; MOREIRA, J. A. A. Métodos de irrigação e uniformidade de aplicação de água. In: SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. **Irrigação do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2001. p.79-138.
- VON BETMUTH, R.; SOLOMON, K. H. Emitter construction. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation for crop production**. Phoenix. p.27-52, 1986.
- ZOCOLER, J. L.; CESAR, L. E. V.; VANZELA, L. S.; Efeito da linha lateral de um

equipamento de irrigação tipo pivô central na uniformidade de distribuição de água e eficiência de irrigação. In: **Engenharia na**

**Agricultura**, Viçosa, MG, v. 12, n. 4, p.290-297, Out/Dez., 2004.