



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL BAIANO *CAMPUS* GUANAMBI

MARCONE VILAS BOAS LEAL BOTELHO

DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA IRRIGAÇÃO BUBBLER
COM EMISSORES AO NÍVEL DO SOLO

GUANAMBI
BAHIA – BRASIL
2018



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL BAIANO *CAMPUS* GUANAMBI

MARCONE VILAS BOAS LEAL BOTELHO

DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA IRRIGAÇÃO BUBBLER
COM EMISSORES AO NÍVEL DO SOLO

Dissertação apresentada ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, *Campus* Guanambi, como parte das exigências do Curso de Mestrado Profissional em Produção Vegetal no Semiárido, para obtenção do título de Mestre Profissional.

GUANAMBI
BAHIA – BRASIL
2018

B748d Botelho, Marcone Vilas Boas Leal

Dimensionamento de sistema irrigação bubbler com emissores
ao nível do solo / Marcone Vilas Boas Leal Botelho -- Guanambi,
Ba.,2018.

30 p.: il.

Orientador: Eugênio Ferreira Coelho

Coorientador: Alisson Jadavi Pereira da Silva

Dissertação (Mestrado Profissional em Produção Vegetal no
Semiárido) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
Baiano - Campus Guanambi, 2018.

1. Hidráulica. 2. Irrigação localizada. 3. Eficiência. 4.
Semiárido. I. Título II. Autor.

CDU 631.67




MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL BAIANO *CAMPUS* GUANAMBI

MARCONE VILAS BOAS LEAL BOTELHO

DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA IRRIGAÇÃO BUBBLER
COM EMISSORES AO NÍVEL DO SOLO

Dissertação apresentada ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, *Campus* Guanambi, como parte das exigências do Curso de Mestrado Profissional em Produção Vegetal no Semiárido, para obtenção do título de *Mestre Profissional*.

APROVADA: 03 de abril de 2018


Prof. Dr. Francisco Adriano de C. Pereira
Membro da Banca – UFRB


Prof. Dr. Marcelo Rocha dos Santos
Membro da Banca – IF Baiano


Prof. Dr. Carlos Elízio Cotrim
Membro da Banca – IF Baiano


Prof. Dr. Eugênio Ferreira Coelho
Orientador – IF Baiano

DEDICO

A todos atores do setor agrícola e correlatos que se dedicam, com respeito a natureza e ao próximo, para uma agropecuária forte e sustentável, protagonista do desenvolvimento social.

AGRADECIMENTOS

A minha família, pelo o amor.

A meu orientador Eugênio F. Coelho, pelas contribuições fundamentais para a realização desse sonho, e sua equipe Tarcísio, Paulo, Téo e estagiários, que tornaram o trabalho mais fácil.

Ao meu tio Vivaldo e amiga Aninha que me acolheram em Guanambi e Cruz das Almas.

Aos meus colegas da turma, pela oportunidade da convivência, diversão e aprendizagem, realmente inesquecíveis.

A equipe do Mestrado Profissional, pela luta para viabilizar o programa e escolha do foco sobre o Semiárido.

A todos do IF Baiano de Guanambi que de certa forma contribuem para uma escola linda e produtiva e em evolução.

Aos meus colegas, Fifito Alexsandro, Perereca Alisson, Peixe Fábio e Marcelo Rocha que agora tenho o imenso prazer de chamar de professor.

Aos meus contemporâneos de Cruz das Almas, hoje Mestres, Doutores e Pós-doutores pelo exemplo de esforço, amor e dedicação a profissão.

Enfim, a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos, meus sinceros agradecimentos!

“Quando, por meio do melhoramento e do cultivo da terra... o trabalho de metade da sociedade se tornar suficiente para fornecer alimento para todos, a outra metade... pode ser empregada... na satisfação dos outros desejos e caprichos da humanidade”

(Adam Smith, 1723-1790)

SUMÁRIO

RESUMO.	8
ABSTRACT	9
INTRODUÇÃO	10
MATERIAL E MÉTODOS	11
RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
CONCLUSÕES	26
RECOMENDAÇÕES	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

RESUMO

BOTELHO, Marcone Vilas Boas Leal, M.Sc. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano *Campus* Guanambi, abril de 2018. **Dimensionamento de sistema irrigação bubbler com emissores ao nível do solo.** Orientador: Eugênio Ferreira Coelho. Coorientador: Alisson Jadavi Pereira da Silva.

No semiárido brasileiro, crescimento sustentável e aumento do padrão de vida da sociedade podem ser proporcionados por projetos de irrigação que busquem à obtenção da melhor função econômica, sem desconsiderar os diversos fatores, como mão de obra, solo e suprimento de água. Objetivo deste trabalho foi apresentar um modelo de dimensionamento alternativo do sistema de irrigação bubbler, de baixa pressão, de forma a tornar a tecnologia mais acessível ao usuário. Foi desenvolvido e disponibilizado uma planilha eletrônica para o dimensionamento da linha lateral e emissores, usando como base, os princípios da conservação de massa, da conservação de energia e da perda de energia por atrito. Escolhidos 10 combinações de espaçamentos entre plantas e linhas, em diferentes comprimentos de Linha Lateral, foram elaborados 22 projetos, operando com 9,8 kPa (1 mca), para realizar avaliação hidráulica, testando a eficiência do método. As uniformidades de aplicação da água foram calculadas pelos coeficientes de uniformidade de Christiansen e Uniformidade de Distribuição, e interpretados na classificação proposta por Mantovani. As uniformidades de irrigação, superiores aos limites recomendados, obtidas com baixa variabilidade entre os projetos, permitem concluir que a metodologia de dimensionamento do sistema de irrigação proposto é exequível.

Palavras-chave: bubbler adaptado, uniformidade, eficiência, semiárido

ABSTRACT

BOTELHO, Marcone Vilas Boas Leal, M.Sc. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano *Campus* Guanambi, abril de 2018. **Desing bubbler irrigation system with emisser on ground surface.** Adviser: Eugênio Ferreira Coelho. Co-adviser: Alisson Jadavi Pereira da Silva.

In the Brazilian semiarid, society's sustainable growth and increase in the standard of living may be provided by irrigation projects that seek for best economic function, without disregarding the various factors, such as labor, soil and water supply. The objective of this work was to present an alternative sizing model low-head bubbler irrigation system in order to make the technology more accessible to the user. A spreadsheet was developed and made available for sizing lateral line and delivery hoses based on the principles of mass conservation, energy conservation and friction head loss. Twenty-two projects were developed, operating at 9,8 kPa (1 mca) to perform hydraulic and efficiency evaluation based on data of 10 spacings and plant row combinations, with different lengths of lateral line. Water application uniformity was calculated by coefficients of uniformity of Christiansen and by uniformity of distribution. The uniformity was classified according to Mantovani. The irrigation uniformities were higher than recommended limits and showed low variability among projects leading to conclude that the design methodology of the proposed irrigation system is feasible.

Keywords: adapted bubbler, uniformity, efficiency, semi-arid

1. INTRODUÇÃO

Da população do Brasil, 11,8% vivem na região do Semiárido, são cerca de 22,6 milhões de pessoas, dessas 38% estão na zona rural (IBGE, 2010). Nessa região, uma parte importante da agricultura só se viabiliza mediante o uso da irrigação (BRASIL, 2017). Porém, a agricultura irrigada é usuária de cerca de 70% da água doce consumida, um dos recursos naturais que tem se tornado mais escassos do século XXI (BRASIL, 2006; FAO, 2017).

No entanto, crescimento sustentável e aumento do padrão de vida da sociedade são conquistados com ganhos de produtividade (PINHEIRO et al., 2015) que, na região do Semiárido, podem ser proporcionados pela agricultura irrigação desde de que praticada de modo eficiente. Um projeto de irrigação eficiente objetiva à obtenção da melhor função econômica, sem desconsiderar os diversos fatores do ambiente, por exemplo mão de obra, solo e suprimento de água (BERNARDO et al., 2009).

Os sistemas de irrigação localizada, se bem projetados e manejados possibilitam elevadas eficiência de irrigação e de uso da água. E dentre eles, tem-se o Bubbler, um sistema do tipo localizado de fluxo contínuo, considerado o de menor custo de equipamento e operação (ABDEL-NABY, 2016). Comparado o sistema Bubbler com a microaspersão, em 1 ha no espaçamento de 4 x 4 m entre plantas, os custos da aquisição e instalação chega a ser metade e o consumo de energia 30 vezes menor (SILVA et al, 2012). Andrade et al. (2002), obteve, no espaçamento de 8 x 8, o custo médio de aquisição de US\$ 455,00/ha.

O sistema do tipo Bubbler pode funcionar usando a energia apenas da gravidade, tubulações de parede fina e com alta uniformidade de distribuição de água (Rawlins, 1977), inclusive para aplicação de água residuais (CARMO, 2013; MEDEIROS et al., 2014). A condição de baixa pressão e baixo potencial de obstrução de seus emissores, geralmente com diâmetros a partir de 3 mm, minimizam os custos do sistema, pois permite o uso de condutos de baixa pressão nominal, e os sistemas de filtragem e de bombeamento, quando necessários, são de baixa potência (WAHEED, 1990; REYNOLDS, 1993; ANDRADE *et al.*, 2002; SOUZA *et al.*, 2005; HASHEM, 2011; SILVA, 2013). O sistema bubbler, por ser fixo requer pouca mão de obra, e por envolver vazões maiores que os outros sistemas de irrigação localizada obteve boa

aceitação por produtores em assentamentos rurais do semiárido onde foram instalados (COELHO et al., 2012).

O “layout” do sistema é bem semelhante a irrigação por microtubo. Consiste de uma linha principal, linhas de derivação, linhas laterais, geralmente entre duas fileiras de plantas, e os emissores, mangueiras conectadas às linhas laterais. No entanto, na irrigação por microtubo as mangueiras possuem diâmetro entre 0,5 e 2 mm, pequenas vazões e elevada susceptibilidade ao entupimento (PEREIRA et al., 2012; ALVES et al., 2015).

No Bubbler, as mangueiras emissoras ficam fixas em estacas de madeira, com saídas em diferentes alturas, determinadas no dimensionamento, usando como base os princípios da conservação de energia e da perda de energia por atrito. Porém, no dia a dia, as estacas acabam sendo derrubadas, tirando os emissores da altura determinada, desregulando o sistema, diminuindo a uniformidade da irrigação (COELHO et al., 2012). A necessidade de determinar as alturas dos emissores e de recolocar as saídas dos microtubos nas alturas necessárias em relação ao solo tiram a praticidade do método para os produtores.

Se as diferentes alturas de cada emissor proporcionam a uniformidade da irrigação; é possível, usando os mesmos princípios, dimensionar os componentes do sistema, com emissores de diferentes comprimentos ao longo da linha lateral, que resultem em perdas de cargas, para obter vazões uniformes num sistema de irrigação com os emissores no nível do solo.

Objetivo geral foi propor o dimensionamento alternativo do sistema bubbler com emissores ao nível do solo. Os objetivos específicos foram: (i) realizar avaliação hidráulica, testando a eficiência do método; e (ii) disponibilizar uma planilha eletrônica para dimensionamento de projetos, tornando a tecnologia mais acessível a técnicos extensionistas e pequenos agricultores.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em três etapas onde na primeira etapa, a partir da revisão da literatura, foi desenvolvido o modelo de dimensionamento. Em seguida, foram elaborados projetos de irrigação simulando diferentes espaçamentos e comprimentos de linha lateral. Na última fase do trabalho, os projetos foram instalados em campo, numa área da Embrapa

Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas, Estado da Bahia (12° 48'S, 39° 06" W, 225 m) para avaliação da uniformidade das vazões entre os emissores.

Modelo alternativo de dimensionamento de sistemas bubbler

Visando facilitar a elaboração de projetos, o modelo para dimensionamento da linha lateral e emissores foi estruturado em planilha eletrônica.

Baseando-se no *princípio de conservação de massas*, a equação da continuidade (eq. 1) foi usada para encontrar a velocidade da água nos diversos trechos da linha lateral e nos emissores.

$$Q = V \cdot A = \text{constante} \quad (1)$$

em que,

Q é a vazão, em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$;

V é a velocidade, em m s^{-1} ; e

A é a área da secção transversal, em m^2 .

A equação de Bernoulli (eq. 2) foi usada para obter as cargas nos diversos pontos do sistema e a perda de carga total entre os pontos.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + H_f \quad (2)$$

em que,

P é a pressão, em kgf m^{-2} ;

γ é o peso específico da água, em kgf m^{-3} ;

V é a velocidade da água, em m s^{-1} ;

g é a aceleração da gravidade, em $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$;

Z é a altura em relação ao controle de carga, em m; e

H_f é a perda de carga total, em m.

A perda de carga total foi chamada de perda de carga admissível do sistema ($H_{f_{adm}}$). A $H_{f_{adm}}$ é formada pela perda de carga na linha lateral ($H_{f_{acum}}$) e na mangueira emissora (H_{f_e}).

A fórmula universal, equação de Darcy-Weisbach (eq. 3), foi usada para o cálculo da perda de carga:

$$(3) \quad h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \text{ou} \quad h_f = J \cdot L \quad \Rightarrow \quad J = \frac{f}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

em que,

hf é a perda de carga, em m;

f é o coeficiente de atrito, adimensional;

L é o comprimento da tubulação, em m;

D é o diâmetro da tubulação, em m;

V é a velocidade média do fluxo de água nas tubulações, em $m\ s^{-1}$;

g é a aceleração gravitacional, em $m^2\ s^{-1}$; e

J é a perda de carga unitária, em $m\ m^{-1}$.

O f é calculado pelas equações 4, 5 e 6 para cada condição de número de Reynolds (eq. 7).

$$Rn \text{ menor que } 2.000 \quad f = 64\ Rn^{-1} \quad (4)$$

$$Rn \text{ entre } 2.000 \text{ e } 100.000 \quad f = 0,316\ Rn^{-0,25} \quad (5)$$

$$Rn \text{ maior que } 100.000 \quad f = 0,13\ Rn^{-0,172} \quad (6)$$

$$(7) \quad Rn = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

em que,

Rn é o número de Reynolds, adimensional;

V é a velocidade da água no interior do tubo, em $m\ s^{-1}$;

D é o diâmetro interno do tubo, em m; e

ν é a viscosidade cinemática da água, em $m^2\ s^{-1}$.

Em sistema, como o proposto, usando tubos lisos, de asperezas da rugosidade que não ultrapassam a camada limite (AZEVEDO NETO et al., 2015), e de pequeno diâmetro, a equação de Blasius (eq. 5) pode prever com precisão a perda de carga na faixa de número de Reynolds de 2000 a 10^5 (WAHEED, 1990; REYNOLDS, 1993; ABDULHUSSAIN, 1994; CARDOSO et al., 2014; ALMEIDA et al., 2016).

Além das perdas de carga formada pelo atrito da água nas paredes do tubo, ha também perda de carga devido ao espaço ocupado pelas conexões dos emissores. Assim as perdas de carga distribuída foram corrigidas, devido à inserção do conector do emissor, em termos de comprimento equivalente (eq. 8) (BERNARDO et al., 2009).

$$J' = J (Se + Le) Se^{-1} \quad (8)$$

em que,

J' é a perda de carga ajustada, em $m\ m^{-1}$;

J é a perda de carga distribuída, em $m\ m^{-1}$;

Se é o espaçamento entre os emissores, em m; e

Le é o comprimento equivalente à perda de carga, em m.

Comprimento equivalente (Le) foi estimado em função do diâmetro interno da linha lateral e da inserção do conector na linha lateral (KELLER e BLIESNER, 1990).

Na planilha eletrônica, inserindo os dados de altimetria do terreno, espaçamento, número de plantas por linha lateral (1 emissor/planta), carga no início da linha lateral, diâmetro da linha lateral e do emissor, e a vazão no início da linha lateral, os cálculos são realizados de forma instantânea, fornecendo os comprimentos de cada mangueira emissora da linha lateral. No entanto, para facilitar a compreensão, os cálculos foram divididos em duas etapas.

Na Etapa I são realizados os cálculos referentes a linha lateral. O objetivo é determinar o Hf_{acum} , que será usado na Etapa II.

Cada ponto de inserção de emissor na linha lateral é considerada como um trecho devido à mudança de vazão a partir dele. Sendo trecho 1 do início da linha lateral até o ponto de inserção do 1º emissor, e os demais trechos são do ponto de inserção do emissor anterior até o ponto de inserção do emissor daquele trecho, por exemplo trecho 2 do ponto de inserção do 1º emissor até o ponto de inserção do 2º.

Separadamente, começando pelo trecho 1 até o último trecho, as perdas de cargas são calculadas na seguinte sequência (Figura 1):

- a partir da vazão no início da linha lateral obtêm-se a vazão do trecho n (Q_n). No trecho 1 a vazão igual à vazão total, e em qualquer outro trecho n a vazão é igual à vazão no trecho anterior menos a vazão de saída em cada ponto da linha lateral;
- Q_n em conjunto com o diâmetro da linha lateral, obtêm-se a velocidade da água (V_n), o número de Reynolds (Nr_n), o coeficiente de atrito (f) e a perda de carga unitária (J_n);
- J_n com o comprimento do trecho n (L_{trecho}) obtêm-se J'_n , a perda de carga unitária ajustada devido perda de carga localizada, e a perda de carga do trecho (Hf_{trecho}). O

comprimento do trecho é igual ao espaçamento entre emissores, com exceção do trecho 1, onde corresponde a metade desse valor; e

- por fim obtêm-se Hf_{acum_n} . No trecho 1, Hf_{acum_1} é igual a Hf_{trecho_1} , nos demais trechos o Hf_{acum_n} é igual Hf acumulado do trecho anterior (Hf_{acum_n-1}) somado a perda de carga desse trecho (Hf_{trecho_n}).

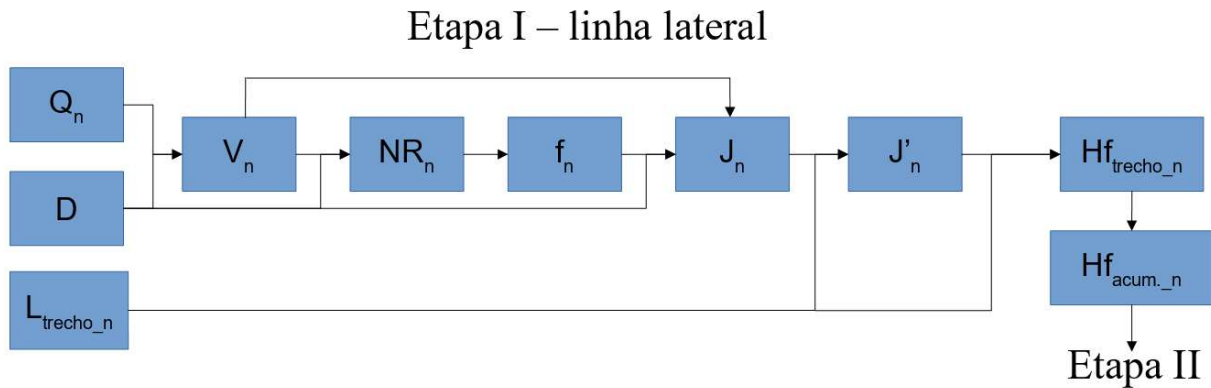


Figura 1 – Sequência de cálculos referentes a linha lateral (Etapa I).

Na Etapa II são realizados os cálculos referentes aos emissores.

Partiu-se do pressuposto que a saída do emissor está submetida apenas a pressão atmosférica, ou seja, sua carga piezométrica é igual a zero, e que todos os emissores possuem a mesma vazão, ou seja, a vazão do emissor (Q_e) é igual à divisão da vazão de entrada na linha lateral pelo número de emissores da linha lateral. Assim, usando os dados inseridos na planilha eletrônica é possível calcular o comprimento de cada emissor, conforme sequencia ilustrada no fluxograma (Figura 2):

- da soma das cargas no início da linha lateral (H) é subtraído as cargas de pressão ($P \cdot \gamma^{-1}$), cinética ($V^2(2g)^{-1}$) e de posição (Z_n) do emissor do trecho n para obter perda de carga admissível para os emissores n (Hf_{adm_n});
- da Hf_{adm_n} subtrai o Hf_{acum_n} para obter a perda de carga no emissor (Hf_{e_n});
- simultaneamente calcula-se o número de Reynolds (NR), o coeficiente de atrito (f) e a perda de carga unitária (J) do emissor;
- por fim, com J e Hf_e obtêm-se o comprimento da mangueira emissor.

Etapa II – emissores

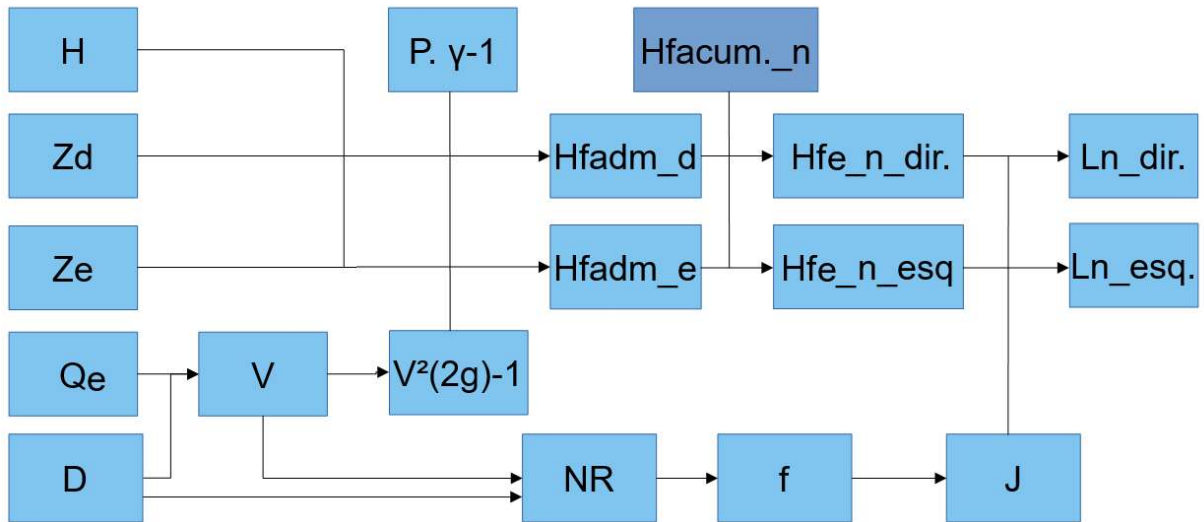


Figura 2 – Sequência de cálculos referentes aos emissores (Etapa II).

O fluxograma foi detalhado em três planilhas eletrônicas no arquivo disponível em https://docs.google.com/spreadsheets/d/1C2qrP_tVY3pRaIZdvjXcUaCoPKwmNgZsaWL9VqLqnxw/edit#gid=0.

A fim de ter uma interface simples, para facilitar o uso ao público geral, as planilhas apresentam o seguinte conteúdo: fórmulas (Figura 3), parte da planilha onde são realizados os cálculos, e pode ser verificado as equações; altimetria (Figura 4 a), aba onde são lançados dados das cotas dos diversos pontos do sistema; e manipulação (Figura 4 b), aba onde é lançado demais dados do sistema (diâmetros, espaçamentos, vazão, etc.), que podem ser alterados para encontrar a melhor configuração para o produtor.

Dimensionamento de emissores e LL: Bubbler Adaptado

Arquivo Editar Visualizar Inserir Formatar Dados Ferramentas Complementos Ajuda Todas as alterações foram salvas no Google Drive

125% \$ % 0.00 123 - Arial 10 B I U A

f_x

=(K7/(\$B\$3/1000))*E7

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1		D da LL	D Emissor	Carga início da LL						J = (f / D) * (v^2 / 2g)		1.00E-01			(v = 10^-6 m2/s para água a 20 °C)					
2		(mm)	(mm)	1											v = coeficiente de viscosidade cinemática, em m2/s			Q (l/h)		
3		26	4											Le = 0.15				32.0		
4		Vazão						Z	Z									Emissor		
5	Posição	(l/h)	Q (m3/s)	v (m/s)	(vn2/2g)	(Pn/Y)	Zn	ESQ	DIR	N. Reynolds	f	J	L	J'	hf (LL)	hf (acumul.)	H	Q (m3/s)	v (m/s)	
6	CC				0.01653	1.00	0.000	-	-								1.02			
7	1	1088	0.00030	0.569	0.01653	0.97	0.00	0.00	0.00	14,756	0.029	0.018	1.5	0.020	0.030	0.030	1.02	0.000009	0.707	
8	2	1024	0.00028	0.536	0.01464	0.92	0.00	0.00	0.00	13,888	0.029	0.016	3.0	0.017	0.052	0.082	1.02	0.000009	0.707	
9	3	960	0.00027	0.502	0.01287	0.88	0.00	0.00	0.00	13,020	0.030	0.015	3.0	0.015	0.046	0.128	1.02	0.000009	0.707	
10	4	896	0.00025	0.469	0.01121	0.84	0.00	0.00	0.00	12,152	0.030	0.013	3.0	0.014	0.041	0.169	1.02	0.000009	0.707	
11	5	832	0.00023	0.435	0.00967	0.80	0.00	0.00	0.00	11,284	0.031	0.011	3.0	0.012	0.036	0.205	1.02	0.000009	0.707	
12	6	768	0.00021	0.402	0.00824	0.77	0.00	0.00	0.00	10,416	0.031	0.010	3.0	0.010	0.031	0.236	1.02	0.000009	0.707	
13	7	704	0.00020	0.368	0.00692	0.75	0.00	0.00	0.00	9,548	0.032	0.009	3.0	0.009	0.027	0.263	1.02	0.000009	0.707	
14	8	640	0.00018	0.335	0.00572	0.73	0.00	0.00	0.00	8,680	0.033	0.007	3.0	0.008	0.023	0.285	1.02	0.000009	0.707	
15	9	576	0.00016	0.301	0.00463	0.71	0.00	0.00	0.00	7,812	0.034	0.006	3.0	0.006	0.019	0.304	1.02	0.000009	0.707	
16	10	512	0.00014	0.268	0.00366	0.69	0.00	0.00	0.00	6,944	0.035	0.005	3.0	0.005	0.015	0.320	1.02	0.000009	0.707	
17	11	448	0.00012	0.234	0.00280	0.68	0.00	0.00	0.00	6,076	0.036	0.004	3.0	0.004	0.012	0.332	1.02	0.000009	0.707	
18	12	384	0.00011	0.201	0.00206	0.67	0.00	0.00	0.00	5,208	0.037	0.003	3.0	0.003	0.009	0.341	1.02	0.000009	0.707	
19	13	320	0.00009	0.167	0.00143	0.67	0.00	0.00	0.00	4,340	0.039	0.002	3.0	0.002	0.007	0.348	1.02	0.000009	0.707	
20	14	256	0.00007	0.134	0.00092	0.66	0.00	0.00	0.00	3,472	0.041	0.001	3.0	0.002	0.005	0.352	1.02	0.000009	0.707	
21	15	192	0.00005	0.100	0.00051	0.66	0.00	0.00	0.00	2,604	0.044	0.001	3.0	0.001	0.003	0.355	1.02	0.000009	0.707	
22	16	128	0.00004	0.067	0.00023	0.66	0.00	0.00	0.00	1,736	0.049	0.000	3.0	0.000	0.001	0.356	1.02	0.000009	0.707	
23	17	64	0.00002	0.033	0.00006	0.66	0.00	0.00	0.00	868	0.058	0.000	3.0	0.000	0.000	0.357	1.02	0.000009	0.707	

+ Altimetria Manipulação Fórmulas

Explorar

Figura 3. Aba “Fórmulas” da planilha de dimensionamento de emissores e linha lateral.

Dimensionamento de emissores e LL: Bubbler Adaptado

Arquivo Editar Visualizar Inserir Formatar Dados Ferramentas Complementos Ajuda Todas as alterações foram salvas no Google Drive

100% \$ % 0.00 123 - Arial 10

f_x

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							
36							

+ Altimetria Manipulação Fórmulas

Dimensionamento de emissores e LL: Bubbler Adaptado

Arquivo Editar Visualizar Inserir Formatar Dados Ferramentas Complementos Ajuda Todas as alterações foram salvas no Google Drive

125% \$ % 0.00 123 - Arial 10 B I U A

f_x

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2		Acerola	Cultura							
3										
4										
5		3.00	Espaçamento (m) entre plantas							
6		5.00	entre filas							
7										
8		17	Nº Plantas/Linha							
9										
10		1	Carga (mca)							
11		4	D do Emissor(mm)							
12		26	D da LL(mm)							
13										
14		1088	Vazão da LL (l/h)							
15										
16										
17		2	Tipo de Sistema:							
18			1 - 1 linha de lateral para 1 linha plantas							
19			2 - 1 linha lateral entre 2 linhas de plantas							
20										
21										
22										
23		0.15	Le = comprimento equivalente à perda de carga (m).							
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										
31										
32										
33										
34										
35										
36										
37										

+ Altimetria Manipulação Fórmulas

Figura 1. Comprimento equivalente para emissores na linha e sobre a linha em função do diâmetro interno da linha lateral, para cálculo da perda de carga localizada (BERNARDO, 2009).

Tipo	a (mm)	b (mm)
Grande	5.0	7.5
Normal	5.0	5.0
Pequeno	5.0	3.8

Soma 44.81

a

b

Figura 4 (a, b). Abas “Altimetria” e “Manipulação” da planilha de dimensionamento de emissores e linha lateral.

Simulação de dimensionamento de projetos de sistema bubbler com modelo alternativo

Na segunda fase do trabalho, foram simulados projetos de irrigação para posterior avaliação hidráulica. Para simular diferentes situações que podem ocorrer em campo, foram escolhidos 10 combinações de espaçamentos entre plantas e linhas, em diferentes comprimento de Linha Lateral, que resultaram num total de 22 projetos, apresentados em conjunto com os resultados no capítulo de Resultados e Discussões. Como em qualquer projeto, é essencial conhecimento prévio da cultura e informações do local como posição da fonte de água, vazão disponível, dimensões, inclinação da área e outros elementos, que possam influenciar no dimensionamento do sistema.

Para atender a grande variedade de espaçamentos e comprimentos de linha lateral dos projetos, diversas características foram escolhidas em comum. Os projetos possuíam apenas linha principal e uma linha lateral, ambos de polietileno com 26 mm e emissores também de polietileno e com 4 mm de diâmetro interno, próprio para atender duas filas de plantas, instalados em área plana.

No início da linha lateral, um registro de gaveta e o piezômetro para controle da carga de pressão, localizavam-se a montante do primeiro emissor, sempre a uma distância correspondente a metade do espaçamento entre plantas. A fonte d'água teve seu nível mantido a cerca de 1,8 m de altura em relação à área irrigada, o suprimento foi regulado para carga constante de 9,8 kPa (1 mca) no início da linha lateral. A menor vazão por emissor foi de 22 L h⁻¹, ficando todos emissores com número de Reynolds maior que 2000. Fotografia de projetos instalados desse trabalho é apresentado na Figura 5 (a, b, c, d).



Figura 5. (a, b) Linha lateral e emissores com fonte d'água ao fundo; (c, d) sistema em funcionamento.

O dimensionamento propriamente dito iniciou no preenchimento da planilha seguindo os passos:

- 1 – Inserção de dados altimétricos do terreno. Nesse caso a área é plana com as cotas todas iguais a zero;
- 2 – Inserção das características em comum já definidas: pressão 1 mca; diâmetro do emissor 4 mm e da linha lateral 26 mm;
- 3 – Inserção das características individuais de cada projeto: espaçamento entre plantas e linhas, e o número de plantas por linhas para os comprimentos escolhidos;
- 4 – Inserção da vazão na entrada da linha lateral em cada projeto.

Ao inserir a vazão, inicia-se um processo para obtenção do comprimento ideal dos emissores. A planilha fornece o comprimento dos emissores para que as vazões em todos os emissores fiquem iguais. No entanto, uma vazão qualquer pode resultar em emissores longos ou curtos demais, inviabilizando o projeto. Então, manipulou-se o valor da vazão (aumentado e/ou diminuindo) no campo específico da planilha (Figura 6), até encontrar o comprimento médio dos emissores correspondente a um valor próximo a metade do espaçamento entre filas, por exemplo: no projeto 14, com espaçamento de 5 m entre fileiras, o comprimento médio dos emissores ficou 2,64 m, e os emissores a partir da posição 9 ficaram com tamanho menor que a metade do espaçamento entre filas, porém suficientemente longos para fornecer água a planta.

Table 1: System Parameters (from right side of Figure 6)

Acerola	Cultura	Comprimento das Mangueiras esmisoras	Esquerd
	Espaçamento (m)		1 3.48
3.00	entre plantas		2 3.29
5.00	entre filas	Espaç entre Linhas / 2 2.5	3 3.12
		Comprimento Média dos Emissores 2.64	4 2.97
			5 2.84
17	Nº Plantas/Linha	Nº de emissores/ LL (und.) 34	6 2.73
		Comp. da Linha de Plantas (m) 51	7 2.63
1	Carga (mca)	Comprimento da Linha Lateral (m) 49.5	8 2.55
4	D do Emissor(mm)		9 2.48
26	D da LL(mm)		10 2.43
			11 2.39
			12 2.35
			13 2.33
			14 2.31
2	Tipo de Sistema:		15 2.30
	1 - 1 linha de lateral para 1 linha plantas		16 2.30
	2 - 1 linha lateral entre 2 linhas de plantas		17 2.29

Figura 6. Imagem da planilha de dimensionamento, aba manipulação, destaque para célula “Vazão da LL” nas imagens: **a** – 1000 L h⁻¹; **b** – 1150 L h⁻¹; e **c** – 1088 L h⁻¹.

Validação do modelo em campo

Após os dimensionamentos, os projetos foram instalados em campo, numa área da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas, Estado da Bahia (12° 48`S, 39° 06" W, 225m) para avaliação das vazões nos emissores, bem como da uniformidade de emissão dessas vazões. As vazões dos emissores foram aferidas pelo método volumétrico direto, em 3 coletas, utilizando proveta de 500 ml graduada e cronômetro. As vazões foram obtidas em oito pontos distribuídos uniformemente ao longo da linha lateral.

A uniformidade de aplicação da água foi calculada pelos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) por apresentar resultados bastante confiáveis (BERNARDO, 2009) e pelo coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) ou uniformidade de emissão

frequente usado em sistemas de irrigação localizada, onde selecionam-se os 25% dos menores valores coletados, possibilitando uma medida mais restrita, dando maior peso às plantas que recebem menos água (LÓPEZ et al., 1992). A interpretação do CUC e CUD foram baseadas na classificação apresentada por Mantovani, 2001 (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação dos coeficientes de uniformidade CUC e CUD

CLASSIFICAÇÃO	CUC	CUD
Excelente	> 90%	> 84%
Bom	80% - 90%	68% e 84%
Razoável	70% e 80%	52% e 68%
Ruim	60% e 70%	36% e 52%
Inaceitável	< 60%	< 36%

Fonte: Mantovani, 2001.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características dos sistemas, e os resultados das avaliações em campo são apresentados na Figura 7. Observa-se que não houve projetos, em nenhum dos métodos, com uniformidade abaixo de 80%, que os enquadrassem como razoável, ruim ou inaceitável. Os valores de CUD de 21 dos 22 projetos classificam-se como excelente, apenas o projeto número 13 foi classificado como bom com 82,4%. Usando como indicador o CUC, 19 projetos foram classificados como excelente, os projetos 10, 13 e 20, respectivamente com 88,4%, 86,9% e 89,4 %, enquadraram-se como bons. Os projetos 6, 12 e 15 tiveram o melhor desempenho atingindo um CUD de 98,3%, 97,5% e 97,7 % e CUC de 98,8%, 98,7% e 98,6 %. A planilha eletrônica disponibilizada foi capaz de dimensionar projetos com diferentes espaçamentos e comprimento de linha lateral. O desvio padrão e coeficiente de variação, revelam a baixa variabilidade dos resultados (Tabela 3). Os resultados satisfatórios mostram a viabilidade técnica de sistemas de irrigação localizada de fluxo contínuo usando como emissores microtubos de 4 mm no solo e operando com baixa pressão.

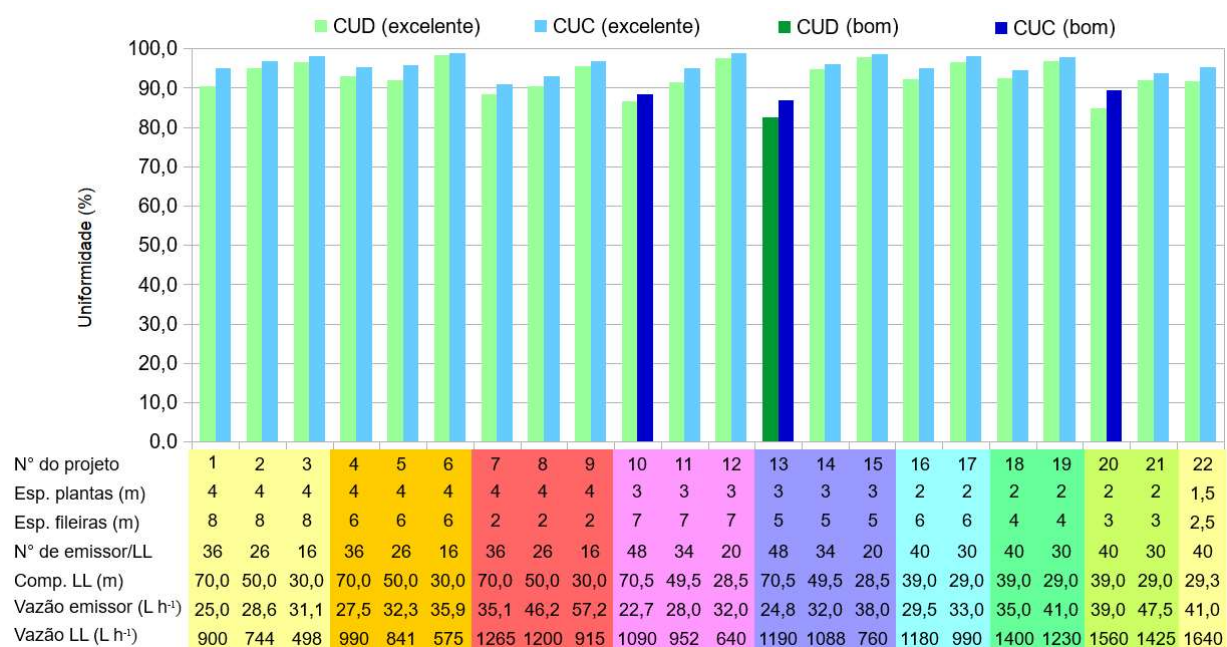


Figura 7. Uniformidades em campo e característica de dimensionamento dos projetos avaliados: Coeficientes de Uniformidade de Distribuição (CUD) e coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) na classificação por Mantovani (2001); número do projeto, espaçamento entre plantas e linhas, número de emissor por linha lateral, comprimento da linha lateral, vazão na entrada da linha lateral e do emissor definidos no dimensionamento.

Tabela 3. Média, desvio padrão e coeficiente de variação dos resultados de CUC e CUD referentes aos ensaios de validação dos projeto

	CUD	CUC
Média	92,5%	94,9%
DP	4,3	3,4
CV	4,6%	3,6%

Em sistemas bubbler, altas uniformidades de emissão tem sido registradas variando de 80 a 97% (RAWLINS, 1977; HASHEM et al., 2011; SILVA, 2013; MEDEIROS et al., 2014; CARMO, 2016; XAVIER, 2016; SOOTHAR, 2016), intervalo no qual se inserem os valores encontrados nesse trabalho. Os resultados evidenciam que o método proposto preserva uma das principais vantagens do sistema bubbler, o bom desempenho de aplicação da água.

Em sistemas de irrigação localizada, valores típicos de CUD variam de 65% até 90% em gotejamento, e até 85% em microaspersão. Porém é comum encontrar em campo sistemas com uniformidade abaixo de 50% em virtude de problemas de dimensionamento inadequado, equipamento de baixa qualidade e falta de manutenção, principalmente entupimento

(MAROUELLI et al., 2011). Baixas uniformidades de emissão, valores próximos de 50%, também foram relatados em sistemas Bubbler por mal dimensionamento (AL-AMOUD, 2008) e operação fora do estabelecido em projeto (COELHO, et al., 2012). Com aumento das horas de funcionamento, o decréscimo na uniformidade de um sistema bubbler foi identificado por Carmo (2016), porém mantendo desempenho aceitável. Estão entre as causas: falta ou insuficiente manutenção no sistema; mangueiras emissoras danificadas por animais silvestres e outras obstruídas por insetos; e imprecisão nas alturas das mangueiras emissoras na recolocação destas, quando se soltavam da estaca, pois não voltavam à mesma altura inicial determinada no dimensionamento.

No modelo proposto, com a pequena variabilidade dos coeficientes encontrados, observa-se que o desempenho da distribuição de água dos projetos independe das características do espaçamento entre plantas, entre fileiras, da vazão da linha lateral e dos emissores. Os sistemas com grande número de emissores por linha e com comprimentos mais longos tiveram menor uniformidade, mas não se pode afirmar que o desempenho do sistema diminui em função de uma dessas características. O que acontece em campo é que sistemas com grande número de emissores por linha e com comprimentos mais longos estão mais susceptíveis a imperfeições dos materiais (defeitos e variabilidade na qualidade de fabricação dos conectores e tubos), da instalação (vazamento nas conexões) e de pequenas ondulações do terreno (que possuem forte influência devido a baixa pressão de operação).

As vazões da linha lateral e dos emissores variaram com os projetos. Observa-se que, entre os projetos, mantendo as características de diâmetro da linha lateral e emissores, pressão no início da linha lateral e topografia, as decisões sobre o espaçamento e ou o comprimento da linha lateral influenciam diretamente na vazão da linha lateral e dos emissores. Por exemplo, mantendo os espaçamentos entre plantas e fileiras, ao aumentar o comprimento da linha lateral tem-se uma menor vazão por emissor (Figura 8). Porém o consequente aumento do número de emissores na LL requer aumento da vazão total.

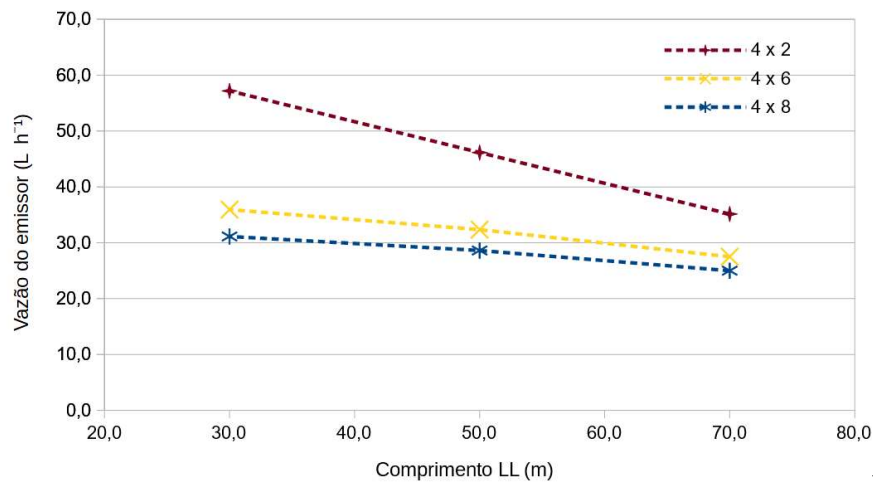


Figura 8.

Vazão dos emissores em função do comprimento da linha lateral, nos projetos com espaçamento 4 x 8 (projetos 1 a 3), 4 x 6 (projetos 4 a 6) e 4 x 2 (projetos 7 a 9).

O aumento da densidade do plantio, ou seja, maior número de plantas por hectare, se dá por diminuição do espaçamento entre fileiras, entre plantas ou ambos. No adensamento pela redução do espaçamento entre planta (Figura 9), a vazão por emissor aumenta, mantendo o espaçamento entre plantas, comprimento da LL e número de emissores.

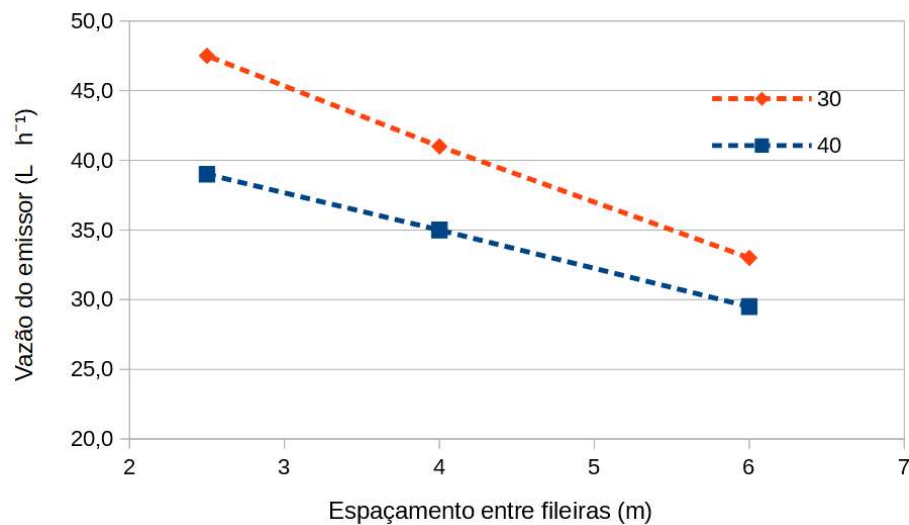


Figura 9. Vazão dos emissores em função do espaçamento entre fileiras, em projetos com 30 emissores na LL (projetos 17, 19 e 21) e 40 emissores na LL (projetos 16, 18 e 20).

Já o adensamento pela diminuição do espaçamento entre plantas ocorreu em dois casos. Nos projetos 9, 21 e 22 reduziu-se o espaçamento entre plantas de 4 m para 2 e 1,5 m, com aumento no número de emissores na linha lateral que foi de 16 para 30 e 40 respectivamente, mantendo o comprimento de linha lateral com cerca de 30 m. Nesse caso, o aumento do adensamento requer uma redução da vazão por emissor e aumento na vazão total da linha lateral (Figura 10). No segundo caso, nos projetos 7, 20 e 22 reduz o espaçamento entre plantas de 4 m para 2 e 1,5 m, com redução do comprimento da linha lateral de 70 m para 39 e 29,3 m, o adensamento requer aumento da vazão da linha lateral e dos emissores (Figura 11).

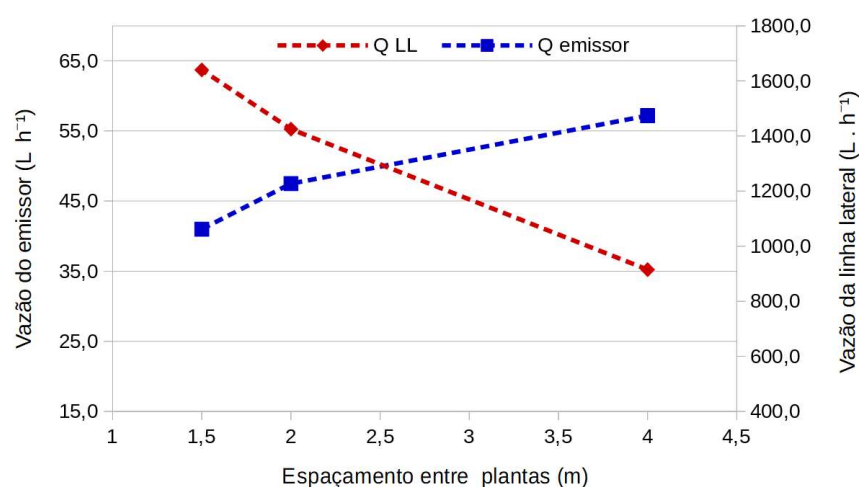


Figura 10. Vazão dos emissores e da linha lateral projetos nos 22, 21 e 9 em função do espaçamento entre plantas.

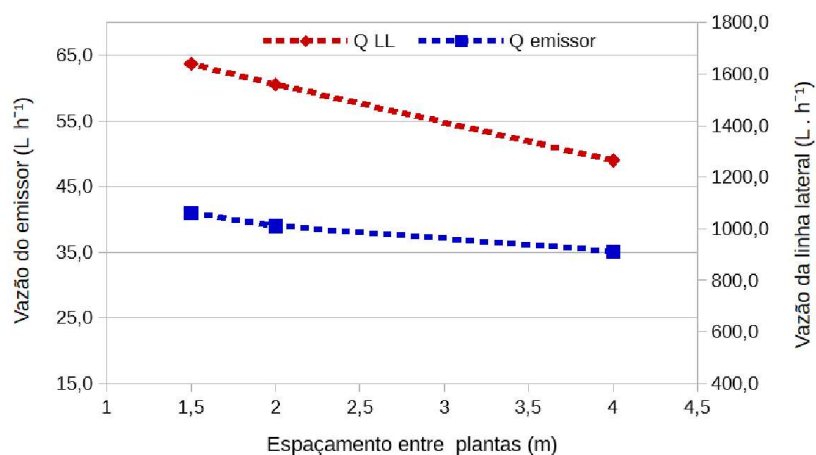


Figura 11. Vazão dos emissores e da linha lateral projetos nos 22, 20 e 7 em função do espaçamento entre plantas.

O fator temperatura da água possui influência em sua viscosidade, como consequência, também nas perdas de carga e vazões do sistema de irrigação. Em microtubo, com regime de escoamento laminar, a vazão e a uniformidade de aplicação é afetada pela temperatura da água, sendo na primeira maior que na segunda, e a magnitude como isso se dá é inerente a cada projeto (PINTO, 2012). Quando o regime de escoamento no emissor for laminar a variação da temperatura causa variações significativas na vazão, e em menor importância quando for turbulento, pois o aumento do número de Reynolds reduz a influência da temperatura (PARCHOMCHUK, 1976). A variação da temperatura de 3,0° C não apresentou variações significativas na vazão de microtubos com números de Reynolds acima de 2000 (SOUZA, 2008). Durante as coletas das amostras, não foram registradas temperatura da água e a temperatura do ar variou entre 17 °C e 23 °C no dia mais frio, e de 22 °C a 29 °C no dia mais quente, registrada em estação meteorologia. Isso associado a pouca variabilidade nas uniformidades encontradas e ao fato de que nos projetos, o número de Reynolds nos emissores foram acima de 2000, o que não permite inferir que a temperatura tenha tido efeito significativo sobre a eficiência dos projetos.

4. CONCLUSÕES

As uniformidades de irrigação obtidas foram superiores aos valores recomendados.

A adaptação do sistema de irrigação bubbler para uso com emissores no nível do solo é tecnicamente viável.

O modelo proposto de irrigação localizada de fluxo contínuo, com emissores de 4 mm (microtubos), pressão na linha lateral de 1 mca e alta uniformidade, pode ser adotado em projetos com diferentes comprimento de linha lateral e espaçamentos entre plantas e fileiras.

A planilha eletrônica desenvolvida permite o dimensionamento do comprimento dos microtubos com número de Reynolds superior a 2000.

5. RECOMENDAÇÕES

As recomendações para trabalhos futuros são os seguintes:

- analisar custos de implantação e operação para projetos com diferentes espaçamentos e área do projeto;

- avaliar, em projetos dimensionados para funcionar em determinada pressão, o efeito da variação positiva e negativa da pressão sobre o desempenho do projeto;
- analisar o uso do modelo em diversas declividades de terreno;
- explorar o uso do modelo proposto em conjunto com técnicas de sucos curtos e nivelados usadas por Soares (1986) e Medeiros (2014), com intuito de superar limitações topográficas, de espaçamento de culturas e/ou de custo para o pequeno agricultor; e
- testar possíveis melhorias na planilha de dimensionamento quanto a perda de carga localizada, fator de atrito, temperatura da água e altitude local (aceleração da gravidade).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-NABY, A. A. H. Design of low-head bubbler irrigation system. In: GOYAL, M. R; CHAVAN, V. K.; TRIPATHI, V. K. (Eds.). **Innovations in Micro Irrigation Technology**. Nova Iorque : Apple Academic Press., 2016. cap. 5, p. 101–172.

ABDULHUSSAIN, M. F. **Gravity bubbler irrigation systems on steep slopes converted to bench terraces**. 1994. Dissertação (Mestrado em Irrigação) - University of Arizona, Arizona.

AL-AMOUD, Ahmed I. Performance of bubbler irrigation system as compared to trickle for large size date palm tree farm. **The Canadian Society for Bioengineering**, Vancouver, p. 08-172, 2008.

ALMEIDA, A. C. S. et al. Pressure compensating microsprinklers using microtube as a flow controller. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 36, n. 1, p. 36-45, feb. 2016.

ALVES, D. G. et al. Sensibilidade dos microtubos à obstrução por agentes físicos. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 9, n. 4, p. 193-203, 2015.

ANDRADE, E. M.; SOUZA, I. H.; SILVA, E. L. Análise dos custos fixos de um sistema de irrigação localizado por gravidade-bubbler. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 33, n. 1, p. 64-69, 2002.

AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNÁNDEZ, M. F. Cálculo do Escoamento em Tubulações Sob Pressão In: **Manual de hidráulica**. 9ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2015. cap. 8, p. 139–192.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de Irrigação**. 8ª ed. Ed. UFV, Viçosa, 2009.

BRASIL, Agência Nacional de Águas. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília, DF, ANA 2017. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AtlasIrrigacao-UsodaAguanaAgriculturaIrigada.pdf>>.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Caderno setorial de recursos hídricos: agropecuária**. Brasília, DF, MMA, 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/161/_publicacao/161_publicacao23022011030305.pdf>.

CARDOSO, G. G. G.; KLAR, A. E. Índice geométrico e perda de carga localizada em conexões de emissores "online". **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 6, p. 1114-1127, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/127466>>.

CARMO, F. F. **Alterações nas características do solo e no desempenho do sistema de irrigação (Bubbler) operando com água residuária**. 2013. 127 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró.

CARMO, F. F. et al. Dimensionamento hidráulico e avaliação de um sistema de irrigação localizada de baixo custo. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 302, 2016.

COELHO, E. F. et al. Sistemas de irrigação de baixo custo para agricultura familiar de assentamentos ribeirinhos do semiárido. In: GHEYI, H. R. et al. (Eds.). **Recursos hídricos em regiões semiáridas: estudos e aplicações**. Campina Grande, Paraíba: Instituto Nacional do Semiárido; Cruz das Almas, Bahia: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012. cap. 5 pag. 100–117.

FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. **Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil: Identificação de Áreas Prioritárias**. Brasília, 2017 Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i7251o.pdf>>.

HASHEM, A. A. et al. Performance evaluation of low head bubbler irrigation system. **Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering - Mansoura University**, v. 2, n. 9, p. 925-

938, 2011.

IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA, Pesquisa, Censo Demográfico 2010**. Disponível: site. <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/202>. Acesso em: 05 jun. 2016.

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 615p

LÓPEZ, J. R. et al. **Riego Localizado**. Madrid, Mundi – Prensa, 1992. 405p.

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

MAROUELLI, W. A. et al. Manejo da água de irrigação. In: SOUSA, V. F. et al. (Eds.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Embrapa Hortaliças; São Luís: Embrapa Cocais; Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura; Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011.

MEDEIROS, J. F. et al. Sistema localizado de baixa pressão para irrigação de palma forrageira utilizando água de esgoto tratada. In: **Inovagri International Meeting**. Fortaleza, Ceará, 2014. v. 2, Disponível: <<http://dx.doi.org/10.12702/ii.inovagri.2014-a170>> Acesso em: 05 fev. 2016.

PARCHOMCHUK, P. Temperature effects on emitter discharge rates. **Transactions of the ASAE**. St. Joseph, v. 19, n. 2, p. 690, 1976.

PEREIRA, J. M. G.; CORREA, C. B. G.; SALES, J. C. Custo de um sistema de irrigação por microtubos, dimensionado através de um software. In: **Inovagri International Meeting**. Fortaleza, Ceará, 2012. v. 2 Disponível: <http://www.inovagri.org.br/meeting2012/wp-content/uploads/2012/06/Protocolo270.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2016.

PINHEIRO, M. C.; FIGUEIREDO, P. N. Por que é tão necessário o fortalecimento da competitividade industrial do Brasil? E qual é o papel da produtividade e da capacidade tecnológica inovadora? **Technological Learning and Industrial Innovation Working Paper Series**, Rio de Janeiro, n. 1, dec. 2015.

RAWLINS, S. L. Uniform irrigation with a low-head bubbler system. **Agricultural Water Management**, v. 1, n. 2, p. 167-178, 1977.

REYNOLDS, C. A. **Design and evaluation of bubbler irrigation systems**. 1993. Dissertação

(Mestrado em Irrigação) - University of Arizona, Arizona.

SILVA, N. S. et al. Avaliação econômica de sistemas de irrigação localizada na acerola. In: **Inovagri International Meeting**. Fortaleza, Ceará, 2012. Disponível: <http://www.inovagri.org.br/meeting2012/wp-content/uploads/2012/06/Protocolo436.pdf>
Acesso em: 15 jan. 2016.

SILVA, N. S. **Crescimento inicial do cajueiro sob diferentes regimes hídricos e desempenho de um sistema de irrigação bubler**. 2013. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Piauí, Teresina.

SOARES, J. M. **Sistema de irrigação por mangueiras**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1986. 130p.

SOOTHAR, R. K. et al. Evaluation of Bubbler Irrigation System at Different Emission Flow Rates for Young Mango Orchard. **American Journal of Engineering Research** v. 5, n . 8, p. 35-42, 2016. Disponível: [http://www.ajer.org/papers/v5\(08\)/F0508035042.pdf](http://www.ajer.org/papers/v5(08)/F0508035042.pdf) Acesso em: 10 set. 2017.

SOUZA, I. H.; ANDRADE, E. M.; SILVA, E. L. Avaliação hidráulica de um sistema de irrigação localizada de baixa pressão, projetado pelo software " bubbler". **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 264-271, 2005.

SOUZA, W. J. **Escoamento em regime turbulento aplicado à irrigação localizada com microtubos**. 2008. Dissertação (Mestrado Irrigação e Drenagem) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

WAHEED, S. I. **Design criteria for low head bubbler irrigation systems**. 1990. Dissertação (Mestrado em Irrigação) - University of Arizona, Arizona.

XAVIER, A. F. M. **Sistema de irrigação de baixa pressão e baixo custo para culturas em fileiras e adensadas**. 2016. 49 f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo e Água) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró.