

IRRIGAÇÃO LOCALIZADA POR GRAVIDADE COM MICROTUBOS

Rodrigo Otávio Rodrigues de Melo Souza; Gerardo Felipe Espinoza Pérez; Tarlei Arriel Botrel

Instituto Centro Tecnológico de Ensino – CENTEC, Fortaleza, CE, rmelosouza@hotmail.com

1 RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram: dimensionar, implantar e avaliar um sistema de irrigação com microtubos por gravidade; e apresentar o custo do sistema com microtubos comparando-o com o custo do “kit” para irrigação localizada por gravidade, disponível no mercado. O experimento foi dividido em duas etapas, sendo que a primeira consistiu no dimensionamento, elaboração, montagem e avaliação do sistema de irrigação. A segunda etapa consistiu na implantação da cultura da alface em três canteiros, onde em dois canteiros a água foi fornecida por uma caixa d’água elevada a uma altura de 1 m e distribuída para as alfaces através dos microtubos. No outro canteiro, a irrigação foi realizada através de um regador. Conforme os resultados observados o sistema obteve ótimo desempenho. Além de aplicar água com 97% de uniformidade de distribuição, também ficou provado que o microtubo foi fabricado com qualidade e uniformidade. O custo total do sistema para a irrigação de 16 canteiros ficou em R\$ 466,77. A proposta de utilização do sistema de irrigação localizada com microtubos por gravidade demonstrou ser uma alternativa viável, tanto tecnicamente quanto economicamente, para os pequenos produtores.

UNITERMOS: Irrigação por gotejamento, microtubos, baixa pressão

SOUZA, R.O.R. DE M.; PÉREZ, G.F.E.; BOTREL, T.A. GRAVITY TRICKLE IRRIGATION WITH MICROTUBES

2 ABSTRACT

The objectives of this study were to design, implant and evaluate a gravity irrigation system with micro tubes; and to show the cost of the system with micro tubes compared to the cost of the “kit” for gravity drip irrigation commercialized by irrigation companies. The experiment was divided into two phases: the first one consisted of the design, elaboration, assembly and evaluation of the irrigation system, whereas the second one consisted of the implantation of a lettuce culture in three flowerbeds. The water was provided by a 1 m high water reservoir and distributed to the lettuce culture through micro tubes in two of the flowerbeds. In the other one, the irrigation occurred through a watering can. According to the results, the system achieved a great performance. Besides applying water with 97% distribution uniformity, it has also been proved that the micro tube manufacturing had quality and uniformity. The total cost of the irrigation system implementation in 16 flowerbeds was US\$ 190.51. The use of gravity trickle irrigation system with micro tubes turned out to be a possible technical and economic option for small farmers.

KEYWORDS: drip irrigation, low pressure, microtubes

3 INTRODUÇÃO

No Brasil, e nos demais países em desenvolvimento, um grande número de pessoas vivem em comunidades carentes no meio rural. Em países como Índia, Kênia e Bangladesh, órgãos internacionais promovem o desenvolvimento destas comunidades por meio do ensino de práticas compatíveis com o nível econômico-social dos fazendeiros (Mackay, 2003).

Uma prática bastante utilizada por estes órgãos é a irrigação localizada por gravidade. Baldes, tonéis ou caixas d'água são elevados a um metro de altura para o fornecimento de água em pequenas áreas.

O sistema normalmente é composto por linhas laterais de polietileno e emissores do tipo microtubo. O microtubo é o mais antigo gotejador de longo percurso. Esse emissor nada mais é que um pequeno tubo de plástico com diâmetro interno entre 0,5 e 2 mm, que se caracteriza pela fácil instalação e baixo custo, quando comparado com outros tipos de emissores.

O microtubo, quando utilizado, dissipa energia ao longo de seu comprimento, liberando uma quantidade pequena de água para irrigação. O seu comprimento e diâmetro podem ser selecionados para diferentes vazões. (Soares, 1981).

Segundo Silva et al. (1988), considerando o processo artesanal e o baixo custo de confecção/instalação, linhas laterais com emissores do tipo microtubo de tamanhos variados, quando bem dimensionados, podem ser utilizados em sistemas localizados, obtendo-se razoáveis níveis de uniformidade de distribuição de água.

Pizarro Cabello (1987) comenta que na Espanha os microtubos se tornaram populares pelo seu baixo custo e por uma peculiaridade interessante: o agricultor pode uniformizar as vazões, mesmo o sistema estando instalado, cortando os emissores no comprimento que se mostre adequado.

A utilização de microtubos vem crescendo especialmente em países pobres da Ásia e África, onde organizações internacionais lutam pelo desenvolvimento dos pequenos agricultores por meio da implantação de tecnologias de baixo custo. Instituições, como International Development Enterprises (IDE) e Intermediate Technology Consultants (ITC), promovem na Índia e no Zimbábue a utilização da irrigação por microtubos com alimentação por gravidade. Pequenos "kits" com linhas laterais, microtubos e baldes são utilizados como ferramentas que proporcionam o desenvolvimento da população pobre no meio rural (Mackay, 2003).

Segundo Keller et al. (2001), muito desenvolvimento já foi alcançado no mundo com a utilização deste sistema. No Brasil, nota-se potencial para o desenvolvimento desta técnica, o que promoveria o desenvolvimento sócio-econômico de inúmeras comunidades carentes, sem elevados custos iniciais e operacionais.

Para a devida disseminação dessa prática é necessário obter primeiro um embasamento técnico e um maior conhecimento das dificuldades operacionais e financeiras. Desta forma, foi realizado um experimento onde foi utilizada a irrigação localizada por gravidade para fornecer água para canteiros de alface. Os objetivos deste trabalho foram:

- Dimensionar, implantar e avaliar um sistema de irrigação com microtubos por gravidade que proporcionasse economia de mão-de-obra, facilidade no manuseio e manutenção;

- Apresentar o custo do sistema com microtubos e comparar com o custo do “kit” para irrigação localizada por gravidade, disponível no mercado.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP, em Piracicaba (SP). O experimento foi dividido em duas etapas, sendo que a primeira foi realizada no período entre agosto e outubro de 2003 e consistiu no dimensionamento, elaboração, montagem e avaliação do sistema de irrigação.

A segunda etapa consistiu na implantação da cultura da alface em três canteiros, onde em dois destes canteiros a água era fornecida por uma caixa d'água elevada a uma altura de 1 m e distribuída para as alfaces através dos microtubos (Figura 1). No outro canteiro, a irrigação foi realizada por meio de um regador, forma tradicionalmente utilizada pelos pequenos produtores.



Figura 1 - Visualização geral do experimento.

Para a verificação da viabilidade técnica do sistema foram obtidos os seguintes parâmetros: uniformidade de distribuição (UD) (antes do plantio e depois da colheita), coeficiente de variação de fabricação (CVF) do emissor e produtividade da cultura. Em complemento a estes parâmetros também foi apresentado o custo de investimento do sistema com microtubos.

De uma forma geral, foi levado em consideração no planejamento e implantação do sistema alguns requisitos técnicos para o sucesso deste sistema de irrigação de baixo custo para pequenos produtores:

- O sistema deve ser dimensionado utilizando os melhores componentes disponíveis dando preferência para a indústria local;
- O sistema deve ser simples e facilmente entendido de forma que possa ser montado e consertado pelo usuário;

- As pressões de serviço devem ser de 10 a 20 kPa para sistemas pequenos;
- O sistema deve prover uma alta uniformidade de aplicação.

4.1 Dimensionamento

Devido a baixa altura da caixa de alimentação, o que proporciona baixa disponibilidade de pressão, o dimensionamento do sistema foi realizado de forma a obter uma vazão nos microtubos que evitasse entupimentos e gastos elevados de energia nas linhas de derivação, lateral e no filtro.

Para atender a estes requisitos foi selecionada uma vazão de 1 L h⁻¹ para os microtubos. O dimensionamento do sistema foi efetuado utilizando o software elaborado em linguagem Delphi desenvolvido por Souza (2005), que se baseia no modelo matemático para dimensionamento de microtubos visto a seguir:

$$H = \frac{64.v.4}{\pi.2.g} \left(\frac{L.Q}{d^4} \right) + \frac{16}{\pi^2.2.g} \left(\frac{Q^2}{d^4} \right) + \frac{16}{\pi^2.2.g} \left(\frac{K.Q^2}{d^4} \right) \quad (1)$$

em que:

Q - vazão do microtubo (m³ s⁻¹);

v - viscosidade cinemática da água (m² s⁻¹);

H – carga piezométrica na entrada do microtubo (m.c.a.);

L – comprimento do microtubo (m);

d – diâmetro interno do microtubo (m);

g – aceleração da gravidade (m s⁻²);

K – coeficiente de perda de carga localizada (adimensional).

O dimensionamento do sistema foi realizado com o auxílio do software desenvolvido por Souza (2005). Para o dimensionamento foi considerada uma pressão de 16 kPa conforme pode-se observar na Figura 2. Foi selecionado um microtubo com 0,8 mm de diâmetro. Em virtude do reduzido tamanho da LL todos os microtubos ao longo da LL permaneceram com 60 cm.

The screenshot shows the 'Dimensionamento' software interface. The 'Entrada de dados' (Input Data) section includes fields for: Vazão do emissor (L/h) = 1, Comprimento do último microtubo (m) = 0,6, Temperatura da água (°C) = 20, Diâmetro do microtubo (mm) = 0,835, Coefic. de perda de carga localizada (K) = 10,68, Diâmetro da linha lateral (mm) = 13,6, Comprimento da linha lateral (m) = 7,5, Espaçamento entre plantas (m) = 0,3, Variação no comprimento do microtubo (m) = 0,1, and Nº de emissores por planta = 4. The 'Regime' is set to 'Laminar'. The 'Resultados' (Results) section displays a table with columns: Emissor, Comp.(cm), Vazão(L/h), Pressão(mca), and Comp.LL(m). The table contains 6 rows of data. Below the table, there are fields for: Vazão máxima (L/h) = 1,02, Vazão mínima (L/h) = 1,00, Variação de vazão (%) = 2,00, Media (L/h) = 1,01, CV (%) = 0,81, and UD (%) = 99,34. A 'Soma dos comp. dos microtubos(m)' field shows 57,60. A 'Dimensionar Linha Lateral' button is at the bottom.

Emissor	Comp.(cm)	Vazão(L/h)	Pressão(mca)	Comp.LL(m)
N0	----	----	1,61	0,00
1	60,00	1,02	1,60	0,30
2	60,00	1,02	1,59	0,60
3	60,00	1,02	1,59	0,90
4	60,00	1,02	1,58	1,20
5	60,00	1,02	1,58	1,50

Figura 2 – Tela do software com os dados utilizados para o dimensionamento dos microtubos.

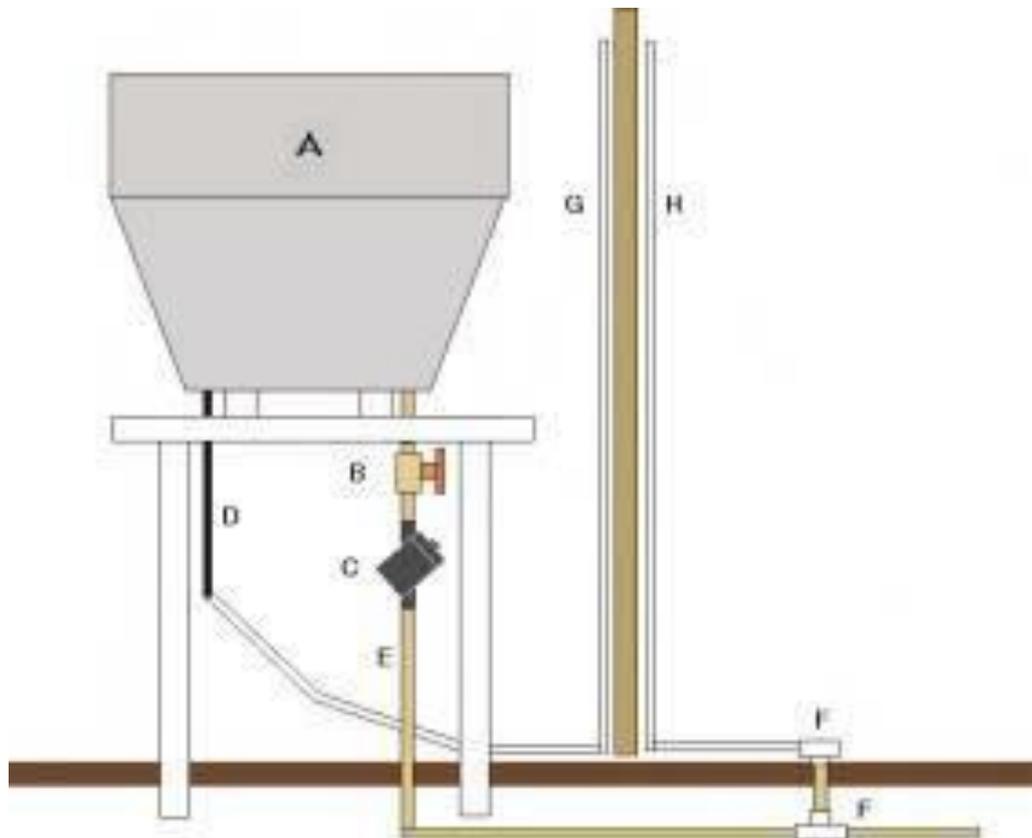
O microtubo deveria possuir no mínimo um comprimento que possibilitasse a irrigação das alfaces que estivessem localizadas nas extremidades do canteiro. O comprimento mínimo considerado no dimensionamento foi de 0,55 m. Exatamente os 0,45 m para irrigar as alfaces das extremidades mais uma folga de 0,1 m.

Na seleção dos diâmetros da linha de derivação (LD) e da linha lateral (LL) levou-se em consideração os fatores perda de carga e custo. Desta forma, foram selecionados diâmetros que provocassem uma perda de carga reduzida, sem onerar os custos. Para filtragem da água foi utilizado um filtro de discos de 130 mesh.

4.2 Implantação e condução

Após o dimensionamento do sistema de irrigação e determinação da altura da caixa d'água em relação ao solo, iniciou-se a construção da parte estrutural do mesmo e em seguida a instalação deste na área experimental.

O croqui do sistema de fornecimento de água e os materiais utilizados estão esquematizados na Figura 3.



(A) Caixa d'água de 280 litros; (B) Registro de esfera; (C) Filtro de discos (130 mesh); (D) Sangradouro; (E) Tubo de PVC de 20mm; (F) Tes de PVC de 3/4"; (G) Tubo de plástico transparente para medir o nível de água na caixa; (H) Tubo de plástico transparente para medir a pressão no início da linha;

Figura 3 - Sistema de fornecimento de água por gravidade.

Dos três canteiros utilizados, dois foram irrigados através do sistema com microtubos e no outro canteiro a irrigação foi realizada manualmente com um regador, a fim de quantificar o tempo gasto para a irrigação manual do canteiro. A distribuição do sistema na área experimental está representada pela Figura 4.

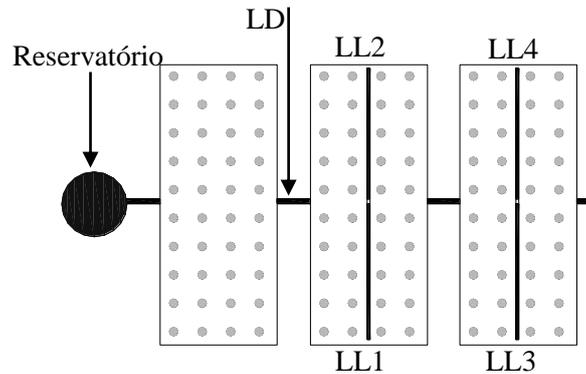


Figura 4 - Disposição do sistema de irrigação no campo.

Para cada planta de alface foi instalado um microtubo (Figura 5a). Para inserção dos microtubos na linha lateral foram realizados furos de 2 mm com vazador. Para evitar o jato d'água e melhorar fixação foram colocados na ponta do microtubos anéis de 13,6 mm de polietileno e fixadores de plástico enterrados (Figura 5b).

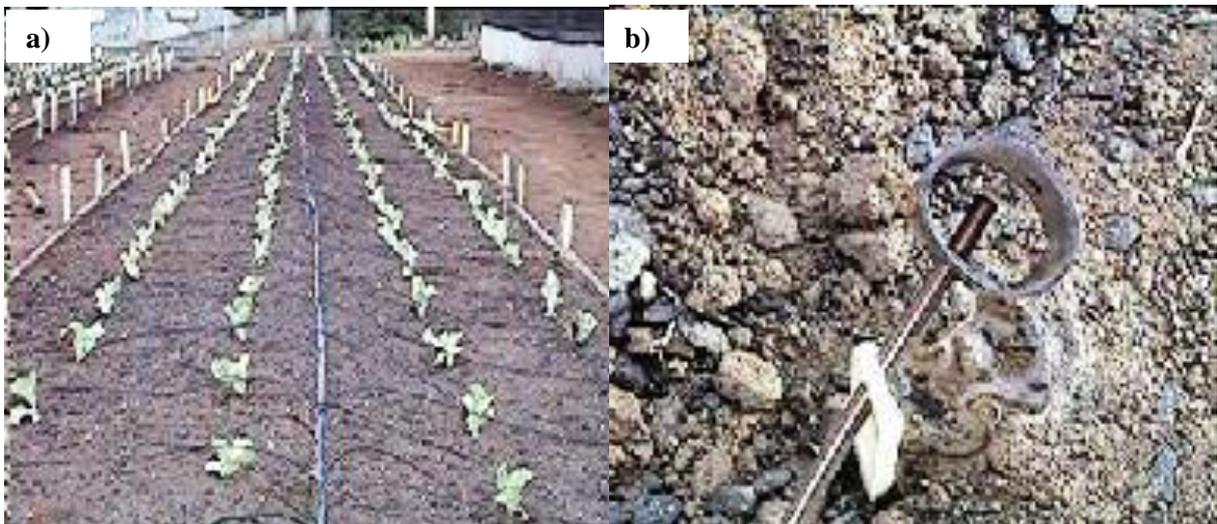


Figura 5 - a) canteiro irrigado com microtubo; b) detalhe da ponta do microtubo.

O manejo de irrigação foi realizado com base nos dados de evaporação do tanque classe "A" e precipitação pluviométrica. Tanto o tanque classe "A" quanto o pluviômetro estavam localizados bem próximos ao experimento (menos de 20 m). Com os dados de evaporação do tanque foi obtida a evapotranspiração de referência, e a partir desta foi

calculada a evapotranspiração da cultura. Para o manejo foram utilizados os valores de K_c (coeficiente de cultivo) recomendados por Gomes (2001): do transplântio aos 16 dias seguintes: $K_c = 0,48$; do final da fase anterior aos 37 dias após o transplântio: $K_c = 0,8$; do final da fase anterior até a colheita: $K_c = 0,88$.

Na segunda fase do experimento, com início no dia 08/10/2003, realizou-se o plantio das mudas. A hortaliça escolhida para cultivo foi a alface (*Lactuca sativa* L.) da variedade "Tainá", em 3 canteiros de 1,25 x 15 m com espaçamento de 0,30 x 0,30 m, resultando em 192 alfaces por canteiro.

As mudas foram produzidas por viveirista da região e formadas em bandejas de isopor de 12x24 células, sendo transplantadas com cerca de um mês após a semeadura e tendo 2 a 3 pares de folhas.

De acordo com a análise química do solo não foi necessário fazer correção de acidez nem elevar a saturação por bases (V%), uma vez que a cultura da alface requer pH entre 6,0 e 6,8 e V% maior que 80%.

A adubação de pré-plantio foi feita com 60 t ha⁻¹ de esterco e a adubação mineral dos canteiros foi realizada também com base na análise química do solo. A adubação em cobertura foi realizada aplicando-se 70 kg ha⁻¹ de N, na forma de nitrato de cálcio via água de irrigação, parcelada em três vezes, aos 10, 20 e 30 dias após o transplante das mudas. Foi escolhida esta fonte de nitrogênio devido à sua alta solubilidade em água e pela grande afinidade desta hortaliça ao fornecimento de cálcio, o qual promove um melhor desenvolvimento vegetativo e evita a queima das bordas das folhas por deficiência. O nitrato de cálcio foi diluído diretamente no reservatório de abastecimento de água.

A colheita das alfaces foi realizada no dia 22 de novembro de 2003 assim que as mesmas atingiram o desenvolvimento suficiente para a colheita.

4.3 Avaliação hidráulica

Para a verificação do desempenho hidráulico do sistema foram realizadas três coletas de vazão. Duas para a quantificação da UD (antes do plantio e depois da colheita) e a outra para obtenção do CVF do microtubo.

Para a determinação da UD foi coletado o volume total aplicado em 16 coletores (4 em cada linha). Foram avaliados quatro emissores igualmente espaçados na LL, partindo-se do primeiro emissor da linha. O tempo de coleta nesta avaliação correspondeu ao tempo total de esvaziamento da caixa d'água. Para o cálculo do CVF do emissor foram coletados os volumes aplicados por 60 microtubos durante um tempo de 10 min.

A UD e o CVF foram determinados com base nas equações a seguir:

$$UD = 100 \cdot \frac{q_{\min}}{q_{\text{med}}} \quad (2)$$

em que:

UD - Uniformidade de Distribuição, em %;

q_{\min} - média de 25% das menores vazões;

q_{med} - médias de todas as vazões.

$$CVF = \frac{\sigma}{q_{\text{med}}} \quad (3)$$

em que:

CVF - coeficiente de variação de fabricação;

σ - desvio padrão das vazões.

Além da UD e do CVF outro coeficiente de uniformidade utilizado para a determinação do desempenho do sistema foi o de uniformidade estatística (Uest). Keller et al. (2001) recomendam a utilização deste coeficiente na representação da uniformidade de pequenos sistemas de irrigação localizada:

$$U_{est} = 100 \cdot \left(1 - \frac{\sigma}{q_{med}} \right) \quad (4)$$

em que:

Uest - Uniformidade Estatística (%).

Para a verificação da variação da vazão nos emissores, conforme o esvaziamento da caixa, também foram coletadas vazões medindo-se o volume acumulado em doze coletores aos 3, 9 e 11 minutos após a abertura do registro. Para representação da variação da vazão ao longo do esvaziamento da caixa foi utilizada a eq. (5). As constantes C_1 e C_2 foram determinadas através do programa computacional Table Curve.

$$Q(L \cdot \text{min}^{-1}) = e^{\left(\frac{T(\text{min}) - C_2}{C_1} \right)} \quad (5)$$

em que:

Q – vazão de esvaziamento;

T – tempo;

C_1 e C_2 – constantes.

4.4 Avaliação da produção

Além da avaliação hidráulica, outro parâmetro de suma importância para a avaliação da viabilidade do sistema é a quantificação da produtividade final obtida. Para tanto, foram obtidos pesos úmidos da parte aérea de 16 alfaves. Sabe-se que a produtividade não depende apenas do sistema de irrigação, entretanto esta é uma informação importante para a avaliação do desempenho do sistema.

4.5 Custos

Devido a preocupação em disseminar esta técnica entre comunidades carentes, foi apresentado o custo de investimento do sistema proposto. Esse custo também foi comparado ao custo do “kit” para irrigação localizada por gravidade. Como são poucas as empresas que comercializam este tipo de “kit”, realizou-se a cotação do tubo-gotejador comercial utilizado no “kit” com uma empresa.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As linhas de derivação (LD) e lateral (LL) selecionadas foram, respectivamente, de 20 mm e 13,6 mm. Sendo a LD de PVC predial (marrom) enterrada e a LL de polietileno (PE). O filtro de discos de 130 mesh, provocou uma perda de carga de 0,1 m para a vazão de dois canteiros (384 L h^{-1}).

Os resultados das duas avaliações (antes do plantio e após a colheita) podem ser observados na Tabela 1. Os tempos de coleta foram de 27,54 min e 10 min para a primeira e segunda avaliação respectivamente.

Tabela 1 - Vazão dos microtubos, antes do plantio e depois da colheita.

Época	LL	Vazões medidas (L h ⁻¹)			
Antes do plantio	1	0,99	1,02	1,00	1,01
	2	1,18	1,02	1,01	1,02
	3	1,01	1,02	1,00	0,97
	4	1,02	1,04	1,04	1,02
Após colheita	1	1,10	1,08	1,08	1,08
	2	1,16	1,10	1,06	1,08
	3	1,07	1,10	1,08	1,09
	4	1,08	1,04	1,04	1,07

O sistema apresentou uma UD de 96,8% na primeira avaliação e 97,0% na segunda, valores considerados excelentes por Clemmens & Solomon (1997). Pode-se acrescentar que a elevada uniformidade, também, se deve ao pequeno comprimento da linha lateral (Tabela 1).

Conforme o critério de classificação dos valores de Uest, para sistemas de irrigação localizada de baixo custo e pequenas áreas, proposto por Keller et al. (2001), o desempenho do sistema pode ser considerado excelente, visto que os valores de Uest para as avaliações antes do plantio e após a colheita foram respectivamente 95,7% e 97,4%. De acordo com Keller & Bliesner (1990), sistemas de irrigação por gotejamento convencional em áreas relativamente pequenas com topografia uniforme devem ser projetados para produzir valores de Uest acima de 88%, o que também comprova o bom desempenho do sistema.

Os valores coletados de vazão foram ligeiramente superiores na segunda avaliação, o que se deve ao menor tempo de coleta, pois no início do esvaziamento da caixa as pressões são maiores e conseqüentemente também as vazões.

Justamente para se obter esta variação foram coletados os dados de vazão durante o esvaziamento do reservatório. O resultado pode ser observado na Tabela 2 e na Figura 6.

Tabela 2 - Variação de vazão dos microtubos após abertura do registro.

Linha	Vazões (L h ⁻¹)		
	3 min	11 min	19 min
Linha 1	1,19	1,15	1,08
Linha 2	1,23	1,15	1,11
Linha 3	1,20	1,13	1,05
Linha 4	1,20	1,14	1,08
Média	1,21	1,14	1,08

Para representação da variação da vazão ao longo do esvaziamento da caixa foi utilizada a eq. (6) (Figura 6).

$$Q(\text{L} \cdot \text{min}^{-1}) = e^{\left(\frac{T(\text{min}) - 290,8}{-140,66}\right)} \quad (6)$$

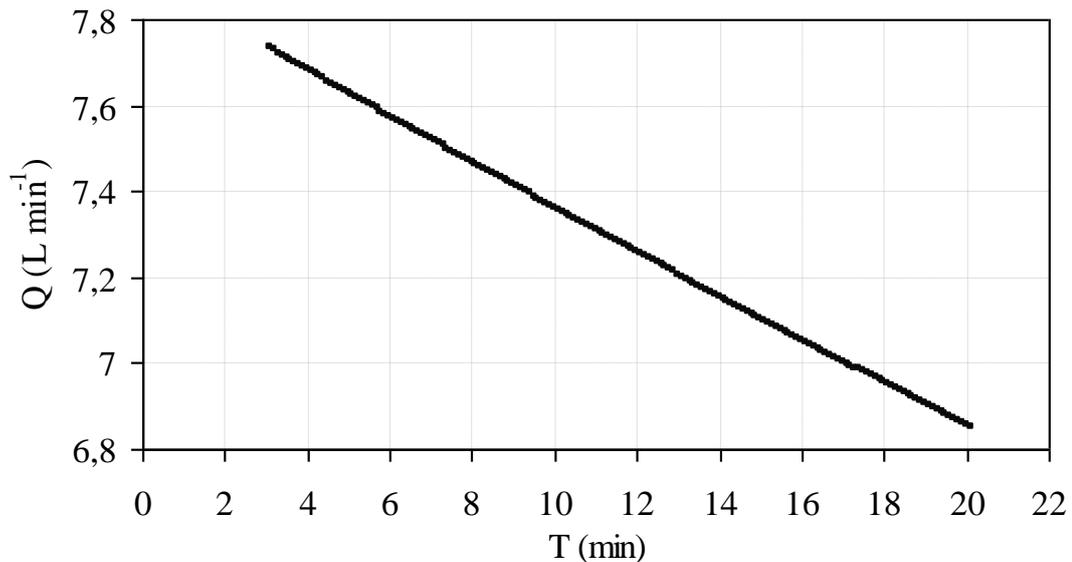


Figura 6 - Representação da variação de vazão do sistema após abertura do registro.

O emissor apresentou um CVF de 2,3%, valor considerado excelente segundo Solomon (1979). O que comprova a qualidade de fabricação do microtubo. Esta informação é muito importante, pois garante ao projetista que a qualidade do emissor não está entre as possíveis causas da baixa uniformidade de vazão no sistema.

Os valores medidos de vazão ficaram próximos do valor da vazão de projeto (1 L h^{-1}), o que demonstra a qualidade do modelo matemático utilizado no dimensionamento dos microtubos.

Durante a condução do experimento pode-se relatar as seguintes considerações sobre o funcionamento do sistema:

- Nas poucas vezes em que ocorreram entupimentos nos emissores, os microtubos foram facilmente desobstruídos. No início, devido ao tamanho reduzido da alface, a verificação do entupimento foi facilmente realizada pela visualização do bulbo molhado no solo, a partir de um determinado estágio de desenvolvimento esta verificação não foi realizada, pois a cultura cobriu toda a superfície do solo (Figura 7);



Figura 7 - Visualização da área molhada.

- A não utilização do sistema em um dos canteiros demonstrou a nítida diferença em relação ao gasto com mão-de-obra. Para uma irrigação de 5 mm com regador, em um canteiro de 15x1,25 m, foram gastos entre 14 e 15 min;
- A utilização deste sistema facilitou bastante a aplicação de fertilizantes. As três aplicações necessárias de nitrogênio foram realizadas através do sistema de irrigação.
- O manejo da irrigação foi favorecido pela utilização deste sistema, devido a possibilidade de um maior controle do volume de água a ser aplicado. Para facilitar o manejo, do lado externo da caixa existia uma marcação informando a correspondência em lâmina do volume de água (Figura 8).



Figura 8 - Reservatório com marcação informando a correspondência em lâmina do volume de água.

Quanto ao peso das alfaces colhidas, obteve-se o valor médio de 920g. Não houve diferença de produtividade entre os três canteiros. Mesmo que este resultado não possa ser atribuído a utilização deste sistema, deve ser ressaltado o alto valor obtido de produtividade. Isto comprova que é possível obter uma produtividade elevada com a utilização de técnicas de irrigação de baixo custo e pouca mão-de-obra.

5.1 Custos

Apresenta-se abaixo uma lista de material com os equipamentos utilizados no experimento e seus devidos custos (Tabela 3).

Tabela 3 - Lista dos componentes e peças utilizados no sistema de irrigação e seus respectivos custos.

Material	Quantidade	Preço unitário (R\$)	Total (R\$)
Adaptador (20 mm x ½")	2 unidades	0,18	0,36
Tes (20 mm)	2 unidades	0,30	0,60
Caixa d'água	1 unidade	70,00	70,00
Tubo PVC (20 mm)	6,75 m	0,94	6,35
Filtro de discos (130 mesh)	1 unidade	95,00	95,00
União (20 mm)	1 unidade	1,80	1,80
Tes (½")	2 unidades	0,77	1,54
Registro (20 mm)	1 unidade	6,31	6,31
Flange (20 mm)	1 unidade	3,26	3,26
Linha lateral (13,6 mm)	30 m	0,25	7,60
Adaptadores para mangueira (3/8")	4 unidades	0,48	1,92
Microtubo	230,4 m	0,09	21,00

O custo total para a implantação do sistema de irrigação foi de R\$ 215,73. Nota-se um grande peso do reservatório e do filtro no custo total do sistema, ambos representam 76% do custo total. Com a utilização de soluções alternativas para armazenamento de água e filtragem o peso destes componentes no custo total do sistema pode ser reduzido.

Como o reservatório e o filtro representam grande parte do custo aconselha-se realizar o aproveitamento máximo destes componentes, ou seja, irrigar o maior número possível de canteiros com um filtro e um reservatório. Desta forma, a área irrigada seria maior, o custo total não aumentaria muito, o que resultaria em um maior rendimento econômico. Este sistema de abastecimento (reservatório e filtro) tem potencial para irrigar até 16 canteiros. Nesta condição o custo total seria de R\$ 466,77, sendo o reservatório e o filtro responsáveis por 35% deste valor.

Algumas empresas de irrigação possuem "kits" para irrigação localizada por gravidade. Entretanto, esses sistemas utilizam tubos-gotejadores ao invés de microtubos, o que proporciona um aumento no custo e uma diminuição da flexibilidade do sistema.

Considerando que seriam necessárias, no mínimo, duas linhas de tubos-gotejadores por canteiro, que possui quatro linhas de plantio, seriam necessários 480 m de tubos-gotejadores em 16 canteiros (gotejador a cada 0,4 m). Portanto, o gasto com tubos-gotejadores seria de R\$ 504,48. No caso do microtubo, onde foi instalado um emissor para cada alface, o que proporciona um molhamento de 100% da área, o custo com linha lateral e emissores para a mesma condição seria de R\$ 229,80 (R\$ 169,00 com microtubos e R\$ 60,80 com linhas laterais).

A utilização de linhas laterais com microtubos proporcionaria uma economia de 54,4% no gasto com emissores e linhas laterais, em relação à utilização do tubo-gotejador comercial.

Com base na experiência obtida com o experimento, apresenta-se a seguir algumas estratégias para redução do custo neste sistema:

- baixa pressão (10-20 kPa), que além de eliminar o custo de bombeamento é apropriado para a utilização de microtubos;
- utilizar emissores de baixo custo que possam ser facilmente desobstruídos pelos fazendeiros, o que possibilita a utilização de filtros de construção artesanal;
- utilizar componentes baratos da indústria local;
- minimizar a utilização de laterais, uma para várias linhas de plantio.

Acredita-se que fornecimento deste tipo de irrigação para famílias que tem acesso a pequenas áreas é uma importante contribuição para a redução da pobreza em áreas rurais, tanto devido ao seu potencial de conservação dos recursos hídricos quanto devido ao seu potencial de aumento de produtividade.

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e nas condições em que foi realizado este trabalho, pode-se concluir que a proposta de utilização do sistema de irrigação localizada com microtubos por gravidade demonstrou ser uma alternativa viável tanto tecnicamente quanto economicamente.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CLEMMENS, A. J.; SOLOMON, K. H. Estimation of global irrigation distribution uniformity. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 123, n. 6, p. 454-461, 1997.

GOMES, T. M. Efeito do CO₂ na água de irrigação e no ambiente sobre a cultura da alface (*Lactuca sativa* L.). 2001. 83 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

KELLER, J. et al. Engineering low-cost micro-irrigation for small plots. International Development Enterprises, 2001. Disponível em: <<http://www.ideorg.org/html/library/library.jsp>>. Acesso em: 11 set. 2003.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 625 p.

MACKAY, H. **Low cost micro irrigation technologies for the poor**. Affordable Micro Irrigation Technology Final Report. Department for Infrastructure and Urban Development, 2003. Disponível em: <<http://www.itcltd.com/docs/amit%20final%20report.pdf>>. Acesso em: 10 Set. 2003.

PIZARRO CABELLO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia**. Madrid: Mundi-Prensa, 1987. 461 p.

SILVA, P. J. C.; BRITO, R. A. L.; AZEVEDO, H. M. Caracterização hidráulica de linhas laterais em sistemas localizados utilizando microtubos de tamanhos variados como emissores. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO DE DRENAGEM, 8., Florianópolis, 1988. **Anais...** Florianópolis: ABID, 1988. v. 1, p.473-506.

SOARES, A. A. **Características hidráulicas de microtubos Cipla e linhas laterais para irrigação por gotejamento**. 1981. 68 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1981.

SOLOMON, K. H. Manufacturing variation of trickle emitters. **Transaction of the ASAE**, v. 22, n. 5, p. 1034-1038, 1979.

SOUZA, R. O. R. M. **Modelagem, desenvolvimento de software para dimensionamento, e avaliação de sistemas de irrigação localizada por gotejamento com microtubos**. 2005. 100 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.