

**ASPERSÃO CONVENCIONAL: SIMULAÇÕES DE DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO EM PLANILHA ELETRÔNICA****Jarbas Honorio de Miranda***Bolsista do CNPq - ESALQ-USP - Departamento de Engenharia Rural**Fone: (019) 429-4217; Fax: (019) 433-0934**CEP: 13418-900 - Piracicaba-SP***Carlos Amilton Silva Santos***Bolsista CAPES - ESALQ-USP - Departamento de Engenharia Rural**Fone: (019) 429-4217; Fax: (019) 433-0934**CEP: 13418-900 - Piracicaba-SP***Rubens Duarte Coelho***ESALQ-USP - Departamento de Engenharia Rural**Fone: (019) 429-4217; Fax: (019) 433-0934**CEP: 13418-900 - Piracicaba-SP***1 RESUMO**

O sistema de irrigação por aspersão convencional constitui-se tradicionalmente de um conjunto de condutos forçados formando a linha principal e as linhas laterais portáteis, que são deslocadas ao longo do campo, a fim de que toda a área seja irrigada.

O dimensionamento de um sistema de aspersão convencional portátil baseado na análise econômica, permite a escolha dos diâmetros a serem utilizados em diferentes situações de trabalho, proporcionando alternativas de projeto não só mais econômicas como também mais convenientes.

O presente trabalho tem como objetivo analisar diferentes situações de operação de um sistema de aspersão portátil, por meio de planilha eletrônica, buscando assim qual a melhor combinação em termos de custo total por hectare, para o referido sistema.

De acordo com os valores obtidos em combinações da planilha, linha principal (4,5,6 e 8") e linha lateral (2, 3 e 4") é possível selecionar as melhores alternativas. Nas combinações obtidas observou-se que os diâmetros mais econômicos, foram 6 polegadas para a linha principal e 4 polegadas para a linha lateral.

**UNITERMOS:** dimensionamento econômico, aspersão convencional, planilha eletrônica.

**MIRANDA, J.H. DE, SANTOS, C.A.S., COELHO, R.D. SPRINKLER IRRIGATION: ECONOMIC DESIGN USING SPREADSHEET****2 ABSTRACT**

The most difunded sprinkler hand-move system has a pipe network based on principal and lateral lines, moving latter over the field to irrigate all area.

The design of a sprinkler hand-moving system based on an economic analysis, allow a choice of diameters to be used in different situations, supplying project options not only more economic but also convenient.

The present paper analyzes different operational situations of a sprinkler portable system, through eletronic spreadsheet, searching the best combination in terms of total cost per hectare. According to the values obtained in different combinations, of the principal (4,5,6 and 8") and lateral lines (2,3 and 4") it's possible to select the best alternative.

It was observed that the most economic combination of different diameters, was 6 inches for the principal line and 4 inches for the lateral line.

**KEYWORDS:** economic design, sprinkler hand-moving system, eletronic spreadsheet.

### 3 INTRODUÇÃO

Existem diversas formas de dimensionar um sistema de irrigação convencional, uma delas baseia-se apenas no aspecto hidráulico, no entanto, a seleção econômica das tubulações deve receber tanta importância quanto a solução hidráulica do problema (Bernardo, 1989).

O dimensionamento de um sistema de aspersão convencional portátil baseado na sua análise econômica, permite além de um critério técnico, obter uma melhor possibilidade de escolha dos diâmetros a serem utilizados no seu sistema possibilitando uma análise sob diferentes situações de trabalho, dando maiores condições para o projetista de implantar um sistema que possa garantir ao agricultor um desempenho satisfatório do empreendimento.

Os custos decorrentes do sistema de irrigação variam acentuadamente, com as condições existentes em cada local e com as exigências intrínsecas do sistema, podendo ser atribuídos aos custos para suprimento de água às áreas irrigadas, incluindo a instalação de energia elétrica; custo para adequação da área ao sistema de irrigação; custos para a construção ou aquisição e instalação do sistema de irrigação (Scaloppi, 1986). Estes refletem diretamente nos custos operacionais do sistema utilizado.

A análise de custos de irrigação deve considerar além do investimento inicial (custos iniciais) para adoção da técnica, os custos fixos, operacionais e de manutenção, calculados com base anual e por unidade de área (Pair et al. 1969).

Os custos iniciais correspondem aos investimentos realizados na aquisição e implantação do sistema de irrigação, este é relativamente elevado e reflete diretamente nos custos operacionais do sistema.

<sup>1</sup>Stipper (1956) citado por Zocoler (1994), verificou que o investimento inicial médio decresceu consideravelmente com o aumento da área irrigada. Quanto a composição do investimento, observou que a linha principal e o conjunto moto-bomba foram os itens que mais influenciaram sobre o custo, representando cerca de 65% do total.

De posse de várias combinações nota-se que as vezes é melhor investir um pouco mais na aquisição do equipamento e obter uma área irrigada maior, cujo custo de aquisição do equipamento pode ser compensado pela rentabilidade da área adicional.

A possibilidade da utilização da planilha para simulação de condições de projeto é extremamente útil, pois possibilita uma visualização mais global do sistema o que torna o processo de decisão mais transparente ampliando o leque de escolha do projetista (vantagens e desvantagens).

### 4 MATERIAL E MÉTODOS

A planilha de cálculo utilizada foi o "EXCEL 5.0", na qual foram montadas simulações por meio de variações da evapotranspiração, taxa de juros, vida útil do sistema, condições topográficas da adutora e daí retirar os custos referentes a cada situação. A planilha foi dividida em pastas de execução, em que todas estão interligadas, possibilitando ao usuário uma série de combinações possíveis. As pastas foram denominadas: projeto, combinações, banco de dados e lay-out (Obs. As pastas chamadas de módulos são utilizadas por uma rotina de cálculo denominada macro, na qual é acionada pelo botão "combinar" efetuando o cálculo de número máximo de aspersores).

A área para a qual o projeto foi desenvolvido, apresenta dimensões variáveis de acordo com a opção de cálculo dirigida pelo usuário da planilha, tratando-se de um sistema de aspersão convencional semi-portátil.

Para o dimensionamento do sistema foram utilizados critérios convencionais (pasta projeto) e critérios econômicos (pasta combinações).

O aspersor utilizado foi o Dantas MD 20.A com as seguintes características: bocal 4,4,x 2,5 mm, pressão de serviço de 35 mca, espaçamento 12x12 m, custo de R\$ 7,90 / unidade, alcance do aspersor de 31 metros, precipitação de 9 mm/h, vazão de 1,67 m<sup>3</sup>/h, eficiência de 65,9 %, altura do aspersor localizada a 1 metro da superfície e regulador de pressão a R\$ 8,00 / unidade.

As combinações do projeto, foram feitas buscando as combinações dos seguintes itens: linha lateral com diâmetros de 2", 3" e 4", vida útil do sistema com 5, 10 e 20 anos, evapotranspiração de 4 mm e 8 mm/dia, taxa de Juros de 2, 6 e 12 %, 3 meses de operação por ano, comprimento da adutora em 3 situações: muito favorável (100 m de comprimento e desnível de 15 m), medianamente favorável (500 m de comprimento e desnível de 40 m), pouco favorável (2000 m de comprimento e desnível de 65 m).

Dentro da pasta "combinações", o usuário pode simular via macros, o cálculo do número máximo de aspersores em uma linha lateral, de acordo com a porcentagem admissível de perda de carga:  $\Delta P$  (20 e 40%), variação de pressão admissível entre o primeiro e o último regulador de pressão na haste do aspersor igual a 20 e 40 % da pressão de serviço. Este cálculo vai desencadear toda uma série de cálculos referentes ao dimensionamento econômico do sistema.

<sup>1</sup> STIPPLER, H. H. **Sprinkler irrigation in the pacific Northwest**. Washington, U. S. Department of the Agricultural Research Service. 256p. (Agriculture Information Bulletin, 166).

Os resultados se referem sempre aos 2 valores de evapotranspiração pré-fixados (4 e 8 mm), daí pode-se determinar a área a ser irrigada e por conseguinte os respectivos custos.

O custo fixo se refere ao custo do comprimento da linha lateral somado ao custo de aspersores utilizados, reguladores de pressão, custo da tubulação da adutora, custo da tubulação da linha principal, sendo incluído ainda neste somatório um aumento de 20% referente ao custo da bomba e multiplicado por um fator de recuperação de capital. Este fator de recuperação de capital é obtido pela Equação 1:

$$FRC = \frac{Ju * (Ju + 1)^{VU}}{(Ju + 1)^{VU} - 1} \quad (1)$$

em que:

FRC = fator de recuperação de capital;

Ju = taxa de juros (%);

VU = vida útil (anos).

Para o cálculo do custo variável foram levados em consideração 3 aspectos: custos de bombeamento, número de horas de funcionamento e custo do cv hora. No caso do bombeamento foi calculado a vazão exigida pelas linhas laterais, implantadas no sistema, de acordo com o respectivo número de aspersores (incluindo também o dobro destas linhas do sistema como sendo linhas de espera que foram estabelecidas nas condições do projeto).

Na altura manométrica envolveu-se a pressão necessária no início da linha lateral, o desnível do rio ao ponto de entrada na área, altura de sucção, perda de carga na linha principal, perda de carga na adutora, perda de carga na sucção. Tudo isto em função do número de horas em funcionamento e do custo do cv hora, considerando-se a eficiência do conjunto moto-bomba.

O custo total anual por hectare foi obtido somando-se os custos fixos e custos variáveis e dividindo-os pela área.

Para ser obtido o consumo de bombeamento por hectare (cv/ha), foi o mesmo cálculo envolvido para o custo variável, só não foi levado em consideração o número de horas de funcionamento e o custo do consumo (cv/hora).

Pode ser ainda calculado dentro da pasta combinações, resultados referentes ao custo do ramal rural, custos referentes à energia. O usuário tem a possibilidade de calcular por dois modos. Um cálculo estimando uma situação real e outro, como uma simulação para se ter uma idéia do custo. Para um cálculo real torna-se necessário entrar com os valores de custo referentes à saída de ramal, ramal rural/m, entrada de serviço, ramal de serviço, estação transformadora. Se desejar fazer uma simulação o usuário deve colocar apenas o custo do ramal/Km e o comprimento da linha. Estes valores não estão adicionados ao custo total do sistema, ficando a opção para o usuário, em ter o custo total com ou sem o custo do ramal.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram selecionadas as nove situações que apresentaram os menores custos, num total de 270 combinações efetuadas sob diferentes condições topográficas, taxas de juros, diferentes demandas evaporativas e vida útil do sistema, relacionados anteriormente. A nomenclatura utilizada no Quadros, “muito” “médio” e “pouco”, referem-se às condições topográficas de muito favorável, medianamente favorável e pouco favorável, respectivamente. O Quadro 1 mostra a relação de custos para uma vida útil do sistema de 5 anos e evapotranspiração de 4 mm/dia. Pode-se notar que os diâmetros de 4 e 6 polegadas foram os mais econômicos em todas as situações. O custo variável aumentou devido à demanda de bombeamento e o custo fixo foi influenciado pelo aumento da taxa de juros, ambos estes custos estão embutidos no custo total anual por hectare. O custo total anual por hectare ficou na faixa de R\$185,77 a R\$216,65 para a variação de pressão de 20% e de R\$475,66 a R\$547,29 para a variação de pressão de 40%. Em todo caso é de se ressaltar que na variação de pressão de 40% um custo de R\$475,66 se apresenta mais vantajoso que os outros, pois além de apresentar um menor custo dentre os outros do mesmo grupo de variação, tem ainda o ganho de área que é da ordem de 27%, tornando-se mais vantajoso que os demais, para este tipo de valor de variação (Quadro 1). Observa-se também que houve um acréscimo dos valores dos custos de acordo com o aumento da taxa de juros, do critério de variação de pressão e à medida que as condições da adutora se tornavam menos favoráveis e demanda evaporativa, mas observa-se também que quando a vida útil do sistema é maior o custo diminui, conforme Figura 1.

Quando se aumenta a vida útil do sistema o custo total anual / ha diminui (Figura 1). Esta tendência, é seguida por todas as outras combinações, nas suas devidas situações topográficas (Quadro 2). Os valores ficaram em uma faixa intermediária de R\$138,05 a R\$169,12 por hectare para uma variação de pressão de 20%, sofrendo um decréscimo da ordem de aproximadamente 30%, em relação ao de vida útil de 5 anos. Todas as melhores combinações apresentaram novamente a combinação de 4 polegadas para a linha lateral e 6 polegadas para a linha principal, já aparecendo também em alguns casos o diâmetro de 8 polegadas para a linha principal.

O Quadro 3 representa a situação de 4 mm, com vida útil de 20 anos. Os valores variaram de R\$110,90 a 231,65 para a variação de pressão de 20% e R\$257,30 a R\$370,40 para a variação de pressão de 40%, e novamente o diâmetro para a linha lateral permaneceu o de 4 polegadas, mas para esta situação o diâmetro selecionado para a linha

principal foi o de 8 polegadas. Este diâmetro de 8 polegadas faz com que se tenha uma menor perda de carga para compensar as condições topográficas pouco favoráveis do sistema e seus devidos desníveis geométricos acentuados (o diâmetro de 8" é pouco utilizado na prática).

No Quadro 4 são mostradas as melhores combinações para a evapotranspiração de 8 mm. Os valores predominantes para a vida útil de 5 anos foram os valores de 4 polegadas para a linha lateral e 6 polegadas para a linha principal. E à medida que se aumenta a vida útil o diâmetro de 8 polegadas vai se tornando presente. Com relação à área irrigada, vai ter o seu valor praticamente a metade do valor da área irrigada para uma evapotranspiração de 4 mm. No Quadro 4 observa-se que os valores são mais elevados do que para a evapotranspiração de 4 mm. Os custos variam de uma faixa de R\$316,13 a R\$364,67 para uma situação muito favorável, de R\$524,76 a R\$600,37 para a condição intermediária e de R\$897,79 a R\$1.030,69 para uma condição pouco favorável.

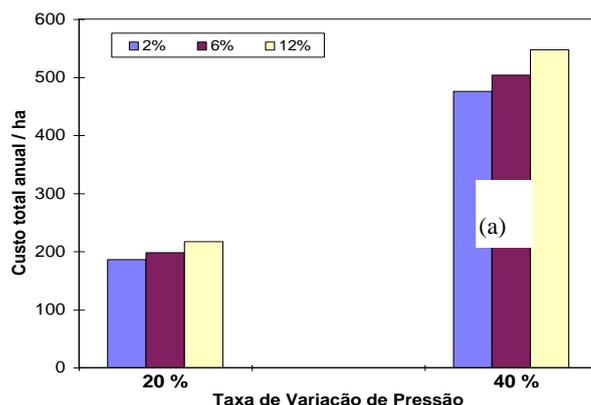
Nota-se pela Figura 2, que todas as situações pouco favoráveis apresentaram um custo mais elevado, do que as outras condições. As condições topográficas denominadas "muito favoráveis", apresentaram todas uma variação de pressão da ordem de 20%, aumentando-se o seu valor à medida que se aumentava a taxa de juros a valores de 2, 6 e 12% (Figura 2). Já nas condições "pouco favoráveis" os valores de variação de pressão foram de 40%, e também sofreram um aumento à medida que se aumentou a taxa de juros, que afeta diretamente os valores do custo fixo.

No Quadro 5, ainda nos mesmos valores de evapotranspiração de 8 mm, mas aumentando-se a vida útil para 10 anos, observa-se que o diâmetro da linha lateral permaneceu de 4 polegadas, e na linha principal obteve-se em alguns casos o diâmetro de 8 polegadas. Os valores obtidos são menores que os de vida útil de 5 anos pois o fator de correção de capital para 10 anos diminui, alterando o valor do custo fixo.

No Quadro 6, obtida com dados da evapotranspiração de 8mm, mas com vida útil de 20 anos, nota-se que o diâmetro da linha lateral permanece o de 4 polegadas e na principal houve algumas combinações com diâmetro de 6 polegadas. O diâmetro de 6 polegadas apareceu somente nas condições em que a taxa de juros é maior em torno de 12%, onde o custo fixo para esta tubulação é mais barato. Também nesta situação, observa-se que não compensa a utilização da combinação para uma taxa de 6 %, onde a variação de custo para as situações intermediárias e pouco favorável tem um aumento de 58% enquanto que a área permaneceu no mesmo tamanho. Pode-se observar pelo Quadro 6, que os custos para a variação de pressão de 40 % aumentam de acordo com o aumento da taxa de juros, sendo que o valor mais elevado é o para uma taxa de 12 %.

Quadro 1 - Custos referentes às melhores combinações econômicas para a situação de vida útil de 5 anos, ETP de 4 mm/dia.

ETP	Vida Útil	$\Delta P$	Adutora	$\Delta g$	i %	$\emptyset$ lateral "	$\emptyset$ principal "	custo total anual/ha	Área (ha)
4	5	20	muito	15	2	4	6	185,77	35,91
4	5	20	muito	15	6	4	6	197,72	35,91
4	5	20	muito	15	12	4	6	216,65	35,91
4	5	20	médio	40	2	4	6	290,15	35,91
4	5	40	médio	40	6	4	6	306,66	45,93
4	5	40	médio	40	12	4	6	332,01	35,91
4	5	40	pouco	65	2	4	6	475,66	45,93
4	5	40	pouco	65	6	4	6	503,36	35,91
4	5	40	pouco	65	12	4	6	547,29	45,93



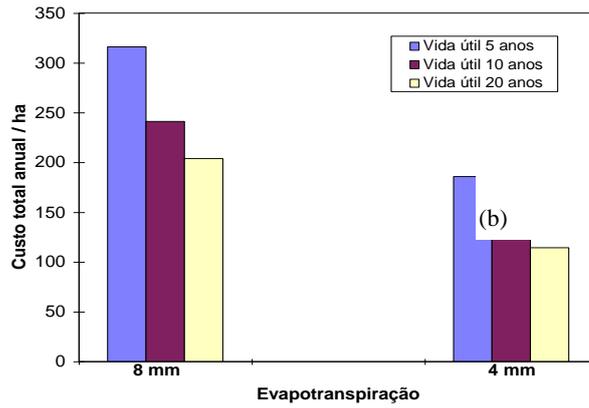


Figura 1 - Custo total anual /ha para os diâmetros de linha principal de 6”, linha lateral de 4”, variando a taxa de juros e critério de variação de pressão (a) e custo total anual /ha de acordo com a evapotranspiração e vida útil do sistema (b).

Quadro 2 - Custos referentes às melhores combinações econômicas para a situação de vida útil de 10 anos, ETP de 4 mm/dia.

ETP	Vida Útil	$\Delta P$	Adutora	$\Delta g$	i %	$\varnothing$ lateral ”	$\varnothing$ principal ”	custo total anual/ha	Área (ha)
4	10	20	muito	15	2	4	6	138,05	35,91
4	10	20	muito	15	6	4	6	149,66	35,91
4	10	20	muito	15	12	4	6	169,12	35,91
4	10	20	médio	40	2	4	8	212,93	45,93
4	10	40	médio	40	6	4	6	233,14	35,91
4	10	40	médio	40	12	4	6	263,87	35,91
4	10	40	pouco	65	6	4	8	323,49	45,93
4	10	40	pouco	65	2	4	8	335,32	45,93
4	10	40	pouco	65	12	4	6	434,82	35,91

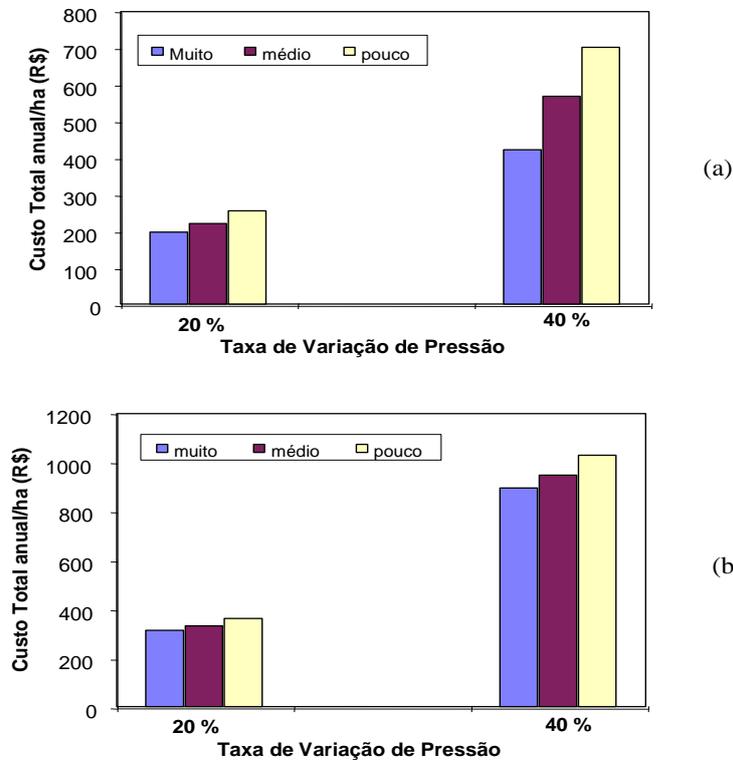


Figura 2 - Custo total anual /ha para os diâmetros de linha principal de 6”, linha lateral de 4”, variando as condições topográficas da adutora para as taxas de evapotranspiração de 4 (a) e 8 (b) mm e variação de pressão de 20 e 40 %

Quadro 3 - Custos referentes às melhores combinações econômicas para a situação de vida útil de 20 anos, ETP de 4 mm/dia.

ETP	Vida Útil	ΔP	Adutora	Δg	i %	Ø lateral "	Ø principal "	custo total anual/ha	Área (ha)
4	20	20	muito	15	2	4	8	110,90	35,91
4	20	20	muito	15	6	4	8	126,61	35,91
4	20	20	muito	15	12	4	6	148,72	35,91
4	20	20	médio	40	2	4	8	170,14	35,91
4	20	40	médio	40	6	4	8	192,47	45,93
4	20	20	médio	40	12	4	6	231,65	35,91
4	20	40	pouco	65	2	4	8	257,30	45,93
4	20	40	pouco	65	6	4	8	297,78	45,93
4	20	40	pouco	65	12	4	8	370,40	45,93

Quadro 4 - Resultados referentes às melhores combinações dentro das cinco mais econômicas para a situação de vida útil de 5 anos, ETP de 8 mm.

ETP	Vida Útil	ΔP	Adutora	Δg	i %	Ø lateral "	Ø principal "	custo total anual/ha	Área (ha)
8	5	20	muito	15	2	4	6	316,13	17,97
8	5	20	muito	15	6	4	6	334,91	17,97
8	5	20	muito	15	12	4	6	364,67	17,97
8	5	20	médio	40	2	4	6	524,76	17,97
8	5	40	médio	40	6	4	6	556,03	22,98
8	5	40	médio	40	12	4	6	600,37	22,98
8	5	40	pouco	65	2	4	6	897,79	22,98
8	5	40	pouco	65	6	4	6	949,17	22,98
8	5	40	pouco	65	12	4	6	1.030,69	22,98

Pode-se concluir no Quadro 5, a comparação para dois custos nas situações de média e pouco favorável, nas quais irrigaram a mesma área porém o custo da situação pouco favorável está em torno de 62% mais caro, não compensando neste caso a utilização desta combinação.

Quadro 5 - Resultados referentes às melhores combinações dentro das cinco mais econômicas para a situação de vida útil de 10 anos, ETP de 8 mm.

ETP	Vida Útil	ΔP	Adutora	Δg	i %	Ø lateral "	Ø principal "	custo total anual/ha	Área (ha)
8	10	20	muito	15	2	4	6	241,13	17,97
8	10	20	muito	15	6	4	6	259,39	17,97
8	10	20	muito	15	12	4	6	289,97	17,97
8	10	40	médio	40	2	4	8	393,99	22,98
8	10	20	médio	40	6	4	6	426,23	17,97
8	10	20	médio	40	12	4	6	479,33	17,97
8	10	40	pouco	65	2	4	8	638,61	22,98
8	10	40	pouco	65	6	4	8	708,98	22,98
8	10	20	pouco	65	12	4	6	820,60	17,97

Quadro 6 - Resultados referentes às melhores combinações dentro das cinco mais econômicas para a situação de vida útil de 20 anos, ETP de 8 mm.

ETP	Vida Útil	ΔP	Adutora	Δg	i %	Ø lateral "	Ø principal "	custo total anual/ha	Área (ha)
8	20	20	muito	15	2	4	8	199,79	17,97
8	20	20	muito	15	6	4	8	223,15	17,97
8	20	20	muito	15	12	4	6	257,91	17,97
8	20	40	médio	40	2	4	8	318,99	17,97
8	20	20	médio	40	6	4	8	358,91	22,98
8	20	20	médio	40	12	4	6	423,66	17,97
8	20	40	pouco	65	2	4	8	494,75	22,98
8	20	40	pouco	65	6	4	8	569,38	22,98
8	20	20	pouco	65	12	4	8	703,27	22,96

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNARDO, S. *Manual de irrigação*. 5ª ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1989. 596 p.  
 PAIR, C. H., et al. *Sprinkler irrigation*. Washinton: Sprinkler Irrigation Association, 1969. 444p.  
 SCALOPPI, E. J. Critérios básicos para seleção de sistemas de irrigação. *Inf. Agropecu.* v.139, n.12,p.54-63, 1986.

---

ZOCOLER, J. L. *Custos da irrigação por aspersão convencional em função da pressão de operação, diâmetro dos bocais e espaçamento dos aspersores*. Piracicaba, 1994. 124 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.