



**VANESSA DE FÁTIMA GRAH**

**SOLUÇÃO ALTERNATIVA PARA  
BOMBEAMENTO DE ÁGUA E AUTOMAÇÃO  
DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO**

**LAVRAS-MG**

**2013**

**VANESSA DE FÁTIMA GRAH**

**SOLUÇÃO ALTERNATIVA PARA BOMBEAMENTO DE ÁGUA E  
AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO**

Monografia Apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós Graduação *Latu Sensu* em Formas Alternativas de Energia, para obtenção do título de Especialista em Formas Alternativas de Energia

**Orientador**

**Dr. Luíz Antônio Lima**

**LAVRAS**

**MINAS GERAIS-BRASIL**

**2013**

**VANESSA DE FÁTIMA GRAH**

**SOLUÇÃO ALTERNATIVA PARA BOMBEAMENTO DE ÁGUA E  
AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Formas Alternativas de Energia, para a obtenção do título de Especialista em Formas Alternativas de Energia.

APROVADA em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2013

Dr.

Dr.

Dr. Luiz Antônio Lima  
(Orientador)

**LAVRAS  
MINAS GERAIS- BRASIL**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela dádiva da vida, a minha família por ter proporcionado os meios necessários para concluir esse curso.

A Universidade Federal de Lavras pelo curso oferecido, ao orientador Dr. Luiz Antônio Lima, aos professores do curso de Pós-graduação em Formas Alternativas de Energia e aos tutores e funcionários do curso, que desempenharam papel importante no andamento do curso.

A Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia da Irrigação, pela disponibilidade das instalações. Ao professor Tarlei Arriel Botrel e todos os professores do curso de pós-graduação em Irrigação e Drenagem. Aos colegas de pós-graduação pelo apoio.

## RESUMO

O uso econômico da água garantirá que políticas e práticas de irrigação sejam sustentáveis, para que no futuro um terço da alimentação mundial possa continuar a vir de 15% da superfície terrestre do planeta. Em algumas regiões do Brasil, existem inúmeras propriedades rurais que não possuem o fornecimento público de energia elétrica. Nesses locais, para que a agricultura irrigada moderna e automatizada possa ser introduzida é necessária a utilização de bombas e equipamentos que dispensam o emprego de energia elétrica. Diante deste cenário, idealizou-se um bombeamento da água de irrigação por um sistema de roda hidráulica, associado à automação da irrigação por gotejamento a partir, apenas, de energia hidráulico-mecânica. Para isso utilizou-se o mesmo princípio do sistema de acionamento automático para aspersão em malha, desenvolvido por Grah (2011)<sup>1</sup>. O objetivo do presente trabalho foi demonstrar a viabilidade técnica de uma alternativa para o bombeamento de água para uma irrigação automatizada sem uso de energia elétrica. O equipamento de automação desenvolvido para aspersão em malha, também pode ser utilizado para sequenciar parcelas de irrigação localizada. Os resultados revelaram que o sequenciador automático é uma alternativa técnica viável, que pode ser aplicada em propriedades de pequeno e médio porte que não possuem disponibilidade de energia elétrica.

Palavras-chave: baixo custo, inovação tecnológica, roda d'água.

---

<sup>1</sup> Equipamento patenteado = PI 1.104.434-9.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	7
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	9
2.1 Irrigação localizada.....	9
2.2 Automação dos sistemas de irrigação .....	11
2.3 Bombeamento de água por roda d'água.....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	19
3.1 Seleção da roda d'água .....	19
3.2 Automação hidráulica-mecânica do sistema de irrigação.....	22
3.2.1 Fundamentações prática do protótipo .....	22
3.2.2 Aplicação do sistema de sequenciamento hidráulico-mecânico para parcelas de irrigação .....	25
3.2.3 Custos Sistema de automação sem energia elétrica.....	30
4 RESULTADOS .....	301
4.1 Seleção da roda d'água .....	31
4.2 Automação das parcelas de irrigação.....	32
4.2.1 Sistema de acionamento da válvula de 3 vias .....	32
4.2.2 Temporizador.....	35
4.3.3 Automação das parcelas de irrigação.....	36
4.3.4 Resultado da avaliação de custo do equipamento de automação.....	38
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	40
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

## **1 INTRODUÇÃO**

Em algumas regiões do Brasil, o clima não é favorável para a agricultura durante todo o ano. Nessas localidades as chuvas são deficitárias durante parte do ano e mal distribuídas, o que torna a irrigação uma técnica imprescindível para manter a produtividade das culturas e torná-las viáveis. Atualmente existem diferentes sistemas de irrigação, com diferentes características que se adequam a diferentes realidades dos produtores, cabendo a estes escolher qual sistema traz mais benefícios tanto financeiros como técnicos.

A irrigação localizada é um sistema que se destaca por sua eficiência no uso da água e energia. A água é aplicada por gotejadores ou microaspersores que fazem a distribuição da água de forma pontual, somente a região da raiz é molhada. Desse modo, as perdas de água por evaporação ou deriva são mínimas, e não há o molhamento de partes do solo onde não possui cultura plantada, como é o caso da irrigação por aspersão. Por isso, o volume de água para irrigação localizada é muito menor, sendo uma vantagem para locais onde os recursos hídricos são escassos ou em locais com conflitos pelo uso da água. Além desses fatores, esses sistemas apresentam vantagens técnicas. Como os emissores necessitam de pequena pressão de serviço para funcionar, não se faz necessário o uso de motobombas com altas potências para abastecer o sistema, o que reflete uma economia no consumo de energia elétrica. No caso de irrigações por gravidade, esse fator influencia na altura do reservatório de abastecimento, pois quanto menor a pressão de serviço menor pode ser essa altura e os investimentos iniciais de implantação do sistema.

Um dos itens de um sistema de irrigação são as motobombas, equipamentos que fornecem a energia necessária ao líquido para que este possa chegar até os emissores com a pressão de serviço requerida. Atualmente as mais

utilizadas são as bombas centrífugas movidas por motor elétrico, apresentam boa eficiência e trabalham com altas pressões. Contudo, alguns locais não possuem disponibilidade de energia elétrica e por isso utilizam-se bombas que funcionam por meio de outro tipo de energia como a solar, hídrica e eólica. O bombeamento por energia hídrica é uma prática muito antiga e bastante utilizada em pequenas propriedades agrícolas onde não há disponibilidade de energia elétrica. As bombas movidas por meio de roda d'água apresentam capacidade de elevação de água, entretanto a vazão é intermitente devido o princípio de funcionamento da bomba de pistão, a mais comumente encontrada. Embora intermitente, os efeitos dessa característica sobre o funcionamento de emissores de irrigação ainda não foram avaliados.

É notório que a população rural vem diminuindo ao longo dos anos, e como consequência a mão de obra tem se reduzido, levando os agricultores a buscar alternativas que aumentem a produtividade da mão de obra no campo. Em locais com pouca disponibilidade de água é importante o parcelamento da área de irrigação, entretanto essa divisão da área leva o agricultor a gastar mais tempo alternando as parcelas que irão funcionar. Nesse contexto, a automação torna-se uma ferramenta essencial para reduzir o tempo que o produtor leva para irrigar toda a área. Contudo, nos locais sem eletrificação é limitado o uso de automação dos sistemas de irrigação, e como a maioria desses equipamentos são acionados por energia elétrica, o uso de tais equipamentos são inviáveis. Por isso, é de suma importância o desenvolvimento de tecnologias independentes de energia elétrica para que os produtores que vivem nas regiões carentes de energia possam usufruir de técnicas como a automação, que facilitam as atividades no campo. O objetivo do trabalho foi demonstrar uma alternativa para o bombeamento de água para uma irrigação automatizada sem uso de energia elétrica.



## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Irrigação localizada**

São vários os métodos de irrigação disponíveis para os produtores e cada sistema adapta-se melhor em situações específicas, ou seja, não existe um método melhor do que outro, mas sim sistemas de irrigação que se adaptam melhor a determinadas situações (GRAH et. al,2012). Com o sistema de irrigação localizada não é diferente. Esse método possui vantagens e desvantagens e para que sua escolha seja recomendada, deve-se avaliar as condições existentes na propriedade.

Segundo Silva & Silva (2005), dentre as inúmeras vantagens desses sistemas, destacam-se: a) Maior eficiência no uso da água, defensivos agrícolas e fertilizantes, quando adotada a técnica da quimigação, devido esses sistemas não molhar toda a superfície do solo; b) Economia de mão de obra, por se tratar de sistemas fixos, quando comparados com os sistemas convencionais de irrigação por aspersão e por superfície; c) Adaptam-se a diferentes tipos de solos e topografia; d) Maior eficiência no controle fitossanitário, por não irrigar ervas daninhas e não molhar a parte aérea dos vegetais, o que reduz a incidência de patógenos nas folhagens e frutos, minimizando os gastos com herbicidas, inseticidas e fungicidas. Bernardo (2006) mostra ainda mais uma vantagem: o uso da automação que poder ser por meio de sensores de umidade do solo, medidores de volume e tempo e, com isto, iniciar e finalizar um turno de irrigação automaticamente.

Segundo Ribeiro et al. (2005), o uso da irrigação localizada vem crescendo cada vez mais devido ao avanço tecnológico na agricultura irrigada que procura, sempre, métodos de irrigação que apresentem grande eficiência

aliada à redução nos custos de produção e consumo de água e energia. Na ótica da agricultura sustentável, a irrigação localizada hoje é o sistema de maior eficiência no uso da água, o que tem atraído a atenção dos produtores. Nas regiões onde há escassez de recursos hídricos o sistema localizado aparece como alternativa mais favorável para que o produtor não pare de produzir, em períodos com déficit de chuva. Além dos fatores ambientais, esse sistema apresenta um importante aspecto técnico: baixo requerimento de energia, pois os emissores funcionam com baixas pressões de serviço. Nogueira et al. (1998) corroboram a ideia supracitada, afirmando que, com a preocupação em nível mundial, com a questão do gerenciamento, conservação e economia dos recursos hídricos, tem sido recomendado, para a grande maioria das culturas, o uso do método de irrigação localizada, por ser mais eficiente na aplicação de água e de fertilizantes.

Contudo, a irrigação localizada apresenta algumas limitações como: altos custos de implantação do sistema principalmente devido a necessidade de filtros para prevenirem o entupimentos dos emissores, por se tratarem de pequenos orifícios que fazem a distribuição de água (0,5 a 1,5mm). No entanto, são muitas as pesquisas realizadas na área de equipamentos e materiais, para resolver os problemas com entupimentos e conseqüentemente diminuir os custos (RIBEIRO et al., 2005).

Testezlaf et. al (2002) afirmam que nem sempre é possível irrigar toda a área de uma só vez, principalmente devido a limitação de água na propriedade. Neste caso, a área deve ser dividida em setores que serão irrigados de forma sequencial, ou seja, em uma ordem preestabelecida de necessidade de irrigação, e, após a irrigação de todos os setores, o ciclo é finalizado e pode ser iniciado novamente.

## 2.2 Automação dos sistemas de irrigação

Atualmente, com os debates sobre mudanças climáticas e a escassez dos recursos hídricos, a agricultura irrigada aparece competindo pela distribuição de água com os setores urbano e industrial. Sabe-se que em algumas regiões do Brasil, o consumo de água pela agricultura pode chegar a 70% do total da água retirada dos recursos hídricos. Além disso, há uma pressão da sociedade para que a agricultura se torne uma atividade mais eficiente, com maior produção por área. Nesse contexto, a irrigação é uma técnica necessária, pois a aplicação de água nas culturas aumenta a eficiência de uso de outros insumos, garante a produção na entressafra em regiões áridas ou de regime pluviométrico inconstante, além de oferecer segurança durante os veranicos (QUEIROZ; BOTREL; FRIZZONE, 2008). Mas não só isso, a irrigação permite que as culturas expressem o seu potencial produtivo, por não haver limitações de fornecimento de água.

A utilização otimizada de água torna a automação dos sistemas de irrigação de extrema importância para o uso racional de água e melhoria da qualidade de vida. Nos últimos anos, observa-se na agricultura irrigada um avanço da automação dos sistemas. De acordo com Alencar et. al (2007), automação é qualquer sistema que substitua o trabalho humano e que vise soluções rápidas e econômicas, a fim de alcançar os objetivos da agricultura.

É notória a migração da população rural para a área urbana, ocasionada por diversos fatores. O fato é que com o êxodo rural, a mão de obra no campo, torna-se cada vez mais escassa e cara. De acordo com Souza (2001), a falta de mão de obra faz com que produtores rurais optem por alternativas que tornem o trabalho no campo mais produtivo, ou seja, um menor número de pessoas no campo trabalhando por unidade de área. Por outro lado, o aumento da produtividade da mão de obra agrícola pode ser alcançado com investimentos

em educação e inovações tecnológicas que permitam utilizar com maior eficiência os fatores convencionais, terra e trabalho (FREIRE, 2000). Além de suprir a falta de mão de obra no campo, a automação da irrigação, melhora o gerenciamento da propriedade agrícola. Segundo Cansado (2003), o controle automático permite um aumento da produtividade do agricultor, pois o libera para a realização de tarefas mais nobres, de gerenciamento, planejamento e tomada de decisão.

Com o uso da automação em sistemas de irrigação, é maior a precisão de quanto e quando irrigar, o que torna o uso da água mais eficiente, esse aspecto é de suma importância, quando o enfoque é a sustentabilidade da agricultura irrigada. Sistemas automáticos de controle de irrigação se tornaram uma ferramenta essencial para a aplicação de água na quantidade necessária e no devido tempo, contribuindo para a manutenção da produção agrícola e, também, para a utilização eficiente dos recursos hídricos (TESTEZLAF et.al, 2002).

De acordo com Figueredo Júnior et al. (2004), no Brasil a automação de sistemas de irrigação vem sendo implantada com maior intensidade nos últimos anos, principalmente em função do surgimento de técnicas apropriadas que vem acompanhando a modernização crescente da agricultura e abertura do mercado brasileiro às importações.

Uma das maneiras para se ter uma irrigação eficiente e maximizar a produção, envolve a automação do sistema para a determinação de quando e quanto irrigar, através do uso de tecnologias de sensores, comunicação, e dispositivos de atuação. Algumas vantagens são adquiridas ao utilizar-se a automação em sistemas de irrigação: diminuição de mão de obra; possibilidade de irrigações noturnas sem necessidade de acompanhamento; redução do custo de bombeamento; precisão nos tempos de turnos de irrigação e melhor planejamento. Suzuki e Hernandez (2009) afirmam que, por essas vantagens, nota-se que uma simples automação supre muita das necessidades de exploração

racional e rentável, tais como a otimização dos recursos produtivos e redução de custo.

São muitos os trabalhos que relacionam automação eletrônica com sistemas agrícolas. Graças aos notáveis avanços nos campos da eletrônica e de controle, sistemas “simples” estão evoluindo para outros muito mais complexos que, baseados principalmente na utilização de microprocessadores e/ou microcontroladores, possibilitam o controle total da instalação da irrigação (TARJUELO, 2005). Existem atualmente no mercado inúmeros equipamentos de qualidade, que aperfeiçoam e facilitam a utilização de sistemas de irrigação. Entretanto, o custo dessas válvulas e controladores pode tornar a automação do sistema inviável para pequenas áreas (SOUZA, 2001). O mesmo autor afirma que grande parte das inovações tecnológicas tem como princípio básico, dispositivos eletrônicos. Com isso, o preço dos componentes para sistemas automáticos se torna dispendioso, dificultando o crescimento da prática no setor agrícola. Por isso, é de suma importância a pesquisa na área, para desenvolvimento de equipamentos mais baratos e mais acessíveis ao produtor.

Segundo Tarjuelo (2005), um sistema com alto grau de automação, onde a irrigação funciona independente da intervenção humana, depende de qualificação profissional na solução dos problemas que surgirem no equipamento, para que os reparos sejam executados no menor tempo possível, não afetando as culturas. Desse modo, o aumento do uso de dispositivos eletrônicos pode inviabilizar o emprego da automação por alguns produtores agrícolas. Nesse contexto, desenvolver uma automação sem utilização de energia elétrica seria uma alternativa para diminuir os investimentos iniciais, com sistemas automáticos.

Atualmente no mercado, há uma grande variedade de programadores de tempo, componentes comumente empregados na automação de sistemas de irrigação. Segundo Moya Talens (2009), há os programadores temporizadores

que funcionam por energia elétrica, e medem o tempo e não o volume de água, não registrando as variações de vazões. Para pequenas vazões podem ser instalados diretamente na tubulação, mas para vazões maiores é necessária a instalação de uma eletroválvula de acordo com a vazão. Há também os programadores eletrônicos que são aperfeiçoados a cada dia e permitem toda classe de programação como irrigação por volume e tempo, limpeza de filtros, abertura de válvulas. Contudo, pode-se utilizar o sequenciamento da irrigação também com válvulas hidráulicas, elaborando uma automação por tempo, com temporizador de funcionamento hidráulico-mecânico.

### **2.3 Bombeamento de água por roda d'água**

O estudo de fontes alternativas de energia tem se destacado com o aumento da crise energética mundial, e conseqüentemente aumento do custo da energia elétrica e dos derivados de petróleo. Entre estas fontes, pode-se ressaltar o emprego de motores hidráulicos, que transformam energia hidráulica em energia mecânica, com a finalidade de obter trabalho útil. Pode-se apresentar as rodas d'água como exemplos destes motores (COELHO FILHO et al., 1996).

Chakrabarti & Chakrabarti (2002), destacam que é crescente a busca por formas alternativas de energia em áreas rurais irrigadas. Para Ibrahim et al. (2011) a energia hídrica é a fonte de maior potencial quando comparadas com outras fontes de interesse como, células solares, geotérmica, fóssil e sistemas de energia a hidrogênio. Ainda segundo os últimos autores a energia hídrica, em pequena escala, é uma das energias de melhor custo efetivo quando considerados sistemas de energia rural.

O bombeamento por energia hídrica é uma prática muito antiga e bastante utilizada em pequenas propriedades agrícolas onde não há disponibilidade de energia elétrica. A roda d'água como forma de geração de

energia hídrica, vem se apresentando como uma alternativa promissora e renovável para áreas isoladas (IKEDA et al., 2010).

As rodas d'água são máquinas motrizes; transformam a energia hidráulica em trabalho mecânicos, fornecido, geralmente, sob a forma de um conjugado que determina um movimento praticamente uniforme. Pode-se dizer que, de modo geral, se destinam a acionar outras máquinas (MACINTYRE, 1987a). Segundo o mesmo autor, nessas máquinas a água, escoando em canais especiais ou sendo despejada em cubas, desenvolve forças que produzem o conjugado motor. Nestes casos, a água atua por peso e por velocidade, havendo predomínio de uma delas em cada tipo (rodas por cima, de lado ou de baixo).

De acordo com Sanjuán (1960), as rodas d'água são cilindros, ou coroas, unidos mediante braços, ligando o fundo dos baldes em um eixo horizontal e em sua superfície exterior de paletas ou lâminas, que determinam concavidades, câmaras e gavetas. A água retida por uma barragem com uma comporta, ao levantar esta, sai com certa velocidade, choca-se com as paletas ou penetra nas lâminas, produzindo na roda um movimento de rotação ao redor do eixo horizontal onde ela cai.

As rodas d'água apresentam as seguintes vantagens: a) podem ser instaladas em locais de pequeno desnível (queda); b) são de construção e conservação fácil; c) a água para o seu funcionamento pode ser suja; d) apresentam-se como alternativa em locais onde não existam outras formas de energia; e) são de baixo custo (ZANINI, 1991).

Segundo Fraenkel e Thake (2010), as regiões que são mais adequadas para a energia hidráulica são em geral aquela que tem muitas chuvas o ano todo, para fornecer a água que se necessita. Para Zanini (1991), o principal inconveniente das rodas hidráulicas é a pequena velocidade angular que desenvolvem. Embora isso leve a menor desgaste de algumas peças, em muitos casos exigem o emprego de estruturas de transmissões para acionamento de

dispositivos que necessitam de maiores rotações. Também possuem pequenas potências, entretanto essas duas limitações não constituem problema para a maioria das finalidades que se destinam.

Há três sistemas de acionamento da roda d'água (Figura 1): a água caindo sobre a roda (a); a água conduzida em canaleta (b), passando sob a roda de pás planas e conjunto bomba-roda sobre flutuadores (c).

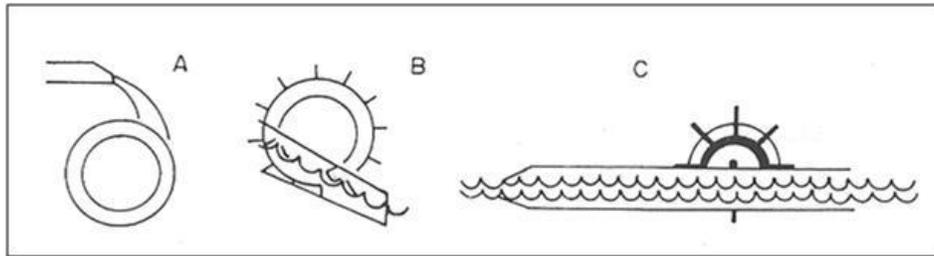


Figura1: Sistemas de acionamento da roda d'água.

Fonte: Zanini (1991).

Segundo Fraenkel e Thake (2010) as diferenças da energia hidráulica para os combustíveis fósseis ou do fornecimento elétrico, é que é grátis e não tem problemas com a cadeia de abastecimento de combustível. Em comparação com energia solar e eólica, está na disponibilidade em tempo total, dia e noite, durante todo o ano. Diante disso, verifica-se que a energia hidráulica é uma forma limpa e confiável de energia renovável, e em pequenos projetos causa impactos que podem ser desprezados.

Atualmente, os casos mais comuns de instalação de roda d'água (Figura 2) aproveitando pequenas quedas hidráulicas, visam o acionamento de bombas de pistão (ZANINI, 1991). Bombas são máquinas geratrizes cuja finalidade é realizar o deslocamento de um líquido por escoamento. Sendo uma máquina geratriz, transforma o trabalho mecânico que recebe para seu funcionamento em



energia, que é comunicada ao líquido sob as formas de energia de pressão e cinética (MACINTYRE, 1997b).

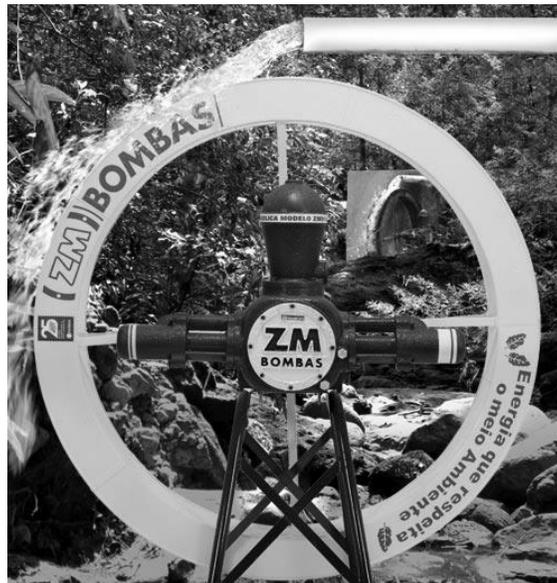


Figura 2: Roda d'água de cima, com bomba de pistão acoplada.  
Fonte: ZM Bombas.

De acordo com Fraenkel e Thake (2010), as categorias de bombas se dividem em duas classificações: oscilante/cíclicas e rotatórias. As primeiras se referem a dispositivos que completam um ciclo dentro de uma operação de elevação de água e nestes casos a saída da água é usualmente intermitente ou mais periódica que contínua. Nos dispositivos rotatórios trabalham para obter maior vazão de água, e também são mais fáceis de adaptar um motor ou qualquer outro impulsor mecânico. Portanto, por definição, uma bomba rotatória operará geralmente sem nenhuma interrupção nem reversão de fluxo. Segundo essa classificação as bombas de pistão são classificadas como bombas oscilantes.

As bombas de pistão chamadas também pelos nomes de bombas de cilindro, de êmbolo ou simplesmente por cilindro hidráulico são máquinas alternativas de deslocamento, podendo ser movidas por meio excêntrico que transforma em alternativo o movimento circular uniforme fornecido por um motor rotativo (ZAMBEL, 1969). Essas bombas hidráulicas são classificadas como bombas volumétricas ou estáticas, alternativas ou de escoamento intermitente; apresentam rendimento baixo, constituição simples e custo baixo, tendo também a vantagem de poder desenvolver pressões muito elevadas (ZANINI, 1991)

Segundo Macintyre (1997b), as bombas de pistão possuem uma ou mais câmaras, em cujo interior o movimento de um órgão propulsor comunica energia de pressão ao líquido, provocando o seu escoamento. Proporciona então as condições para que se realize o escoamento na tubulação de aspiração até a bomba e na tubulação de recalque até o ponto de utilização.

Diante do contexto da agricultura irrigada e na busca de alternativas de sistemas de bombeamento e automação da irrigação para pequenas propriedades agrícolas, o trabalho objetivou demonstrar uma alternativa para o bombeamento de água para uma irrigação automatizada sem uso de energia elétrica.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Seleção da roda d'água

Para o projeto da roda d'água, considerou-se como demanda de água, um sistema de irrigação por gotejamento, para cultura da alface em ambiente protegido. A disposição da cultura e do sistema de irrigação na estufa pode ser visualizada na Figura 3. A estufa era de 20x50m e o sistema de irrigação composto por 4 parcelas, com 4 canteiros de 1,75x24m. Nos canteiros as plantas estavam espaçadas em 0,35m entre fileiras e 0,30m entre plantas, totalizando 5 linhas laterais, com gotejadores de vazão igual a  $1,6 \text{ litros.h}^{-1}$  e pressão de serviço de 10 m.c.a.

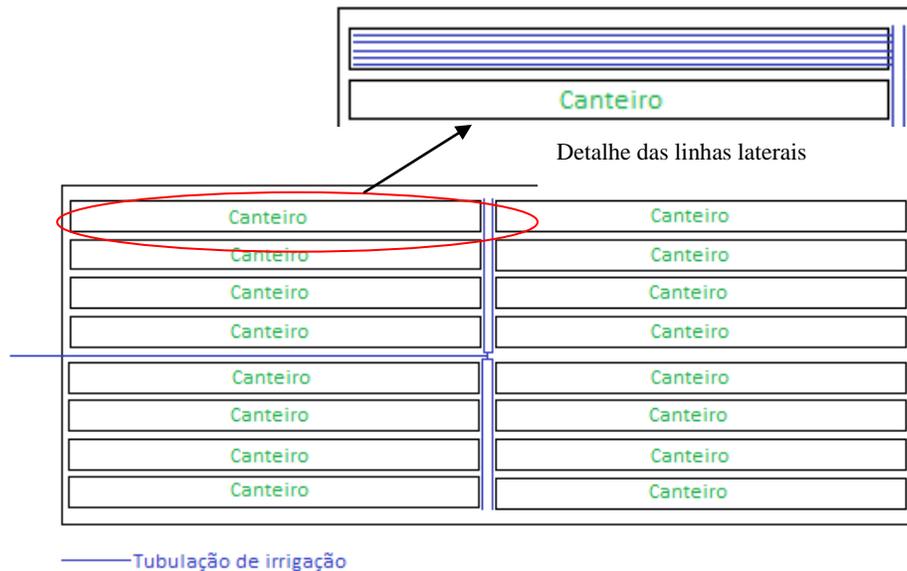


Figura 3: Vista em planta da estufa com a disposição dos canteiros de cultivo e do sistema de irrigação.

No cálculo do volume de água necessário diariamente para suprir a demanda do sistema de irrigação, pelo bombeamento de uma roda d'água, foi utilizado a seguinte equação:

$$VAD = Q_g \times N_{gp} \times H_i \quad (1)$$

Em que:

VAD= volume de água diário (L dia<sup>-1</sup>);

Qg= vazão do gotejador (L h<sup>-1</sup>);

Ngp= número de gotejadores por parcela;

Hi= horas de irrigação (h dia<sup>-1</sup>).

Ao se elaborar um projeto de bombeamento é importante analisar se a fonte de água utilizada poderá fornecer a vazão necessária para o funcionamento da roda d'água ao longo do ano, pois esta possui uma vazão mínima requerida. Por isso, ao se utilizar um manancial, como fonte de água, faz-se necessário analisar o seu potencial hídrico de abastecimento da demanda hídrica ao longo do ano. Isso pode ser feito com a utilização de uma série histórica anual de vazões médias mensais, se compara a menor vazão mensal com a vazão de demanda do sistema e se essa for satisfatória a roda d'água selecionada pode ser utilizada sem interrupção do bombeamento por déficit hídrico.

A cota considerada do terreno onde estava instalada a roda d'água foi de 55 m (Figura 4) e a cota no nível da lâmina de água dentro do reservatório de abastecimento da água de irrigação foi de 125 m. A cota do terreno da estufa foi de 100 m (Figura 5). A distância entre o manancial e a roda d'água foi considerada como sendo de 18,0 m e da mesma até o reservatório de 1.500 m.

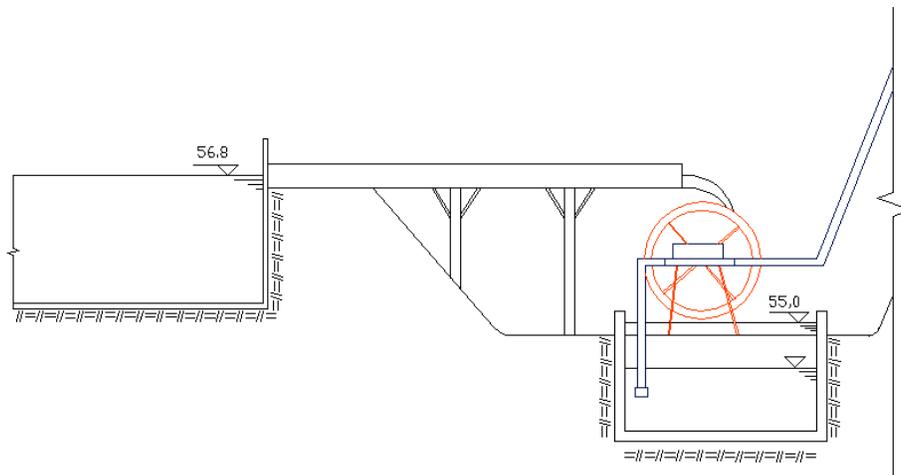


Figura 4: Vista lateral do canal de fornecimento de água para a roda d'água, com cotas altimétricas.

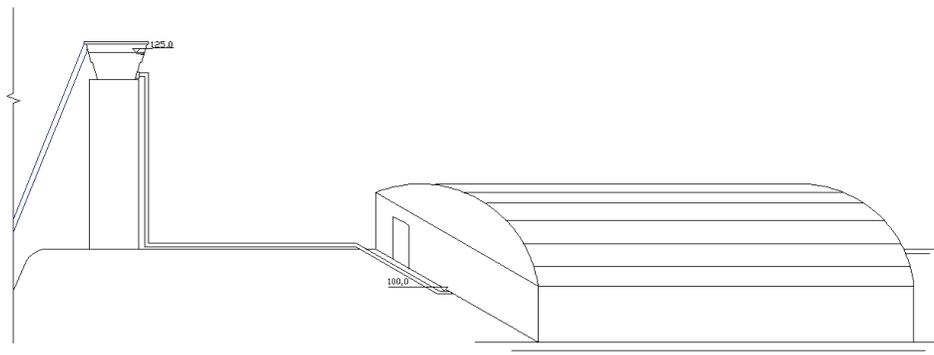


Figura 5: Vista lateral do reservatório de água e a estufa onde estava instalado o sistema de irrigação, com cotas altimétricas.

Para cálculo da vazão diária do sistema, fez-se o seguinte cálculo:

$$QD = Q_g \times N_{gp} \quad (2)$$

Em que:

QD= vazão diária (L h<sup>-1</sup>);

Com os dados de volume diário e altura total de elevação, procedeu-se a seleção da roda d'água a partir do catálogo de uma empresa fabricante. Para reservar a água bombeada escolheu-se um caixa d'água com capacidade acima do requerido pelo sistema de irrigação. Como foi determinado que a roda d'água funcionará quatro horas para suprir a demanda de água pelas plantas, nas outras horas do dia, a vazão será direcionada a fim de suprir as outras demandas da propriedade.

### **3.2 Automação hidráulica-mecânica do sistema de irrigação**

Para realizar a automação do sistema de irrigação por gotejamento, utilizou-se um sistema de acionamento automático para parcelas de irrigação, desenvolvido por Grah (2011). Foram construídos quatro protótipos no Laboratório de Hidráulica e Irrigação do Departamento de Engenharia de Biossistemas, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), da Universidade do Estado de São Paulo (USP), localizada no município de Piracicaba- SP. Cada protótipo era caracterizado por diferenças construtivas na alavanca do gatilho do êmbolo da válvula de 3 vias, o que acarretou em diferentes tempos de irrigação, como será melhor abordado adiante.

#### **3.2.1 Fundamentações prática do protótipo**

Os equipamentos foram desenvolvidos utilizando-se apenas a energia hidráulico-mecânica, fundamentando o protótipo nos princípios da alavanca e da força de empuxo. Desse modo, o sistema tornou-se independente de energia elétrica, diminuindo os custos de instalação, operacionais e de manutenção. Além de automatizar sistemas de irrigação por aspersão em malha, como proposto por Grah (2011), o equipamento também é capaz de automatizar parcelas de irrigação, como é o caso do presente projeto.

Os conjuntos de automação funcionaram do seguinte modo: na tubulação no início da parcela foram instaladas duas válvulas hidráulicas (VH) em série, do tipo normalmente aberta. Para controlar a abertura e o fechamento dessas válvulas, idealizou-se uma válvula de três vias, que por meio de um acionamento hidráulico, comandava a pressão na câmara superior das VH. Esse comando era realizado da seguinte maneira: estando o êmbolo da válvula de 3 vias na posição 1 (Figura ), a água passava pelo orifício de entrada da água (EA) e saía pelo orifício VH1 (correspondente a válvula hidráulica direita, da tubulação no início da parcela), pressurizando a mesma mantendo-a fechada. Consequentemente, a VH2 (válvula hidráulica instalada na parte esquerda da tubulação no início da parcela) estava sob condição da pressão atmosférica, permanecendo aberta.

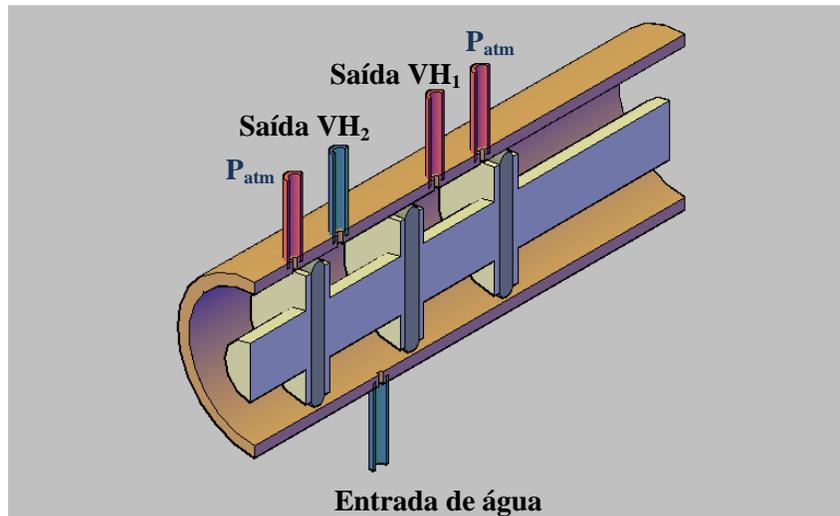


Figura 6: Válvula de 3 vias do conjunto de automação sequenciada, na posição 1

Quando o êmbolo estava na posição 2 (Figura 7: ), a água entrava por EA e saía por VH2 (válvula hidráulica instalada na parte esquerda da tubulação no início da parcela) pressurizando a mesma, mantendo-a fechada e encerrando a

irrigação desta parcela. Entretanto, VH1 (correspondente a válvula hidráulica direita, da tubulação no início da parcela subsequente) ficava sob pressão atmosférica, tornando-a aberta, e iniciando a irrigação nessa parcela, que neste momento passava a ser a parcela de controle.

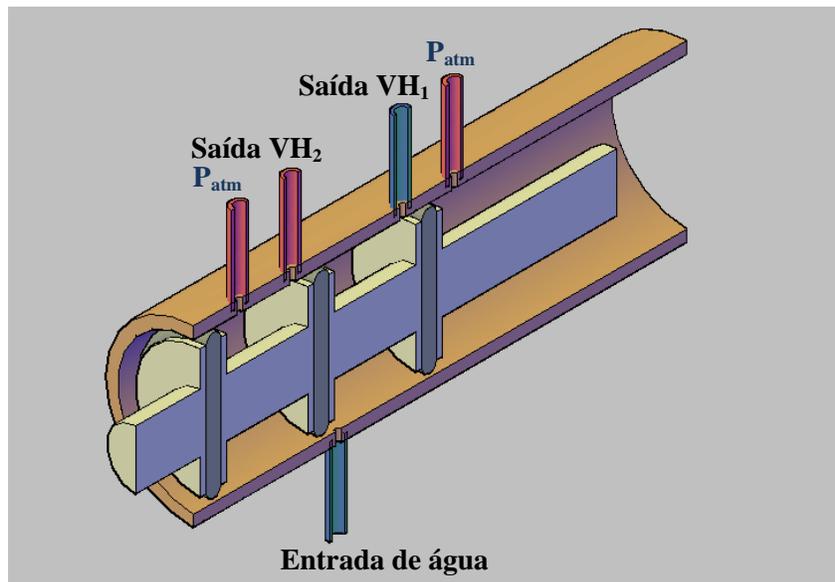


Figura 7: Válvula de 3 vias do conjunto de automação sequenciada, na posição 2

A válvula de 3 vias foi inserida na parte superior de um pequeno reservatório de água, construído com tubulação e tampões de PVC, que continha na parte interna uma boia, a qual estava acoplada por um sistema de eixos a um gatilho conectado ao êmbolo da válvula de 3 vias. Para realizar o acionamento do êmbolo da válvula de 3 vias, a haste da boia com seu movimento no sentido vertical fazia o desarme do gatilho. Isso acontecia quando o tempo de irrigação chegava ao fim e esta haste empurrava o gatilho para cima destravando o êmbolo, e ocorrendo a troca de posição da válvula de 3 vias. Para fazer o nível d'água subir dentro do reservatório e deslocar a boia para cima, foi conectado



um gotejador na parede interna do reservatório de água, obtendo-se assim um temporizador para controlar a duração da irrigação. De acordo com a vazão do gotejador e o diâmetro do tubo de PVC empregado na construção do pequeno reservatório de água, definiam-se os tempos de irrigação.

### 3.2.2 Aplicação do sistema de sequenciamento hidráulico-mecânico para parcelas de irrigação

Para facilitar a compreensão do funcionamento da válvula 3 vias, nomearam-se as vias de entrada e saída como descritos a seguir: uma entrada de água (EA); uma saída de água (SA1) que pressuriza a válvula hidráulica esquerda, instalada no início da parcela sob controle; uma saída de água (SA2) que pressuriza a válvula hidráulica direita; uma entrada de ar (PA1) permite que a pressão atmosférica despressurize a válvula hidráulica esquerda abrindo a mesma; uma entrada de ar (PA2), que permite que a pressão atmosférica despressurize a válvula hidráulica instalada no início da parcela subsequente, no momento de iniciar a irrigação na mesma (Figura 8).

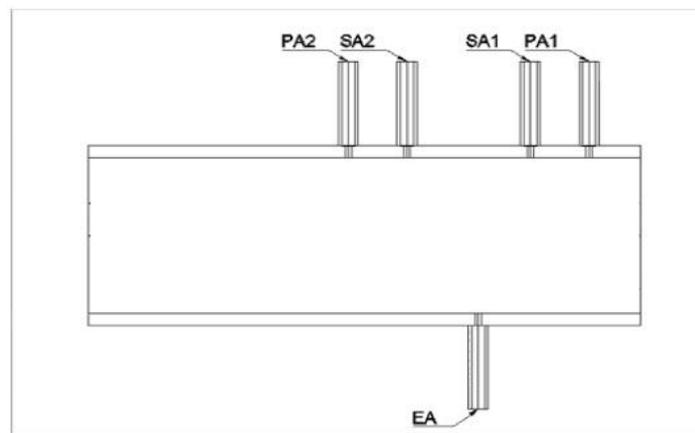


Figura 8: Nomenclatura dos orifícios de saída do corpo da válvula multivias.

Após a construção do sistema automático, projetou-se a lógica do sequenciamento de maneira que apenas uma parcela funcionasse por vez, para isso, fizeram-se as ligações entre os sequenciadores do seguinte modo, como pode ser observado na Figura 8: no sequenciador 1 (instalado na parcela 1) a SA2 estava conectada a VH esquerda da parcela 2 e a SA1 estava conectada a VH da parcela 1; no sequenciador 2 a SA2 estava conectada a VH esquerda da parcela 3 e a SA1 estava conectada a VH direita da parcela 2; no sequenciador 3 a SA2 estava conectada a VH direita da parcela 4 e a SA1 estava conectada a VH direita da parcela 3; no sequenciador 4 a SA1 estava conectada a VH direita da parcela 4. Os gotejadores de cada sequenciador estavam conectados nas tubulações de cada parcela logo ao lado da VH esquerda e as entradas de água (EA) das válvulas de 3 vias estavam conectadas nas tubulações das parcelas logo a direita da VH direita.

Antes de iniciar a irrigação era necessário que todos os sequenciadores estivessem engatilhados, ou seja, com o êmbolo da válvula de 3 vias na posição 1. Desse modo, a única parcela a funcionar foi a primeira, as outras permaneciam fechadas, pois cada válvula de 3 vias pressuriza a VH esquerda da parcela seguinte. Também era necessário que o reservatório do sequenciador estivesse preenchido com água até a altura correspondente ao tempo de irrigação necessário em cada parcela.

Iniciava-se a irrigação com a parcela 1 e simultaneamente o gotejador começava a encher o reservatório do temporizador do sequenciador 1. No fim do tempo de irrigação, a haste da boia empurrava a alavanca e ocorria a troca para a posição 2 na válvula de 3 vias. Feita a troca de posição, a VH da parcela 1 era pressurizada, encerrando a irrigação na parcela 1 e, conseqüentemente, o gotejamento também parava, a câmara da VH esquerda da parcela seguinte era

despressurizada, iniciando a irrigação da parcela 2 e o gotejamento no temporizador do segundo sequenciador (Figura 9).

Em seguida, o gotejador do segundo sequenciador enchia o temporizador até o nível do tempo de irrigação, quando a haste da boia empurrava a alavanca, o êmbolo da válvula de 3 vias era acionado mudando para a posição 2. Com isso, a VH direita da parcela 2 era pressurizada parando a irrigação e o gotejamento do temporizador do sequenciador 2, ao mesmo tempo em que a VH esquerda da parcela 3 era despressurizada, iniciando a irrigação e o gotejamento no temporizador do sequenciador 3 (Figura 10).

A parcela 3 funcionava de forma semelhante a parcela 2. No fim do tempo de irrigação, a haste da bóia acionava a válvula de 3 vias, ocorrendo a troca de posição. Desse modo, a VH direita da parcela 3 era pressurizada e parava a irrigação e o gotejamento do temporizador do sequenciador 3, ao mesmo a VH esquerda da parcela 4 despressurizava, iniciando a irrigação e o gotejamento do temporizador do sequenciador 4. No presente projeto de irrigação, havia apenas quatro parcelas, mas esse sistema de automação pode ser utilizado para quantas parcelas forem necessárias.

Conforme descrito, com o sistema de sequenciamento, todo o processo de mudança de qual parcela irá proceder a irrigação se tornou automatizado. Entretanto, faz-se necessário destacar algumas das atividades que o produtor precisa fazer para colocar o sistema de automação em funcionamento. Caso a irrigação nas parcelas ocorra todos os dias, antes de iniciar o funcionamento do sistema, o produtor precisa se dirigir a cada conjunto de automação e esvaziar o reservatório do temporizador, até a altura da seta na escala de tempo, com o tempo de irrigação correspondente. Além disso, precisa colocar o êmbolo da válvula multivias na posição 1: para isso basta empurrar o êmbolo. Feito esses procedimentos em cada conjunto de automação, pode-se iniciar a irrigação das parcelas.

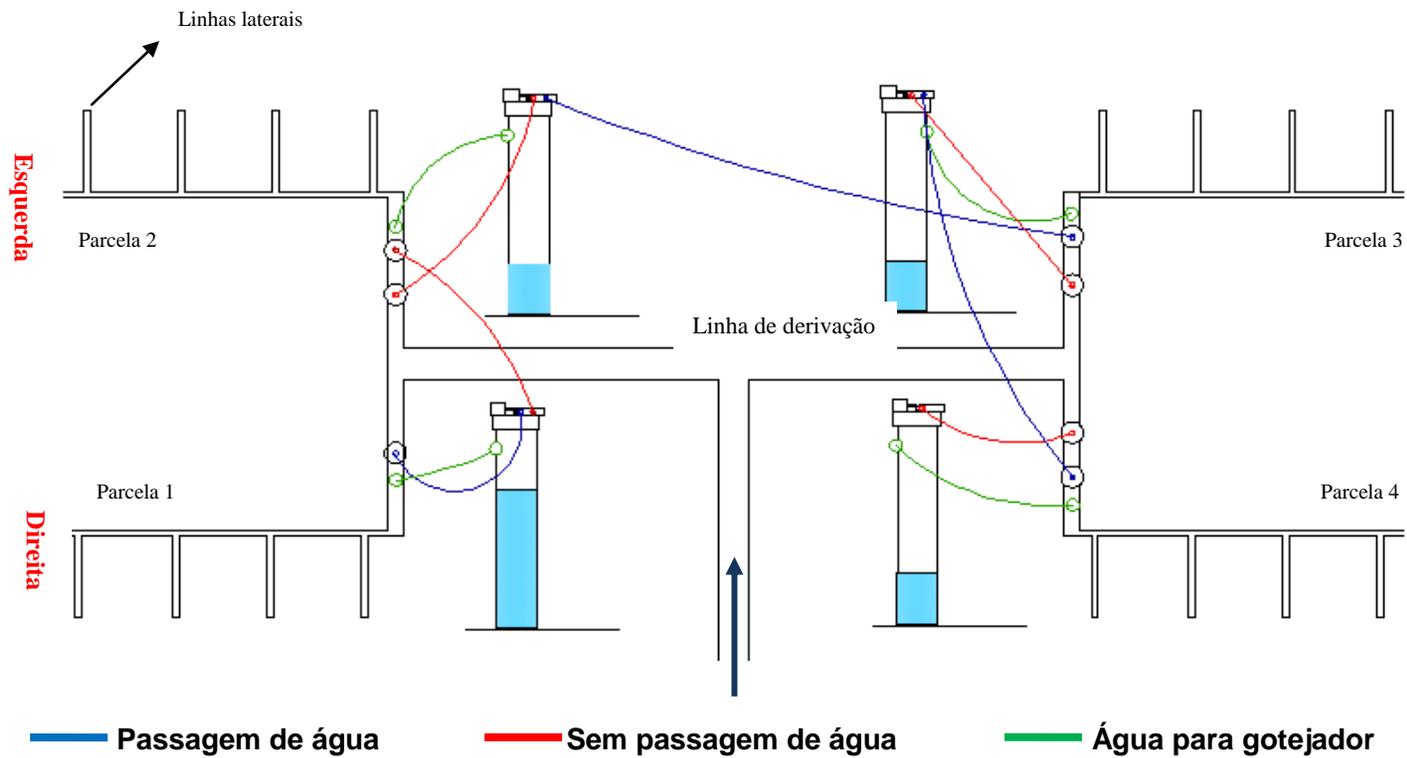


Figura 9: Fim da irrigação na primeira parcela e início da irrigação na segunda parcela, do sistema de automação sequenciada.

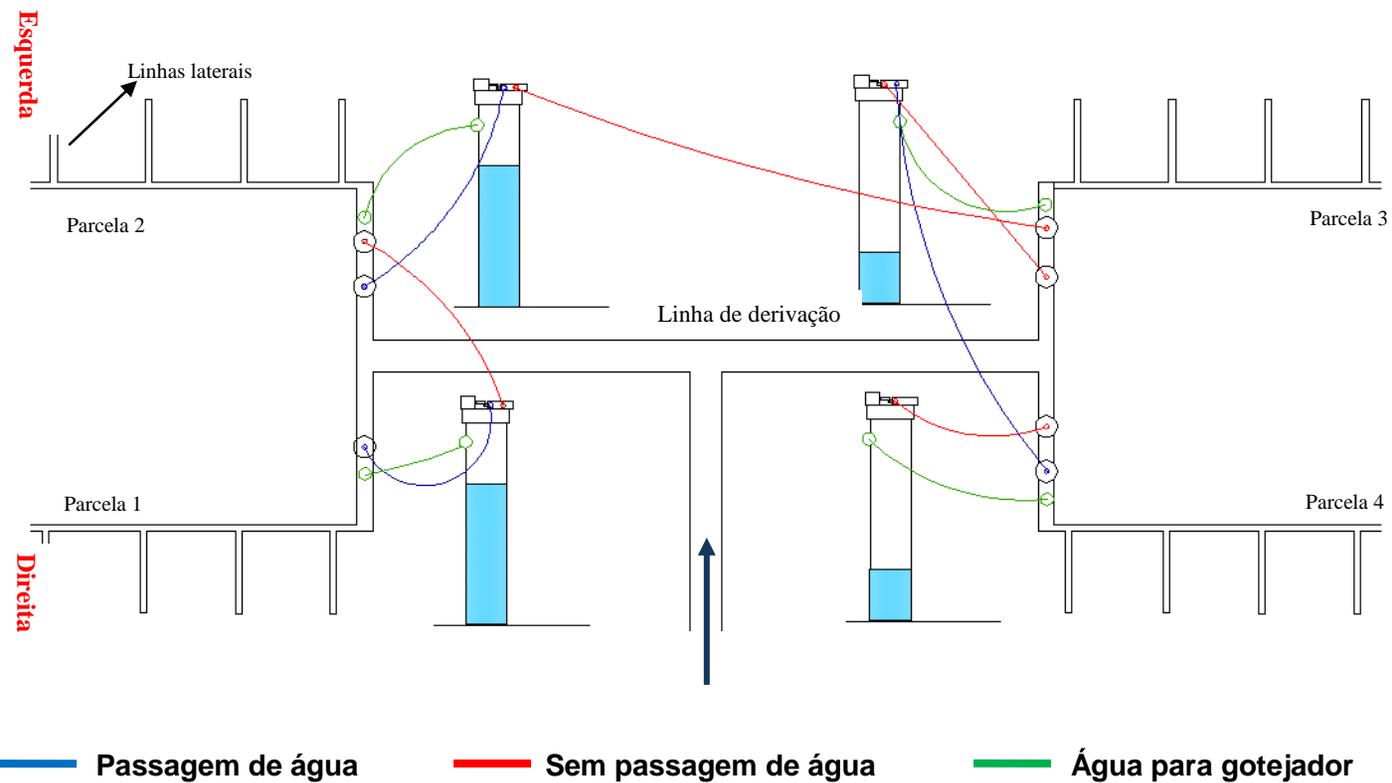


Figura 10: Fim da irrigação na segunda parcela e início da irrigação na terceira parcela, do sistema de automação sequenciada.

### **3.2.3 Custos Sistema de automação sem energia elétrica**

A fim de demonstrar o custo aproximado da automação sem o uso de energia elétrica, fez-se uma pesquisa de preços das partes dos componentes do sistema do sequenciamento proposto. Para tanto, levou-se em consideração apenas os custos de aquisição do equipamento propriamente dito (conjunto de automação) e dos componentes necessários para o seu funcionamento, a saber: microtubos, que interligam as válvulas 3 vias do conjunto de automação com as VHS no início de cada parcela de irrigação; e válvulas hidráulicas (do tipo normalmente aberta) instaladas em cada parcela de irrigação. Nota-se que não foram considerados os custos de mão de obra para instalação e operação do sistema.

Em cada parcela de irrigação considerou-se um conjunto de automação, a saber: duas válvulas hidráulicas (com exceção da primeira parcela, em que foi necessária apenas uma VH), um equipamento de automação (válvula 3 vias e temporizador) e os microtubos que interligam os equipamentos. Assim, para um total de 4 parcelas de automação, foram utilizados 4 conjuntos de automação, 7 válvulas hidráulicas e a metragem total de microtubos, obtida somando-se as distâncias entre conjuntos.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Seleção da roda d'água

O número de gotejadores foi calculado dividindo-se o comprimento do canteiro pelo espaçamento entre gotejadores na linha lateral, igual a 0,30m (valor fornecido pelo fabricante), resultando 80 gotejadores por linha lateral. Como são cinco linhas laterais por canteiro obteve-se 400 gotejadores e, como cada parcela possuía 4 canteiros, totalizou-se 1600 gotejadores por parcela. Sabendo-se que os gotejadores possuíam uma vazão igual a 1,6 litros.h<sup>-1</sup> e um tempo de irrigação por parcela, no período crítico de demanda de água pela cultura, de uma hora, calculou-se o volume diário de bombeamento:

$$VDA = 1,6 \times 400 \times 4 = 2560 \text{ litros. dia}^{-1}$$

De acordo com uma altura total de elevação de 70 metros e um volume diário de bombeamento igual a 2560 litros a bomba selecionada uma MSG-42F da empresa Rochffer, com a água caindo sobre a roda. As características técnicas estão na Figura 11.



Dados Técnicos				
Série:		M		
Entrada e Saída:		3/4"		
Cursos	Altura Máxima	Vazão por RPM		
		20 RPM	30 RPM	40 RPM
1	250 m.	1.300	2.100	3.100
2	170 m.	2.200	3.500	4.700
Roda Padrão		Rodas Especiais		
1,10 x 0,13 m.		1,10 x 0,17 m.		
		1,37 x 0,13 m.		
		1,65 x 0,13 m.		

Figura 11: Roda d'água com bomba acoplada

Fonte: Bombas Rochfer

O preço sugerido pelo fabricante: R\$ 2.375,00 (para o ano de 2011). correspondente a bomba, roda d'água e suporte.

No cálculo da vazão diária obteve-se um valor de 2.560 litros.h<sup>-1</sup> ou ainda  $7,11 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , valor muito abaixo da vazão mínima mensal do manancial que foi de  $0,019 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Para roda d'água selecionada, onde a água cai sobre a mesma, Sanjuán (1960) afirma que essas são rodas aplicadas a saltos de 3 a 10 metros e pequenas vazões (até  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) e com rendimento máximo de 75% com muito boa instalação, recebem a água pela parte superior com baixa velocidade (para reduzir os choques com as lâminas) e ao penetrar ocasionam por seu peso o movimento das mesmas, oposto ao da corrente do canal de adução.

## **4.2 Automação das parcelas de irrigação**

### **4.2.1 Sistema de acionamento da válvula de 3 vias**

Os conjuntos de automação para sequenciamento das parcelas de irrigação, nos testes realizados por Grah (2011) para o tempo de uma hora de irrigação, apresentaram tempos calculados próximo dos obtidos pelos temporizadores volumétricos (Tabela 1).



Tabela 1: Valores do tempo de irrigação obtidos na aplicação dos conjuntos de automação, sendo o tempo de irrigação teórico adotado igual a uma hora.

Conjunto de automação	1° Teste	2° Teste	3° Teste	D padrão*	Média
1	51min 16s	54min 05s	65min 00s	07min 21s	56min 50s
2	50min 51s	59min 47s	55min 27s	02min 39s	52min 23s
3	59min 29s	56min 36s	57min 24s	01min 12s	58min 47s
4	49min 17s	48min 17s	49min 13s	00min 02s	49min 16s

\*D padrão= desvio padrão

A aplicação do protótipo, pela análise da Tabela 1, se mostrou promissora para propriedade que não dispõe de energia elétrica, apesar dos protótipos apresentarem tempos de irrigação diferentes dos tempos calculados. As pequenas diferenças do tempo observado e do tempo calculado podem ser explicadas, em partes, pelo fato de todos os protótipos serem construídos de forma artesanal, sem qualquer tipo de processo industrial, gerando assim diferenças construtivas entre as peças (Figura 12). Todavia, mesmo considerando a rusticidade construtiva, dois dos quatro protótipos testados (1 e 3) apresentaram um erro médio inferiores a 3 min e 10 s, o que representa menos de 5,3% do tempo teórico adotado de irrigação. Na prática agrícola um desvio desta magnitude pode ser aceito sem provocar danos econômicos e ambientais de grande relevância. Porém, ressalta-se que essas diferenças observadas empiricamente podem ser minoradas com o emprego de tecnologias industriais que permitam uma confecção com baixo coeficiente de variação de fabricação entre peças semelhantes.

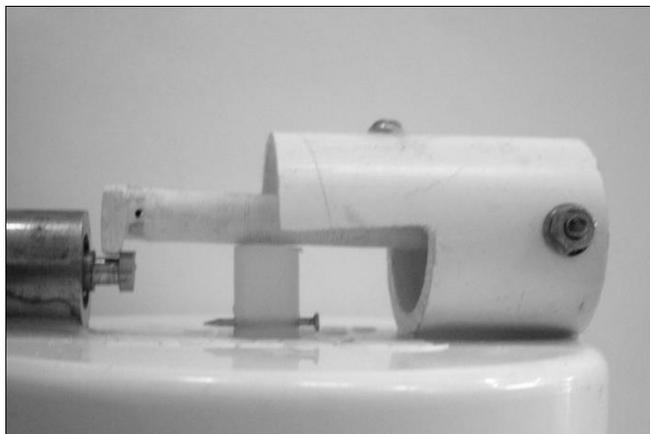


Figura 12 - Protótipo do sistema de acionamento da válvula de 3 vias de melhor desempenho.

Outro fator que pode ter contribuído para obtenção da variação observada nos resultados de tempo de irrigação foi o preenchimento do volume inicial dos temporizadores, realizado antes do início do acionamento do sistema de sequenciamento automático. Como o piezômetro de observação do nível da água no reservatório do temporizador e a escala de graduação, também foram construídos por manufatura, qualquer erro que tenha acontecido durante a execução deste passo pode ter gerado as variações observadas no tempo de irrigação.

O protótipo final do sistema de acionamento automático das parcelas de irrigação, desenvolvido por Grah (2011), pode ser visualizado na Figura 13.

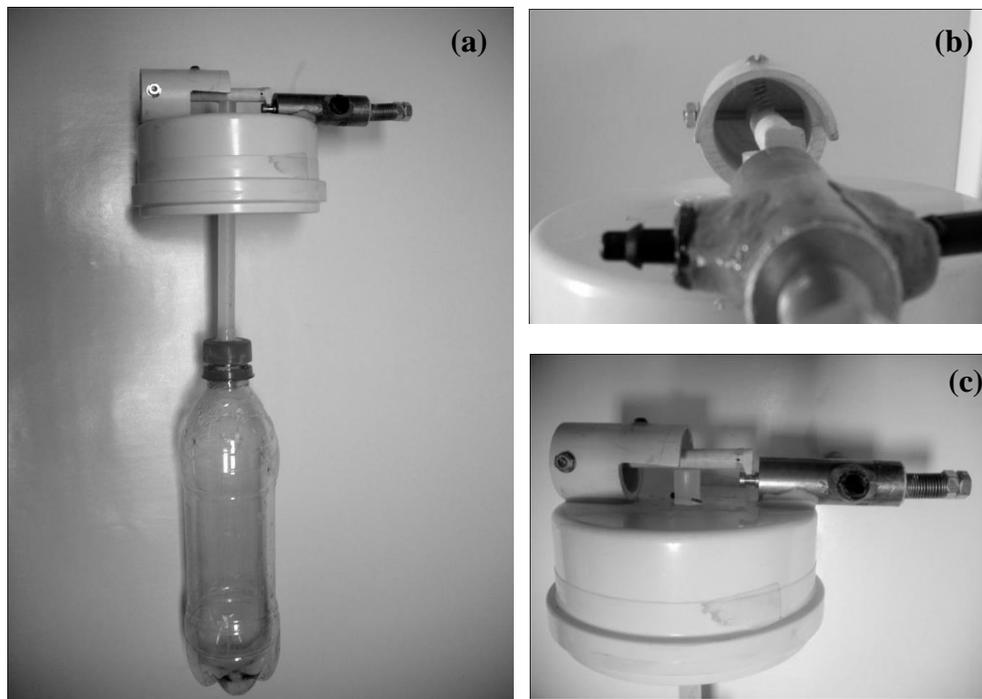


Figura 13: Vista lateral (a), vista superior (b) e vista do sistema de gatilho do protótipo final do conjunto de automação sequenciada.

#### 4.2.2 Temporizador

Para construção do temporizador utilizou-se um tubo de 100 mm de diâmetro e 850 mm de comprimento; na parte inferior foi colocado um cap e se vedou com silicone. Para visualizar a altura da água dentro do tubo, conectou-se um microtubo transparente, formando vasos comunicantes, e colou-o na parte externa do tubo. Instalou-se na parte superior do tubo um gotejador autocompensante de  $2 \text{ L.h}^{-1}$  que controlava o tempo de irrigação por meio da vazão, obtendo-se com essa estrutura uma automação por método volumétrico.

O temporizador funcionava do seguinte modo: uma escala de tempos de irrigação foi colocada ao lado do microtubo transparente, assim quando a duração da irrigação era correspondente à uma hora, preenchia-se o tubo com água até a altura indicada pela seta. Para uma irrigação de uma hora e meia, o temporizador era preenchido com água até a seta correspondente (Figura 14).



Figura 14 - Temporizador do sistema automático

#### **4.3.3 Automação das parcelas de irrigação**

Com os protótipos construídos e operando de maneira satisfatória, pôde-se aplicar o sistema de acionamento automático da irrigação, nas quatro parcelas da estufa (Figura 15).

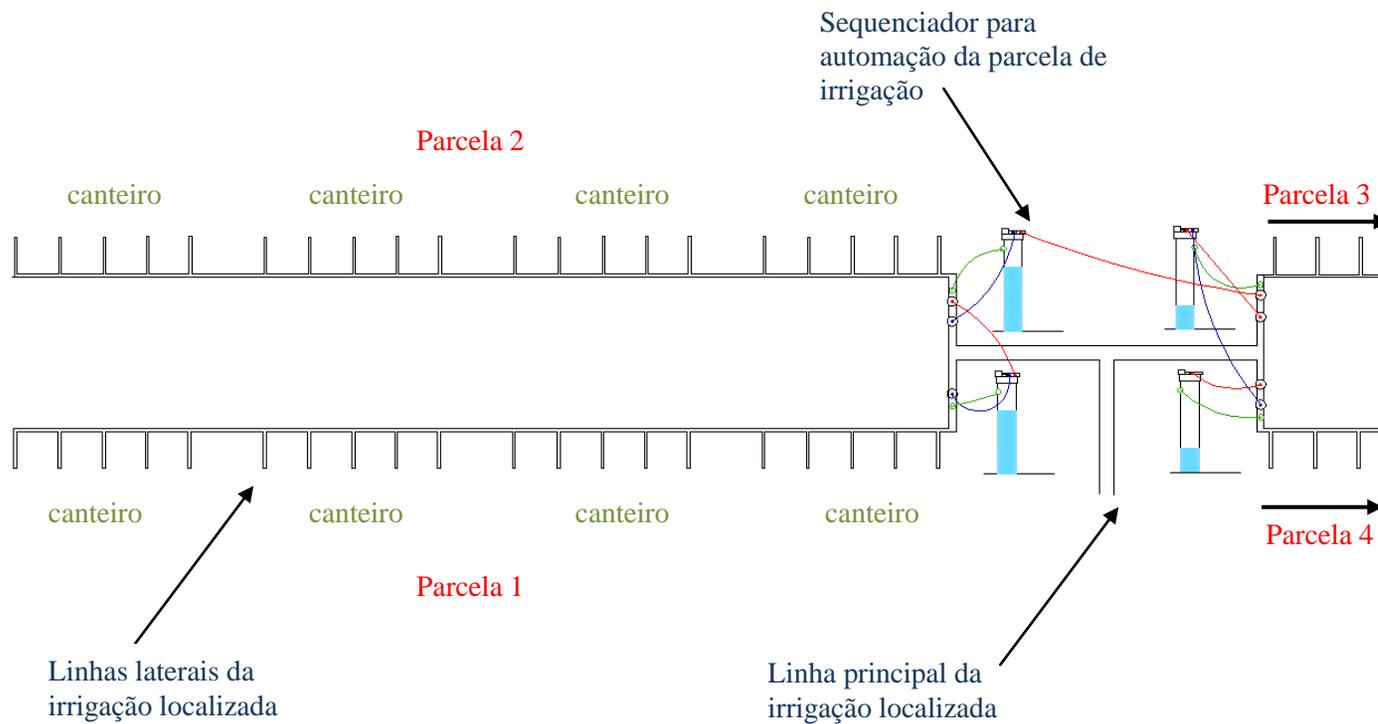


Figura 15: Vista em planta de duas parcelas de irrigação, com os sequenciadores em funcionamento.

#### **4.3.4 Resultado da avaliação de custo do equipamento de automação**

Na tabela 2 são apresentados os valores dos componentes do sistema de automação sequenciada, por meio do conjunto de automação sem energia elétrica, para as 4 parcelas. Nota-se que na determinação do custo do conjunto de automação, foi necessário fazer uma estimativa do valor, pois o equipamento ainda não é produzido em escala comercial. Em face disto, considerando os custos de fabricação do reservatório feito em PVC, da válvula multivias de latão mais o sistema de gatilho em PVC, encontrou-se um valor aproximado de R\$85,00. Contudo, vale ressaltar que esse valor pode diminuir com a fabricação do equipamento por meio de técnicas e volumes que viabilizem a produção em escala do conjunto de automação.

A área total irrigada e automatizada em questão foi de 1.000 m<sup>2</sup>, totalizando um valor de R\$945,00. Para áreas maiores de irrigação como, por exemplo, de 10.000 m<sup>2</sup>, não se pode afirmar que o sistema de automação custaria no total, dez vezes mais. Pois, o único componente da automação que depende do tamanho da área, são os microtubos (parte de menor custo), os outros componentes (conjunto de automação e válvulas hidráulicas) que possuem maior custo de aquisição, dependem somente do número de parcelas. Assim, pode-se afirmar que o sistema automatizado proposto, sem uso de energia elétrica, terá maior custo de aquisição quanto maior o número de parcelas de irrigação localizada.

Tabela 2: Custos dos componentes para uma automação com acionamento hidráulico-mecânico e custo total da automação para as 4 parcelas.

Qtidade	Componentes para		Custo Total (R\$)
	automação sem energia elétrica	Custo unitário (R\$)	
7	Válvulas hidráulicas	80,00*	560,00
30m	Microtubos	1,50*	45,00
4	Conjunto hidráulico-mecânico	85,00	340,00
		Total	945,00

\*Média dos valores de mercado, orçamento realizado em 2011.

Além dos custos dos equipamentos, ainda pode-se fazer algumas considerações sobre o conjunto de automação:

- a) A instalação dos conjuntos hidráulicos-mecânicos é mais simples e barata, quando comparada com uma automação com energia elétrica, pois não necessitaria de mão de obra especializada, tendo em vista que não há componentes eletrônicos, fazendo-se necessário apenas das conexões entre microtubos que interligam as válvulas 3 vias e as VHs.
- b) Pode-se ainda prever, que a operação e manutenção dos equipamentos hidráulico-mecânicos são mais econômicas e fáceis do ponto de vista técnico. Por se tratar de equipamentos simples e robustos, são menos suscetíveis a ação das intempéries, além disso, não desligam quando não há energia elétrica. Em contrapartida a automação convencional por ser constituída de componentes frágeis como cabos flexíveis, necessita de maiores cuidados, dificulta a execução das práticas culturais necessárias no decorrer do ciclo da cultura, e são susceptíveis a problemas no fornecimento de energia elétrica.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O equipamento de automação desenvolvido para aspersão em malha, também pode ser utilizado para sequenciar parcelas de irrigação localizada. Demonstrando que o sequenciador automático é uma alternativa técnica viável, de fácil operação e manutenção, que pode ser aplicada em propriedades de pequeno e médio porte que não possuem eletrificação. Do mesmo modo, a roda hidráulica é uma alternativa para bombeamento de água para irrigação em propriedades sem energia elétrica.



## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, C.A.B.; CUNHA, F.F. da; RAMOS, M.M.; SOARES, A.A.; PIZZILOLO, T.A.; OLIVEIRA, R.A. de. Análise da automação em um sistema de irrigação convencional fixo por miniaspersão. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 15, n. 2, p. 109-118, abr./jun. 2007.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p

CANSADO, J. C. A. AGRILÓGIC: **Sistema para Experimentação de Controle Climático de Casas de Vegetação**. 148 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

CHAKRABARTI, S.; CHAKRABARTI, S. Rural electrification programme with solar energy in remote region-a case study in an island. **Energy Policy**, v.30, p. 33-42, 2002

FIGUEREDO JÚNIOR, L.G.M.; SILVA, G.O.; COELHO, R.D.; ALVES JÚNIOR, J. Sistemas de automação na Irrigação localizada. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 15, p. 31-36, 2004.

FRAENKEL, P.; THAKE, J. **Dispositivos de Elevación del Agua**. 3ª Ed. México: Alfaomega, 2010. 352 p.

FREIRE, C.R.F. **Análise do trabalho rural no Nordeste do Brasil**. 2000. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Aplicada) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

GRAH, V. F. **Desenvolvimento de um sistema hidráulico-mecânico para o acionamento sequenciado da irrigação por aspersão em malha**. 2011. 67 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

GRAH, V.F.; BOTREL, T.A.; PONCIANO, I.M.; DAMASCENO, A.P.A.B.; SALVADOR, C.A.; ALVES, D.G. Solução alternativa para bombeamento de água e automação da irrigação sem o uso de energia elétrica. **IRRIGA**, Botucatu, v.01, p. 309-323, 2012.

IBRAHIM, G.A.; CHE HARON, C.H.; AZHARI, C.H. Sustainable rural energy: traditional water wheels in Pandang (PWWp, Indonesia). **Int. J. Renewable Energy Technology**, v. 2, n. 1, p. 23-31, 2001.

IKEDA T, LIO S, TATSUNO K. Performance of nano-hydraulic turbine utilizing waterfalls. **Renew Energy**, v. 35, p. 293-300, 2010.

MACINTYRE, A.J. **Instalações hidráulicas**. Rio de Janeiro: Guanabara. 1987. 797 p.

MACINTYRE, A.J. **Bombas e Instalações de Bombeamento**. 2ª. Ed. rev. Rio de Janeiro: LTC, 1997. 782 p.

MOYA TALENS, J.A. **Riego localizado y fertirrigación**. Tradução de V.F. Grah. 4. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 2009. 575 p.

NOGUEIRA, L.C.; NOGUEIRA, L.R.Q.; MIRANDA, F.R. Irrigação do coqueiro. In: FERREIRA, J.M.S.; WARWICK, D.R.N.; SIQUEIRA, L.A. **A cultura do coqueiro no Brasil**. 2.ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa/SPI; Aracaju: Embrapa/CPATC, 1998. p.159-187.

QUEIROZ, T.M. de; BOTREL, T.A.; FRIZZONE, J.A. Desenvolvimento de software e hardware para irrigação de precisão usando pivô central. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 1, p. 44-54, 2008.

RIBEIRO, T.A.P.; AIROLDI, R.P.S.; PATERNIANI, J. E. S.; SILVA, M.J.M. **Variação temporal da qualidade da água no desempenho de filtros utilizados na irrigação por gotejamento**. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* [online]. 2005, vol.9, n.4, pp.450-456. ISSN 1807-1929. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662005000400002>.

SANJUÁN, R. **Elementos de Hidráulica general y aplicada con Motores hidráulicos**. Quinta Edição. Barcelona: Labor, 1960. 630 p.

SILVA, C. A.; SILVA, C. J. Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**. Garça: Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal de Garça. ano IV. 2005.

SOUZA, R.O.R.M. **Desenvolvimento e avaliação de um sistema de irrigação automatizado para áreas experimentais**. 2001. 85 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SUZUKI, M.A.; HERNANDEZ F.B.T. **Automação de sistemas de irrigação**. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/curso2.htm>>. Acesso em: 22 mar. 2011.

TARJUELO, J.M. **El riego por aspersión y su tecnología**. Tradução de V.F. Grah. 3. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 2005. 569 p.

TESTEZLAF, R. MATSURA, E.E. FERNANDES, A.T.L. & CÂNDIDO, D.H. **Técnicas, Usos e Impactos**. Capítulo 12: Sistemas automáticos de controle em irrigação. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP, 2002. Disponível em : <<http://webensino.unicamp.br/disciplinas/FA876-055506/apoio/14/Automa.pdf>> Acesso em: 29 de junho de 2011.

ZAMBEL, A. R. **Manual de aparelhos de bombeamento de água**. São Carlos- SP: Escola de Engenharia de São Carlos, 1969. 275 p.

ZANINI, J. R. **Elevação de água por ariete hidráulico e bomba de pistão acionada por roda d'água**. Jaboticabal-SP: Fcau/UNESP, 1991. 58 p.