



JEAN-PAUL DARDOT

**COMPORTAMENTO HIDRÁULICO DE
GOTEJADORES PRESSURIZADOS POR
CARNEIRO HIDRÁULICO**

**LAVRAS-MG
2012**

JEAN-PAUL DARDOT

**COMPORTAMENTO HIDRÁULICO DE GOTEJADORES
PRESSURIZADOS POR CARNEIRO HIDRÁULICO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós Graduação *Lato Sensu* em Formas Alternativas de Energia, para obtenção do título de especialização.

Orientador

Prof. Luiz Antônio Lima

**LAVRAS
MINAS GERAIS –BRASIL
2012**

JEAN-PAUL DARDOT

**COMPORTAMENTO HIDRÁULICO DE GOTEJADORES
PRESSURIZADOS POR CARNEIRO HIDRÁULICO.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós Graduação *Lato Sensu* em Formas Alternativas de Energia, para obtenção do título de especialização.

Aprovada em 31 de agosto de 2012

Prof. Gilmar Tavares

Prof. Carlos Alberto Alvarenga

Orientador

Prof. Luiz Antônio Lima

**LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2012**

Dedicatória

À minha mãe que dedicou sua vida à felicidade dos filhos e me acompanhou desde meus primeiros passos de estudante me ensinando a fazer o “Para casa”.

Ao meu pai que incentivou o estudo em minha vida.

Agradecimentos

A Deus pela saúde, disposição e oportunidades.

Ao meu anjo da guarda pela proteção.

À Luciana pela inspiração.

À Alice Libânia, amiga e companheira de estudo nos encontros presenciais.

Ao professor Luiz Antônio Lima pela orientação e disponibilidade.

À equipe de pesquisadores que colaborou na montagem do sistema e nas medições (Antônio Carlos da Silva, Michael Silveira Thebaldi, Isis Stacanelli, Rafaella Resende Andrade, Anita Cristina Costa da Silva, Matheus Colares, Willian Almeida, Beatriz Santos e José Antônio).

À Carolina Ximenes pela correção do texto e sugestões.

Ao Ildeu Laborne que me incentivou a participar dos encontros presenciais.

Ao Guilherme Silva e Daniel Ramos que me incentivaram a realizar os trabalhos práticos na UFLA.

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	10
2 - OBJETIVO	14
3 - REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1– Equipamentos utilizados para elevação de fluidos.....	15
3.1.1 - Fontes de energia utilizadas para elevação de fluidos.....	17
3.2 - Carneiro hidráulico.....	18
3.2.1 – Elementos constituintes do carneiro hidráulico	19
3.2.2 – Princípio de funcionamento do carneiro hidráulico.....	21
3.2.3 – O golpe de aríete	25
3.2.4 – Instalação do carneiro hidráulico	26
3.2.5 – Recomendações práticas	28
3.2.6 – Escolha do carneiro hidráulico	32
3.2.7 - Vantagens e desvantagem do uso do carneiro hidráulico	35
3.3 - Irrigação	37
3.3.1 - Métodos de irrigação	39
3.4 - Gotejamento	42
3.4.1 – Avaliação da uniformidade de aplicação de água.....	52
3.4.2 – Uniformidade de Distribuição – UD	54
3.4.3 – Curva Característica do Emissor	55
4 - METODOLOGIA.....	57
5 - RESULTADOS	64
5.1 - Análise da vazão no sistema.....	66
5.2 – Análise da pressão fornecida pelo carneiro hidráulico	67
5.3 – Análise da uniformidade do sistema	70
6 - CONCLUSÃO.....	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXO A	78

LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1 - Elementos constituintes de um carneiro hidráulico típico
- Figura 3.2 – Esquema típico de instalação de carneiro hidráulico
- Figura 3.3 – Instalação de um carneiro hidráulico
- Figura 3.4 - Perfil do bulbo de solo úmido na irrigação por gotejamento
- Figura 3.5 - Perfil do solo para diferentes técnicas de irrigação
- Figura 3.6 - Formas do bulbo molhado para diferentes solos
- Figura 3.7 – Componentes do sistema de irrigação por gotejamento
- Figura 4.1 – Carneiro Hidráulico de PVC Comercial
- Figura 4.2 – Posição do tubogotejador suspenso e nivelado
- Figura 4.3 – Sistema de irrigação acionado pelo carneiro hidráulico de PVC comercial em funcionamento
- Figura 4.4 - Posição do manômetro na entrada do tubogotejador
- Figura 4.5 – Carneiro Hidráulico de PVC comercial em funcionamento
- Figura 5.1 – Vazão dos gotejadores sob três diferentes pressões produzidas pelo carneiro hidráulico de PVC comercial
- Figura 5.2 – Curva Vazão x Pressão do carneiro hidráulico de PVC comercial

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Rendimento energético aproximado do carneiro hidráulico

Tabela 3.2 - Coeficiente de elasticidade k de diferentes materiais

Tabela 3.3 – Especificações técnicas do carneiro hidráulico Marumby®

Tabela 3.4 – Vantagens e desvantagens da irrigação por gotejamento

Tabela 3.5 – Classificação do sistema de gotejamento segundo o Coeficiente de Variação – CV

Tabela 3.6 – Classificação do sistema de gotejamento segundo o Coeficiente de Variação – CV

Tabela 3.7 – Classificação do sistema de gotejamento conforme a Uniformidade de Distribuição – UD da aplicação de água

Tabela 3.8 – Valores de x , de acordo com a classificação dos emissores

Tabela 5.1 – Coeficiente de Variação – CV segundo a pressão no tubogotejador

Tabela 5.2 - Classificações do sistema segundo a pressão no tubogotejador

Tabela 5.3 – Uniformidade de Distribuição e classificação do sistema para diferentes valores de pressão

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 – Fontes de energia para acionamento de diferentes máquinas elevadoras de fluidos

Quadro 3.2 - Especificações técnicas - Companhia Lidgerwood Industrial

Quadro 3.3 - Principais métodos de irrigação

Quadro 3.4 - Principais tipos de gotejadores

Quadro 5.1 – Vazão do carneiro para diferentes valores de pressão

Quadro A1 – Vazão média dos gotejadores para pressão média no início da linha igual a 1,0 bar e pressão média no final da linha igual a 0,9 bar

Quadro A2 – Vazão média dos gotejadores para pressão média no início da linha igual a 1,5 bar e pressão média no final da linha igual a 1,3 bar

Quadro A3 – Vazão média dos gotejadores para pressão média no início da linha igual a 2,0 bar e pressão média no final da linha igual a 1,8 bar

RESUMO

A limitação da disponibilidade de água doce em condições adequadas para o consumo humano tem estimulado a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias para otimizar o consumo de água nas indústrias, na agricultura e nos centros urbanos, prevenindo o desperdício e a contaminação dos ambientes hídricos. Análogo aos esforços para conservação dos recursos hídricos, a limitação da disponibilidade dos recursos naturais utilizados para geração de energia, tem estimulado a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias que viabilizem o uso de fontes renováveis para geração de energia, prevenindo a escassez de recursos naturais e a degradação ambiental.

Este estudo apresenta os resultados alcançados com a utilização de um equipamento mecânico de bombeamento de água, para pressurizar um sistema de irrigação que promove a economia do uso de água. Assim, foi avaliado o comportamento hidráulico de um tubogotejador não compensado, quando pressurizado por um carneiro hidráulico construído com materiais alternativos de baixo custo. O sistema foi instalado no Laboratório de Hidráulica da Universidade Federal de Lavras – UFLA – para avaliação da possibilidade de uso do carneiro hidráulico na pressurização do tubogotejador, a partir da análise da vazão e pressão proporcionadas pelo equipamento de bombeamento de fluidos. Foi avaliada também a uniformidade do sistema de gotejamento tendo em vista os pulsos produzidos pelo carneiro hidráulico e a conseqüente oscilação da pressão.

1 – INTRODUÇÃO

Os hábitos nômades das populações antigas eram caracterizados pelos extensos deslocamentos em busca de alimentos e água. Os frutos e vegetais eram coletados conforme a disponibilidade na natureza. Quando o homem passou a desenvolver as técnicas de agricultura, reduziram-se as necessidades de deslocamentos em busca de alimentos e foram criados os primeiros povoados onde se fixavam as populações. As primeiras grandes civilizações se desenvolveram entorno dos ambientes hídricos, tanto para suprir a demanda do consumo direto da água, como para promover a irrigação das áreas agrícolas.

O crescimento da população e o desenvolvimento industrial têm proporcionado o aumento da demanda energética e do uso da água contribuindo para acelerar o esgotamento dos recursos naturais não renováveis e comprometer a capacidade natural de reposição dos recursos naturais renováveis. Na verdade, a partir da Revolução Industrial, o sistema capitalista impôs um modelo de consumo na sociedade moderna que tem contribuído sobremaneira para ampliar a exploração dos recursos naturais, já que a produção de bens de consumo e a oferta de serviços em larga escala demandam a utilização e a transformação das fontes energéticas disponíveis na natureza.

Estima-se que o consumo de energia pelo homem aumentou cerca de 15 vezes nos últimos 12 mil anos. Segundo estudo conduzido pela Agência Internacional de Energia – AIE – a demanda mundial por energia aumentará em um terço entre 2010 e 2035. No Brasil, a expectativa é um aumento de 78 % do consumo de energia entre 2009 e 2035. Somente em 2010, o aumento da demanda por energia elétrica no mundo representou um aumento de 5%. Contudo, esse mesmo estudo indica uma queda na participação dos combustíveis fósseis na geração de energia que passará de 81 % em 2010 para 75 % em 2035.

Conforme exposto acima, além do acelerado processo de industrialização, que ocorreu a partir da Revolução Industrial, também a agricultura extensiva utilizada para abastecimento dos grandes centros urbanos contribui expressivamente tanto no consumo de água doce como no consumo dos recursos energéticos. Esse aumento do consumo de água e a poluição dos ambientes hídricos podem comprometer a disponibilidade de água em condições de consumo no planeta. Segundo dados das Nações Unidas, enquanto a população mundial duplicou na última década do século XX, a demanda pelo uso da água cresceu seis vezes, sobretudo para irrigação agrícola.

Vê-se, portanto, que a indústria e a irrigação agrícola são as principais atividades consumidoras de água pelo homem, sendo que o consumo de água para irrigação, na maior parte dos continentes, supera o consumo de água nas indústrias (Heller, 2006). Considerando a demanda mundial pela água, 70% são utilizados na irrigação agrícola, 20% nas indústrias e 10% são utilizado para consumo doméstico e municipal (Rebouças, 1999). É importante destacar aqui que do total de água disponível na Terra, 97,0% concentram-se no mar, 2,2% nas geleiras e apenas 0,8% na forma de água doce, sendo que desse percentual de água doce, apenas 3% estão disponíveis na superfície do solo (Sperling, 2005). Ora, como na maior parte dos casos o homem utiliza a água doce superficial para suprir as diversas demandas de consumo, fica evidente que esse uso se concentra justamente onde a disponibilidade é mais restrita.

As consequências negativas dos impactos ambientais sobre os componentes físicos, bióticos e socioeconômicos e a vulnerabilidade do homem às alterações ambientais motivaram o poder público a tomar medidas de controle para regulamentação das atividades potencialmente poluidoras do ambiente. Concomitantemente foram intensificados os questionamentos sobre a capacidade de suporte do meio ambiente em admitir as explorações de recursos e absorver os produtos e resíduos dos processos humanos sem comprometer a

disponibilidade dos elementos necessários para as atividades do homem e equilíbrio ecológico. No entanto, as incertezas sobre essas consequências da exploração indiscriminada dos recursos naturais e dos impactos ambientais proporcionados pelas atividades do homem fizeram emergir um novo paradigma pautado no consumo consciente e na conservação dos recursos ambientais. Surge neste contexto o conceito de desenvolvimento sustentável que se refere a uma forma de atender as necessidades das gerações presentes sem comprometer as necessidades das gerações futuras.

A busca pela sustentabilidade, a limitação da disponibilidade dos recursos naturais e os impactos ambientais decorrentes da utilização e transformação dos recursos energéticos têm incentivado o uso e o desenvolvimento de tecnologias alternativas para atender as demandas de consumo da sociedade de forma que promovam a conservação dos recursos ambientais e a economia de energia na cadeia produtiva. Além disso, também a limitação da disponibilidade de áreas agricultáveis incentivou a pesquisa para desenvolvimento de técnicas para aumento da produtividade de alimentos por unidade de área. Assim, a produção agrícola passa a atender as demandas por consumo de alimento de maneira a promover a economia de água, de energia e o aumento da produtividade.

No contexto dessa necessidade de intensificar o uso agrícola do solo e otimizar a utilização da água foram desenvolvidas técnicas de irrigação localizada que permitissem suprir as necessidades do cultivo reduzindo as perdas de água por evaporação, infiltração e escoamento. Ao mesmo tempo ainda se busca uma economia do consumo de energia dos sistemas de irrigação para redução dos gastos da produção. A economia do consumo de água, o aumento da produtividade e a economia no consumo de energia elétrica contribuem, evidentemente, para reduzir os investimentos na produção tornando os produtos mais competitivos no mercado. Para bombeamento, por exemplo, podem-se

utilizar tecnologias alternativas como o carneiro hidráulico e a roda d'água, tecnologias seculares que podem ser mescladas às tecnologias atuais para economia de água.

Diante do exposto, pretende-se nesse trabalho apresentar o comportamento hidráulico de tubogotejador quando pressurizado por meio do carneiro hidráulico. Dessa maneira buscou-se a integração do sistema localizado de irrigação que promove a otimização do uso da água, com um sistema mecânico de bombeamento de água independente de fontes externas de energia.

2 - OBJETIVO

O objetivo desse trabalho foi avaliar o comportamento hidráulico de um sistema de irrigação composto por tubogotejador pressurizado pelo equipamento de bombeamento carneiro hidráulico, para diferentes valores de pressão proporcionados ao sistema. Foi experimentado o modelo de gotejador não compensado para avaliar o efeito da oscilação de pressão produzida em decorrência da característica pulsante do carneiro hidráulico. As medições foram realizadas na Universidade Federal de Lavras – UFLA – utilizando um carneiro hidráulico construído com material alternativo de baixo custo, instalado no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia. Foi avaliada, ainda, a capacidade de pressurização e vazão do carneiro hidráulico para acionamento do sistema de irrigação, além da classificação do sistema segundo os parâmetros de Coeficiente de Variação – CV – e Uniformidade de Distribuição – UD – dos gotejadores.

3 - REFERENCIAL TEÓRICO

3.1– Equipamentos utilizados para elevação de fluidos

Conforme apresentado por Carvalho (1999), é tão grande a diversidade dos tipos de bombas existentes no mercado que se torna difícil agrupá-las numa classificação geral. Segundo esse mesmo autor, a classificação mais significativa divide as bombas em dois grandes grupos: as turbobombas e as bombas volumétricas. As turbobombas caracterizam-se pela existência de um rotor acionado por uma fonte externa de energia que, em virtude de seu movimento e perfil aerodinâmico, é responsável pela sucção e posterior recalque do fluido em virtude da variação de pressões causadas pelo equipamento. Já as bombas volumétricas transmitem energia para o fluido recalcado através da variação de volume em suas câmaras ocasionando variações de pressões. Essas variações volumétricas podem ser produzidas pelo movimento rotativo ou alternativo.

Outra classificação das máquinas elevadoras de fluidos é apresentada a seguir, conforme Daker (1976), em três grupos:

1 - Máquinas elevadoras por transporte

- Baldes
- Correntes
- Noras
 - de baldes
 - de rosário
- Pá suspensa
- Rodas
 - de baldes
 - de pás
 - mistas
- Parafuso de Arquimedes

2 - Máquinas elevadoras por aspiração e recalque – bombas

- Diafragma
- Pistão
- Rotor

3 - Máquinas elevadoras por coluna

- Carneiro hidráulico
- Bombas de ar comprimido

3.1.1 - Fontes de energia utilizadas para elevação de fluidos

As máquinas elevadoras de água podem ser acionadas por diferentes fontes de energia, desde a própria energia humana e dos animais, geralmente mais difundidas no passado, até a energia elétrica, notavelmente difundida nos tempos atuais. A seguir é apresentado o Quadro 3.1 ilustrando as principais fontes de energia utilizadas para acionamento de máquinas elevadoras de fluidos, conforme Daker (1976).

Quadro 3.1 – Fontes de energia para acionamento de diferentes máquinas elevadoras de fluidos

Fonte de Energia	Máquinas Elevadoras
Humana e dos animais	Máquinas elevadoras por transporte
	Bombas de pistão e diafragma
Eólica	Bombas de pistão e diafragma
	Roda de pás
	Hélice de Arquimedes
Energia da queda d'água	Carneiro hidráulico
	Hidropulsadores
Energia da água em movimento	Roda mista
- Energia de combustíveis (óleo, gasolina, álcool, lenha etc.) - Energia elétrica	Bomba centrífuga
	Bomba rotativa
	Bomba de pistão
	Bomba de ar comprimido

Fonte: Adaptado de Daker (1976)

Este estudo restringe-se à avaliação do comportamento hidráulico de sistema de irrigação por gotejamento acionado por carneiro hidráulico que, conforme pode ser observado no Quadro 3.1, utiliza-se da energia de uma queda d'água para seu acionamento. Pode-se dizer então que o carneiro hidráulico utiliza da energia potencial gravitacional de uma massa de água que, ao escoar naturalmente por um duto, é aproveitada pelo equipamento para elevação de uma parcela dessa própria água em movimento.

3.2 - Carneiro hidráulico

O carneiro hidráulico é um equipamento utilizado para elevação de água sem a necessidade de utilização de fontes de energia externa, como a elétrica, por exemplo, para seu acionamento. Seu princípio de funcionamento baseia-se na utilização da energia gerada pela interrupção brusca do movimento de um fluido escoando por certo desnível, para elevação de uma parcela desse fluido. A sobrepessão causada pela interrupção brusca do movimento é denominada *golpe de aríete*. Dessa maneira, o carneiro hidráulico, que utiliza essa energia para elevação do fluido, é também conhecido como *aríete hidráulico*.

Equipamento simples, de fácil instalação e reduzida necessidade de manutenção, o carneiro hidráulico foi desenvolvido no final do século XVIII, mais precisamente em 1796, pelos irmãos Montgolfier, na França. Possui grande utilidade quando se deseja elevar pequenas vazões a uma altura de recalque condicionada principalmente ao desnível entre o reservatório de captação e o próprio equipamento. O carneiro hidráulico foi muito difundido quando da sua invenção justamente pela sua característica mista de máquina operatriz e geratriz, funcionando por longos períodos de tempos através de sistemas de válvulas que são acionadas pela energia hidráulica de um fluido em movimento por desnível de cotas, sem a necessidade de um operador ou fonte de energia

externa. Segundo Zárte (2002), o carneiro hidráulico foi substituído por sistemas de bombeamento motorizados nos países ricos, sendo mais utilizado nos países em desenvolvimento, dos quais se destacam a China, Nepal e Colômbia; no entanto, ainda é fabricado em mais de 10 países.

De instalação relativamente simples, o equipamento traz vantagens significativas. Veja-se, pois: a condição necessária à instalação de um carneiro hidráulico numa propriedade rural é a disponibilidade de um curso de água que permita a formação de certo caudal ao qual se deseja elevar apenas uma parcela dessa água (Daker, 1976). Além disso, ao contrário das moto-bombas, ele não necessita de fontes externas de energia para seu acionamento, o que geralmente acarreta custos operacionais para essas últimas. Uma vez instalado e acionado o movimento da válvula de escape do carneiro hidráulico, ele pode operar continuamente, elevando a água que nele penetra a uma altura maior do que a de onde essa água proveio. Vale destacar que o desnível necessário à formação da queda d'água geralmente é formado de modo artificial no meio rural através de pequenos reservatórios ou diques, sendo a água conduzida por tubulação rígida até o corpo do carneiro hidráulico. A tubulação de recalque normalmente é conectada a um reservatório elevado para armazenamento da água e seu uso posterior.

3.2.1 – Elementos constituintes do carneiro hidráulico

O carneiro hidráulico é composto basicamente de uma câmara, geralmente fabricada em ferro fundido, onde fica armazenada uma parcela de ar, e uma parcela de água. Assim, ele é composto somente de elementos mecânicos que não necessitam de lubrificação. As partes móveis são representadas por duas válvulas: a válvula de escape (1) conectada na tubulação adutora e a válvula de

admissão (2) que permite a entrada de água na campânula do carneiro. A figura 3.1 a seguir representa os elementos constituintes do carneiro hidráulico.

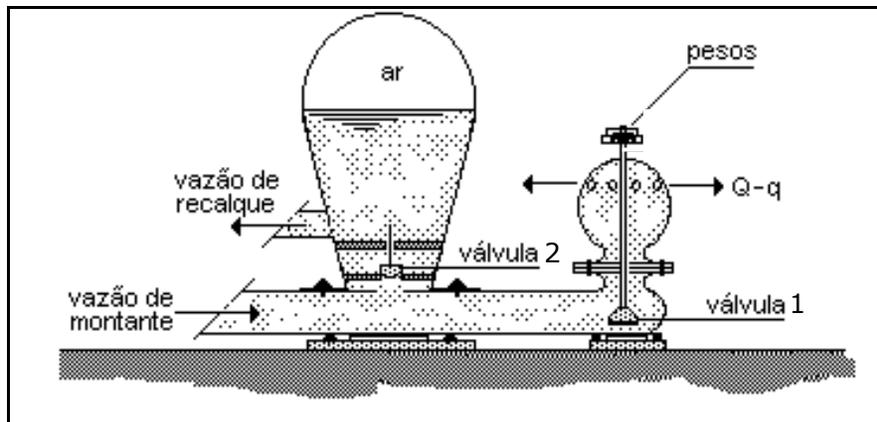


Figura 3.1 - Elementos constituintes de um carneiro hidráulico típico

Fonte: Adaptado de <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Carneiro.html>

A válvula de escape (1) possui pequenos orifícios por onde verte a água da tubulação adutora quando esta está na posição inferior, ou seja, aberta. A válvula (1) pode ter a parte superior em formato cônico assentando contra uma sede de mesma conicidade, quando se acha na posição extrema superior, (Buonicontró, 1982); neste momento, é interrompido o fluxo de água pela válvula. Outro modelo de válvula é a revestida com couro ou borracha; no entanto, elas necessitam da substituição desses elementos após muito tempo de uso (Daker, 1976).

A válvula (2), na entrada da câmara, pode ser dotada de mola calibrável e possui movimento basculante, que permite o fluxo do fluido em apenas um sentido, ocorrendo o fechamento automático, caso haja o movimento no sentido inverso ao do fluxo desejável. Dessa maneira a válvula (2) não permite a saída de água da campânula no sentido do tubo adutor.

Para regulação da quantidade de ar dentro da câmara, alguns modelos de carneiro hidráulico são dotados de um pequeno orifício na sua parte superior, que permite a abertura após longos períodos de funcionamento para retirada do excesso de água, possibilitando, assim, a reposição do ar que poderia escapar. O volume de ar exerce a função de amortecer a sobrepressão dentro da câmara quando da ação do *golpe de aríete*. A variação volumétrica causada pela compressão do ar exerce trabalho sobre a massa de fluido. Daí a importância de se manter um volume de ar suficiente dentro da câmara para que sua variação volumétrica possa produzir o trabalho suficiente para recalcar a água.

Embora não necessite de lubrificação nas partes móveis, em virtude do livre movimento das válvulas, é indicada a instalação de filtro ou telas na tubulação de adução do carneiro hidráulico evitando a entrada de folhas, galhos ou outros objetos que possam prejudicar a movimentação das válvulas. É ainda indicada a instalação de uma válvula de crivo para evitar o retorno da água pela tubulação de recalque.

3.2.2 – Princípio de funcionamento do carneiro hidráulico

O carneiro hidráulico é um equipamento utilizado para elevação de água, a partir do fenômeno *golpe de aríete* produzido em decorrência da interrupção brusca do escoamento de um fluido por um tubo rígido. Essa interrupção gera uma sobrepressão no fluido, responsável pelo acionamento mecânico da válvula de adução permitindo que a água penetre na campânula de ar que reage ao trabalho de compressão expelindo uma parcela de água pela tubulação de recalque.

Como demonstrado acima, o carneiro hidráulico é composto basicamente por uma campânula de ar, geralmente fabricada em ferro fundido para suportar as elevadas pressões resultantes do *golpe de aríete*, uma válvula de

fuga conectada à tubulação de adução e uma válvula de admissão que permite a entrada de água na câmara de ar quando do fenômeno do *golpe de aríete*. A válvula conectada à tubulação adutora geralmente possui regulagem manual e é composta de uma rosca onde são introduzidas porcas que vão exercitar uma força peso na válvula, pressionando-a para a posição inferior. O curso da válvula também é regulável pela posição das porcas. A válvula de fuga possui fechamento de baixo para cima. Estando o equipamento em repouso, a válvula de fuga está na posição superior, ou seja, fechada. Nessa situação, a pressão dentro da câmara de ar é igual a $(\gamma \cdot h)$, sendo γ o peso específico da água e h a altura da coluna d'água na tubulação de recalque, pois esta está diretamente ligada à câmara. (Buonicontro 1982).

Para dar início ao funcionamento do carneiro hidráulico, basta acionar manualmente a válvula conectada à tubulação de adução, movimentando-a para a posição inferior, permitindo, assim, a livre saída da água pelos seus orifícios. Com a saída liberada pela válvula de escape, a massa de água produz um movimento com aceleração no fluido, aumentando sua velocidade o que conseqüentemente implica numa redução de sua pressão interna, gerando um desequilíbrio na válvula que começa então a movimentar-se rapidamente para posição superior ocasionando a brusca interrupção no movimento do fluido.

No momento de fechamento repentino da válvula de escape ocorre o fenômeno do *golpe de aríete* ocasionando uma onda de sobrepressão no fluido no sentido de jusante para montante. Essa sobrepressão causa a abertura da válvula de admissão conectada na entrada da câmara de ar, permitindo a entrada de certo volume de fluido que, por sua vez, causa a compressão da parcela de ar dentro da câmara. O aumento da pressão dentro da câmara força a válvula de admissão para posição inferior promovendo seu fechamento. Nesse momento a massa de ar que fora comprimida volta ao seu volume inicial exercendo assim um trabalho sobre o fluido dentro da câmara que é expelido pela tubulação de

recalque. O volume de água que entrou na câmara de ar promovendo sua compressão é então forçado pela tubulação de recalque.

Logo após o fenômeno de fechamento da válvula de escape e formação da sobrepressão, o movimento do fluido ocorre em sentido contrário, para dentro da câmara, e daí para tubulação de recalque, o que faz com que a pressão na tubulação de adução regularize-se e a válvula de escape seja forçada para baixo em virtude de seu peso. Nesse momento, a água passa a fluir livremente pela válvula de escape até que atinja valores de velocidade que gerem um desequilíbrio na pressão ocasionando seu fechamento e a formação de novo *golpe de aríete*. Dessa maneira o fenômeno se repete automaticamente pelo movimento das válvulas fazendo com que a vazão expelida seja intermitente.

No momento em que a válvula de escape está aberta, ocorre considerável perda de vazão no equipamento. Os rendimentos energético e volumétrico são muito baixos, embora o equipamento consiga elevações consideravelmente superiores à queda disponível. As equações a seguir aplicam-se para cálculo do rendimento energético e rendimento volumétrico do carneiro hidráulico.

$$n_t = q \cdot H_r / Q \cdot H_s$$

$$n_v = q / Q$$

Onde:

- n_t é o rendimento energético do carneiro;
- n_v é rendimento volumétrico do carneiro;
- q é a vazão recalcada (l/h);
- Q é a vazão na adutora (l/h);
- H_r é a altura de recalque (m)
- H_s é a altura de sucção disponível (m).

A Figura 3.2 apresentada a seguir ilustra um esquema típico de instalação de um carneiro hidráulico para elevação de água a um reservatório.

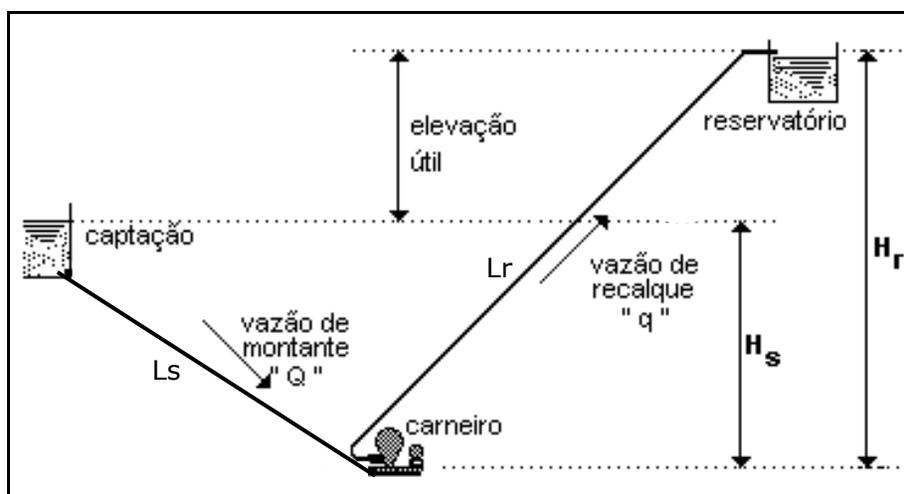


Figura 3.2 – Esquema típico de instalação de carneiro hidráulico

Fonte: Adaptada de <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Carneiro.html>

Conforme pode ser verificado na fórmula apresentada, o valor do rendimento do carneiro hidráulico é dado em função da altura do reservatório de sucção (H_s) e da altura do reservatório de recalque (H_r) ao qual se pretende elevar a água. Os valores aproximados de rendimento de um carneiro hidráulico para diferentes relações (H_s) e (H_r) são apresentados na Tabela 3.1, conforme apresentado por Lima, 2000.

Tabela 3.1 - Rendimento energético aproximado do carneiro hidráulico

Relação Hs/Hr	Rendimento (%)
1/2	80
1/3	75
1/4	70
1/5	65
1/6	60
1/7	55
1/8	50

Conforme pode ser notado na Tabela 3.1, os maiores valores de rendimento energético são conseguidos com as menores relações (Hs) e (Hr), ou seja, quanto maior a diferença de cotas entre o reservatório de origem e o reservatório de elevação, menores os valores dos rendimentos energéticos dos carneiros hidráulicos.

3.2.3 – O golpe de aríete

O *golpe de aríete*, conforme mencionado, é a sobrepressão causada pela interrupção brusca do movimento de um fluido escoando em dutos forçados. Essa sobrepressão é causada em virtude da transformação da energia cinética do fluido em movimento, em energia potencial do fluido comprimido. Parte dessa pressão é absorvida pela própria tubulação em virtude do coeficiente de elasticidade k do material em que é constituída. Dessa maneira, o rendimento do carneiro é afetado pelo tipo de material em que é composta a tubulação de adução. Normalmente os fabricantes sugerem que as tubulações de adução sejam fabricadas com material rígido para evitar a dissipação da onda de pressão pela tubulação e a perda de velocidade. Segundo Carvalho (2000), “se a tubulação for considerada indeformável, o valor da celeridade pode chegar a 1,425 m/s, que é

a velocidade de propagação do som na água.” Na realidade, como qualquer tubo apresenta um coeficiente de elasticidade, essa velocidade não é atingida. A seguir, são apresentados na Tabela 3.2 os valores de coeficientes de elasticidades k de diferentes materiais.

Tabela 3.2 - Coeficiente de elasticidade k de diferentes materiais

Material	K
Aço	0,5
Ferro	1
Concreto	5
Plástico	18

De acordo com o que pode ser observado, o coeficiente de elasticidade do aço e do ferro é significativamente inferior ao do concreto e do plástico. Quanto menor o coeficiente de elasticidade do material da tubulação de adução, menor a absorção da sobrepressão causada no fluido no momento do *golpe de aríete* e maior a velocidade de propagação da onda.

3.2.4 – Instalação do carneiro hidráulico

Em virtude da simplicidade do equipamento, reduzida necessidade de manutenção, operação independente de energia elétrica e investimento inicial relativamente inferior ao de outras bombas, o carneiro hidráulico é utilizado com sucesso no meio rural quando se deseja elevar água a um reservatório, a partir de um curso d’água existente. Assim, para sua instalação em uma propriedade rural, geralmente é necessária a formação de um reservatório artificial construído pela interceptação direta da vazão em um curso d’água, ou pelo desvio de parte dessa

vazão a um reservatório do qual será instalada a tubulação de adução do carneiro.

Alguns cuidados devem ser tomados na instalação de um carneiro hidráulico, para se evitar a interrupção do fornecimento de água decorrente da necessidade de limpeza e manutenção. O carneiro hidráulico deve ser operado utilizando-se água livre de sólidos em suspensão que possam causar o entupimento das válvulas. Dessa maneira, podem ser construídas caixas de areia ou brita para exercerem a função de meio filtrante antes da entrada do líquido na tubulação adutora. Outra maneira de se evitar entupimentos é colocando uma pequena tela junto à tubulação de adução. A primeira alternativa requer uma frequência maior de manutenção e limpeza. A Figura 3.3 ilustra a instalação de um carneiro hidráulico, utilizando-se do desnível natural do terreno para seu acionamento, uma caixa de areia para retenção de sólidos conectada ao curso d'água por tubulação e um reservatório em cota elevada para posterior distribuição e consumo.

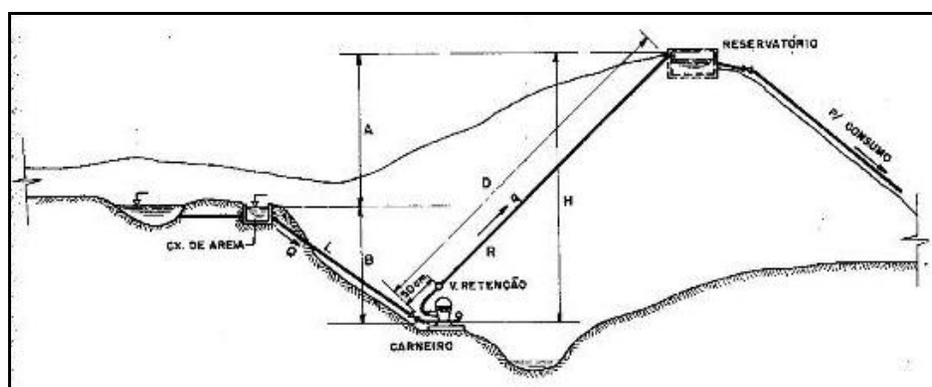


Figura 3.3 – Instalação de um carneiro hidráulico

Fonte: Bombas e Instalações de Bombeamento. Macintyre, 1987.

Para se evitar trepidações e a conseqüente perda de rendimento, o carneiro hidráulico deve ser fixado em uma superfície plana, horizontal e rígida

que proporcione estabilidade no momento do *golpe de aríete*. A fim de se evitar perdas de água e pressão nas conexões dos tubos de adução no momento da sobrepressão, essas devem ser realizadas cuidadosamente e com materiais rígidos e resistentes.

3.2.5 – Recomendações práticas

Algumas recomendações práticas de instalação devem ser seguidas para se conseguir um bom rendimento no carneiro hidráulico. Segundo Buonicontro (1982), a distância do reservatório de origem ao aparelho não deve ser pequena para não haver perda da onda de sobrepressão decorrente da propagação desta em direção ao reservatório. A tubulação adutora deve ter traçado retilíneo com diâmetro maior que a tubulação de recalque (Azevedo Neto, 1973) e deve ser traçada sempre abaixo da linha de pressão, linha imaginária que liga o nível d'água do reservatório de abastecimento à válvula de escape do carneiro hidráulico (Daker, 1976).

De acordo com Macintyre (1987), a tubulação de recalque deve ser a mais reta possível com o mínimo de curvas e ter diâmetro compreendido entre $1/3$ e $1/2$ da tubulação de adução. As curvas e cotovelos na tubulação de recalque acarretam perda de carga, prejudicando a elevação da água na altura desejada. O diâmetro da tubulação de recalque pode ser aumentado para um valor um pouco acima do indicado na bomba a fim de se reduzirem as perdas hidráulicas por atrito (Daker, 1976).

Desnível na adução – Hs

O desnível entre o reservatório de adução e o carneiro hidráulico (Hs) deve ser superior a 1 metro para maioria dos carneiros. Segundo Daker (1976), há equipamentos fabricados para operarem com altura de queda igual a 0,60 m e material resistente a quedas de até 15 metros. De acordo com Siqueira (1970), o equipamento pode ser empregado para quedas de 0,50 a 30 metros. Alguns autores concordam que quedas muito grande na adução aumentam o efeito do *golpe de aríete* provocando grande desgaste na válvula de escape, tubulações e no próprio equipamento.

Comprimento da adutora – Ls

De acordo com Azevedo Neto (1973), o comprimento da adutora (Ls) deve satisfazer as seguintes relações:

$$Ls > 8 \text{ m}$$

$$Ls < 75 \text{ m}$$

$$Ls > 5 \text{ Hs}$$

$$Ls < 10 \text{ Hs}$$

$$1 \leq Ls \leq 1,2 \text{ Hr}$$

Segundo Macintyre (1987), o comprimento da adutora deve seguir as seguintes relações:

$$Ls > 5 \text{ m};$$

$$Ls < 75 \text{ m};$$

O comprimento da adutora pode variar de 3 a 8 vezes o desnível da admissão;

Se H_s compreendido entre 2 e 2,5, $L_s \geq 6 \cdot H_s$;

Se $H_s < 2$ m, L_s compreendido entre 8 H_s e 10 H_s ;

Já para Alberto Daker (1976), a adutora deve seguir as seguintes relações:

H_s para os tipos comuns compreendida entre 1 e 9 metros;

$L_s \geq H_r$ ou no mínimo $3/4 H_r$;

Altura de elevação – H_r

Segundo Siqueira (1970), o carneiro hidráulico pode conseguir alturas de elevação (H_r) de até 150 metros. Para Azevedo Neto (1973), a altura de recalque aconselhável está compreendida na faixa entre 6 e 12 (H_s). Dessa maneira, vê-se uma relação entre a altura de sucção e a altura de recalque, ou seja, quanto maior a altura de recalque, maior o comprimento da tubulação e consequentemente maiores serão as perdas hidráulicas do fluido por atrito nas paredes das tubulações. Logo, quando se deseja vencer grandes desníveis de cota, recomenda-se utilizar tubulações de recalque com diâmetros ligeiramente superiores aos especificados no equipamento, para reduzir as perdas por atrito.

Número de pulsações da válvula de escape

A válvula de escape dos carneiros hidráulicos possui regulagem manual tanto do peso a ser colocado sobre elas, quanto do curso entre sua posição

superior de fechamento e inferior de abertura. O peso da válvula é regulado pela inserção ou retirada de porcas na haste rosqueada, da mesma maneira que seu curso é determinado pela posição das porcas. Quanto maior o comprimento da haste, menor o número de pulsações por minuto e quanto maior o número de pesos sobre ela também menor a frequência de pulsação – segundo Siqueira (1970), o número de pulsações da válvula de escape varia de 30 a 60 por minuto. Regulando-se a frequência de pulsação da válvula, consegue-se obter um maior rendimento hidráulico do carneiro ou um maior volume de água elevada. Entretanto, uma situação é excludente da outra. Com um maior peso e um maior curso na válvula de escape, ocorrem menos batidas por minuto, mas cada batida desenvolve maior pressão e obtêm-se maiores volumes de água elevada. Com um menor peso e um menor curso obtêm-se mais batidas por minuto, com menor pressão e conseqüentemente menor quantidade de água elevada. Em contrapartida, o equipamento apresenta maior rendimento volumétrico (Daker, 1976). Essa situação explica-se pelo fato de que, com um maior peso e maior curso da válvula, a água na tubulação adutora atinge elevados valores de velocidades até que ocorra o fechamento da válvula e a produção de maior sobrepressão; conseqüentemente será elevado maior volume de água por golpe. Já a queda do rendimento volumétrico é explicada pelo fato de ocorrer grande perda de água na válvula de escape até que ocorra seu fechamento.

Em cada situação deve-se avaliar qual é a prioridade: maior quantidade de água elevada ou menor perda de água pela válvula de escape. A abundância ou escassez de água no local de instalação e a demanda de uso vão orientar qual o melhor modo de operação do equipamento.

Carneiros ligados em série

Quando a altura de recalque ou a vazão pretendida é muito grande e não se dispõe de carneiros hidráulicos que possam atender a situação, pode-se realizar a instalação de um conjunto de dois ou mais equipamentos. Segundo Macintyre (1987), “quando se requer uma altura de recalque superior a 60 metros, emprega-se uma série de carneiros que bombeiam por etapas, de modo que cada um descarrega em um depósito que provê a água que alimentará a etapa seguinte acima dele”.

Essa situação acarreta numa perda de água crescente em cada etapa, pois há saída de água pela válvula de escape. Instalando-se uma série de reservatórios que vão suprir a demanda de cada equipamento numa cota superior, ocorre a perda de volume de água recalçada em cada patamar de bombeamento.

3.2.6 – Escolha do carneiro hidráulico

Existem diferentes modelos e tamanhos de carneiro hidráulico disponíveis no mercado para atender a diferentes situações. Cada modelo e tamanho são adaptáveis para se conseguir a elevação da água a uma altura desejável, a vazão de recalque pretendida ou aumentar o rendimento volumétrico do equipamento. Experiências práticas e testes em laboratórios indicaram alguns parâmetros que devem ser seguidos para se obter o bom funcionamento da bomba carneiro.

Para escolha do modelo e tamanho do carneiro a ser adquirido para atender a uma demanda de água numa propriedade rural com um curso d'água disponível, deve-se consultar os dados disponibilizados pelos fabricantes relativos à faixa de vazão disponível e à queda mínima necessárias ao acionamento. Os diâmetros das tubulações de adução e recalque também são

disponibilizados pelos fabricantes. O Quadro 3.2 aplica-se aos carneiros hidráulicos fabricados pela Companhia Lidgerwood Industrial para escolha do tamanho do aparelho e os respectivos diâmetros das tubulações de adução e recalque a serem empregados, a partir dos valores de vazão disponível na propriedade, vazão de recalque e a relação entre as alturas de queda disponível e de recalque.

Quadro 3.2 - Especificações técnicas Companhia Lidgerwood Industrial

Nº do Aparelho	Diâmetro das Tubulações (polegadas)		Vazão utilizada (litros / hora)	Vazão elevada (litros / hora)			
	Adução	Recalque		1:6*	1:8*	1:10*	1:12*
2	3/4	3/8	300	32	20	12	
2			420	44	28	18	
3	1	1/2	420	44	28	18	11
3			600	64	40	25	16
3			900	95	60	38	24
4	1 1/2	3/4	900	95	60	38	24
4			1200	128	80	50	31
4			1500	160	100	63	40
5	2	1	1500	160	100	63	40
5			2100	225	140	88	55
5			2700	285	180	112	72
6	2 1/2	1 1/4	2700	285	180	112	72
6			3600	380	240	150	95
6			4500	480	300	186	120
7	3	1 1/2	4500	480	300	186	120
7			6000	640	400	250	160
7			7500	800	500	330	200

* Relação Hs / Hr

Fonte: Adaptado de Azevedo Neto (1973)

Pela análise do Quadro 3.2 percebe-se que, para o mesmo tamanho de carneiro hidráulico, quanto menor a relação entre a altura de sucção (H_s) e a altura de recalque (H_r), maior a vazão de água elevada para uma vazão utilizada para acionamento do equipamento. Nota-se também que o diâmetro da tubulação de recalque é equivalente à metade do diâmetro da tubulação de sucção. Outra observação que pode ser feita a partir da análise do Quadro 3.2 é que para um mesmo tamanho de carneiro hidráulico e para um mesmo diâmetro das tubulações de adução e recalque consegue-se elevar diferentes faixas de vazão alterando a quantidade de água necessária ao seu acionamento.

Segundo as especificações técnicas apresentadas no Quadro 3.2, a maior vazão conseguida no recalque é equivalente a 800 l/h para uma relação H_s / H_r igual a 1/6. Entretanto, conforme apresentado anteriormente, pode-se conseguir maiores valores de vazão na tubulação de recalque através da ligação de dois ou mais carneiros com pulsações intercaladas. Nota-se ainda que carneiros hidráulicos de tamanhos diferentes, utilizando-se da mesma vazão de acionamento e para uma mesma relação H_s / H_r , podem elevar a mesma quantidade de água. Dessa maneira, para algumas situações, pode-se lançar mão de um carneiro de tamanho menor, que utiliza tubulações de diâmetros também menores, representando um menor custo para aquisição dos equipamentos.

Na Tabela 3.3 são apresentadas as especificações técnicas constantes no catálogo do Fabricante Marumby® Indústria e Comércio de Bombas LTDA. Os carneiros hidráulicos Marumby® são facilmente encontrados no comércio nacional.

Tabela 3.3 – Especificações técnicas do carneiro hidráulico Marumby®

Nº	Quantidade de Água para Alimentação por Minuto	Tubo de Entrada	Tubo de Saída (Diâmetro Interno)	Peso kg
2	7 a 11 litros	3/4"	3/8"	12
3	7 a 15 litros	1"	1/2"	19
4	11 a 26 litros	1.1/4"	1/2"	24
5	22 a 45 litros	2"	3/4"	31
6	70 a 120 litros	3"	1.1/4"	65

Fonte: Catálogo do Fabricante Marumby®

O catálogo do fabricante Marumby® apresenta ainda as seguintes informações:

- Distância máxima de elevação da água ~ 500 metros
- Altura máxima de elevação ~ 50 metros
- Quanto maior a distância e a altura de elevação da água, menor o rendimento do carneiro.
- A tubulação de adução deve ser de ferro ou PVC rígido

3.2.7 - Vantagens e desvantagem do uso do carneiro hidráulico

A maior vantagem do uso da bomba carneiro é o aproveitamento da energia da queda d'água para realizar a elevação de água sem a necessidade do uso de fontes externas de energia. A seguir são listadas as principais vantagens e desvantagens do uso do carneiro hidráulico.

Vantagens

- Não requer a utilização de fontes de energia não renováveis.
- Não necessita de energia elétrica para seu funcionamento;
- Utiliza-se da própria energia potencial gravitacional da água;
- Não necessita da queima de combustível e conseqüentemente não ocorre emissão de gases poluentes na atmosfera;
- Não há necessidade de uso de lubrificantes e conseqüentemente não há riscos de contaminação da água ou do solo;
- Requer pouca manutenção;
- Possui grande durabilidade;
- Não há custos envolvidos na operação;
- É de fácil instalação;
- Pode ser instalada ao ar livre;
- Não apresenta riscos de acidentes quando em operação;
- Funciona por longos períodos de tempo.

Desvantagens

- Apresenta limitado rendimento volumétrico e energético (perda de água);
- A mesma fonte manancial utilizada para acionamento é de onde provém a água a ser elevada;
- A presença de eventuais corpos sólidos na água pode prejudicar seu funcionamento;
- Emite ruído intermitente pelo movimento da válvula de escape.

3.3 - Irrigação

A irrigação consiste na aplicação de água no solo para suprir a demanda de culturas e plantas em geral. É utilizada para proporcionar uma umidade ideal no solo numa frequência que garanta a permanência da umidade para atender às necessidades da planta. A irrigação possibilita a perenidade de culturas mesmo em locais com sazonalidade climática e longos períodos de estiagem. O controle da umidade do solo proporciona ainda um aumento da produtividade das culturas, ou seja, uma maior produção por unidade de área e tempo. Dessa maneira, consegue-se produzir maior quantidade de alimento por unidade de área e com qualidade superior, além de contribuir para menores perdas, resultando assim em maiores ganhos econômicos.

Vimos que o incremento da agricultura na cultura do homem permitiu que ele passasse a produzir seus alimentos num local fixo sem haver a necessidade de grandes deslocamentos em busca de alimentos. Como as primeiras civilizações surgiram em regiões áridas do planeta, foi necessário o desenvolvimento de técnicas hidráulicas para suprir a demanda de água das culturas. Segundo Daker, 1984, a origem da irrigação muitas vezes se confunde com o desenvolvimento da agricultura e com a prosperidade de um povo. Ora, é sabido que, com o advento da tecnologia, o controle das drenagens naturais, o artifício da irrigação e o desenvolvimento de técnicas agrícolas proporcionaram a produção de alimentos em larga escala e a formação de grandes aglomerações humanas no planeta. Isso fez com que quase a totalidade das terras aráveis no planeta fossem utilizadas, gerando assim a necessidade de utilização daquelas regiões áridas e semiáridas, já que essas representam mais da metade da área dos continentes, para produção de alimentos. Segundo Daker (1984), no final do século XX, mais da metade da população mundial consumia alimentos dependentes do artifício da irrigação para sua produção.

Entretanto, o que se percebe nas últimas décadas é uma crescente preocupação com o aumento da demanda de recursos naturais pelo homem e a necessidade de desenvolvimento de técnicas que contribuam para a preservação desses recursos, notadamente da água de boa qualidade. Cada técnica de irrigação possui suas peculiaridades e é melhor aplicável para cada situação, já que está diretamente relacionada ao tipo de cultura, disponibilidade hídrica no local, clima, relevo e características físico-químicas do solo. Isso quer dizer que a produção agrícola é dependente basicamente de três fatores: água, calor, e fertilidade do solo. A fertilidade do solo pode ser controlada pelo agricultor, não sendo um fator limitante para a produção. O calor pode ser controlado pela época do ano em que se realiza o plantio; e a água pode ser controlada através de técnicas de irrigação, no caso de escassez, e drenagem, no caso de excesso. Segundo Reichardt (1978) “Para maximização da produtividade, é necessário aplicar a quantidade exata de água, no momento exato, removendo qualquer excesso por ventura existente”.

Nota-se uma tendência mundial pela economia do consumo de água, dada a poluição, contaminação e degradação desse recurso em virtude do modo de vida contemporâneo, e a escassez de água de boa qualidade para consumo humano. Um artifício das autoridades no Brasil, por exemplo, para proporcionar o uso racional da água é a cobrança pelo seu uso e a necessidade de outorga de direito de uso e intervenção em cursos d’água. Tendo em vista esses fatores, os métodos de irrigação devem levar em conta a eficiência da irrigação buscando o mínimo de perdas no sistema, de forma a cingir a demanda da cultura utilizando-se a menor quantidade possível de água. Conclui-se, assim, que o fator água na produção agrícola, que nos primórdios apresentou-se como um fator limitante, tornou-se totalmente controlável com o domínio dos recursos hidráulicos; no entanto, nas últimas décadas tornou-se novamente um fator limitante, dada a necessidade de uso racional e sustentável. O uso de fertilizantes, melhores

práticas agrícolas, controle de qualidade de sementes, controle de pragas e melhor preparo do solo contribuíram substancialmente para uma melhoria da qualidade dos produtos agrícolas, mas a água tornou-se um fator limitante tanto em termos de custo financeiro como em viabilidade ambiental de seu uso ou mesmo qualidade do manancial disponível.

3.3.1 - Métodos de irrigação

Conforme citado, o método ou o sistema de irrigação a ser implantado numa cultura agrícola depende basicamente da espécie irrigada, topografia do terreno, características físicas do solo e disponibilidade hídrica na região. Deve-se atentar às seguintes considerações acerca da irrigação, conforme apresentado por Reichardt (1978):

- Não é necessária a irrigação quando a disponibilidade de água no solo supre a demanda da evapotranspiração;
- A umidade do solo não deve ser mantida em níveis muito elevados para não prejudicar a aeração do solo, o que em muitas culturas, reduz a produtividade.
- Quando se pretende alcançar a produção máxima de folhas e caules, a demanda da cultura por água é grande;
- Quando os produtos da colheita são as raízes ou tubérculos, a cultura também exige grande quantidade de água;
- Em culturas frutíferas, após a floração, no período de desenvolvimento dos frutos também a exigência da planta por água é elevada.
- Em culturas cujo objetivo é a produção de sementes, a demanda da planta por água varia de acordo com seu estado de desenvolvimento.

Sendo assim, são vários os métodos de irrigação, cada um com suas vantagens e desvantagens para cada situação, devendo ser feito um estudo prévio de aplicação antes da implantação do sistema. Os métodos dividem-se basicamente em três grupos: métodos de aspersão, métodos de superfície e métodos subterrâneos.

Os métodos de aspersão são caracterizados pela distribuição de tubulações no campo que vão pulverizar a água sobre as culturas, simulando o efeito da chuva. Os métodos de superfície consistem na aplicação e distribuição da água diretamente na superfície do solo. A irrigação superficial pode ser por infiltração, em que a água é distribuída no terreno por meio de sulcos ou por inundação quando a água é distribuída por todo o terreno. Já os métodos subterrâneos consistem na aplicação de água abaixo da superfície do solo, na zona radicular da cultura. No Quadro 3.3 são apresentados os principais métodos de irrigação e suas características básicas.

Quadro 3.3 - Principais métodos de irrigação

Aspersão	Água distribuída em forma de chuva	Móveis	Mecânicos ou manuais
		Fixos	Portátil ou permanente
Superficial	Água distribuída na superfície do terreno	Infiltração	Água distribuída em canais
		Inundação	Água distribuída em toda a superfície
		Gotejamento	Água gotejada na região radicular
Subterrânea	Água distribuída no subsolo na zona radicular	Infiltração	Água infiltrada em poços escavados
		Tubos enterrados	Água fornecida em tubos enterrados

Os sistemas de gotejamento e microaspersão são considerados por alguns autores como rega localizada, que consiste na umidificação do solo apenas na região radicular da cultura a ser irrigada, promovendo o uso racional da água. Segundo essa classificação, os sistemas de inundação, sulcos e aspersores são então classificados como irrigação intensiva, que consomem maior quantidade de água e resultam em maiores perdas por infiltração, escoamento e evaporação.

3.4 - Gotejamento

O sistema de irrigação por gotejamento consiste na aplicação de água na região radicular da cultura em forma de gotas de maneira a promover a umidificação do solo na região de suprimento hídrico evitando perdas significativas por evaporação ou infiltração. Os dispositivos de gotejamento geralmente possuem regulagem que permite controlar a frequência de gotejamento conforme a demanda da cultura evitando a saturação ou o déficit do solo na região irrigada, prejudicando o desenvolvimento da planta. O gotejamento permite a aplicação de água no solo com pequena intensidade e alta frequência, promovendo a umidificação controlada.

Segundo Tibau (1979), os primeiros estudos referentes ao sistema de irrigação por gotejamento, foram realizados em 1930 não obtendo muito sucesso em decorrência de problemas causados pela corrosão e conseqüente entupimentos em tubos de ferro galvanizados disponíveis na época. Dessa maneira, somente por volta dos anos 60 com a disponibilidade de tubos de plástico, o gotejamento foi aperfeiçoado e difundido principalmente em Israel. Esse sistema é composto basicamente de tubos plásticos perfurados ou dotados de gotejadores que promovem a aplicação de água no solo na forma de gotas, ao invés de jatos, como nos sistemas de aspersão convencional. Os sistemas de gotejamento foram inicialmente utilizados em estufas e pequenas culturas domiciliares devido aos problemas frequentes de entupimento e à necessidade de manutenção constante ganhando maior aplicação no campo principalmente na década de 70.

A principal vantagem da utilização do sistema de irrigação por gotejamento consiste no controle da aplicação de água no solo e o conseqüente uso racionalizado desse recurso. A economia de água varia aproximadamente de metade a um terço da água utilizada na irrigação por aspersão, Tibau (1978).

O sistema permite ainda a aplicação de fertilizantes solúveis em água proporcionando melhores condições de crescimento das culturas irrigadas. Vale destacar que o gotejamento praticamente elimina as perdas de água por evaporação ou percolação profunda no solo, o que permite sua umidificação na região radicular da planta sem prejuízos à aeração do solo. Segundo Withers (1977) a irrigação por gotejamento permite aumentos de até 100% na produção por unidade de volume de água e até 25% na produção por unidade de área plantada. Sabe-se que a quantidade de água fornecida ao vegetal deve ser suficiente para suprir a demanda de evapotranspiração da cultura. Como esse sistema fornece água continuamente à região radicular da planta, mantendo a umidade do solo próxima à capacidade de campo, ele promove a transpiração contínua da planta.

A reduzida taxa de aplicação de água na cultura determina, em geral, maior turno de rega que os sistemas convencionais, para se alcançar a quantidade de água desejada na irrigação. Entretanto, o principal fator limitante ao seu uso são os problemas de entupimentos dos gotejadores e o elevado custo inicial de implantação quando comparado com outras técnicas convencionais de irrigação.

A Figura 3.4 a seguir ilustra o perfil de solo irrigado por sistema de gotejamento e a formação do bulbo de solo úmido na região radicular da planta.

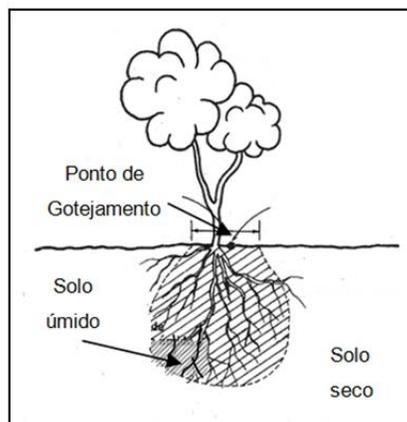


Figura 3.4 - Perfil do bulbo de solo úmido na irrigação por gotejamento

Fonte: Adaptado de Reichardt, 1978.

A redução das perdas de água por evaporação e infiltração quando se utiliza o sistema de gotejamento em detrimento do uso da irrigação por gravidade ou aspersão é nítida, quando se compara o perfil do solo molhado por diferentes técnicas de irrigação, conforme ilustrado na Figura 3.5.



Figura 3.5 - Perfil do solo para diferentes técnicas de irrigação

Fonte: Adaptado de Tibau, 1979.

A taxa de permeabilidade do solo determina a forma do bulbo molhado sendo este tanto mais profundo quanto maior a permeabilidade do solo, conforme ilustrado na Figura 3.6.

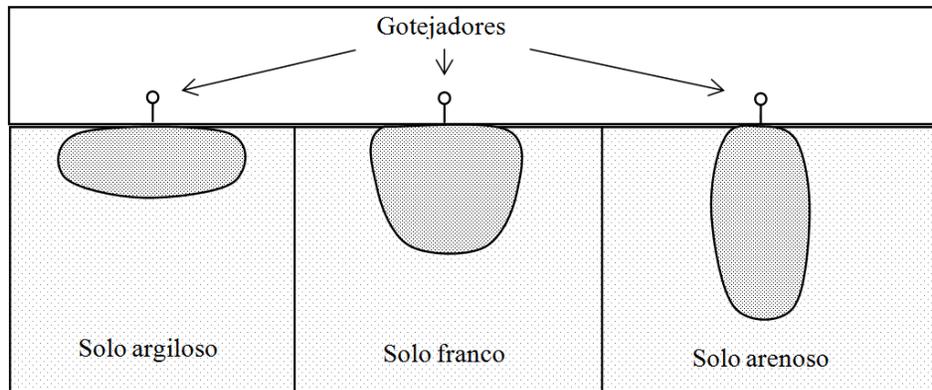


Figura 3.6 - Formas do bulbo molhado para diferentes solos

As vantagens da utilização do sistema de irrigação por gotejamento superam as desvantagens e limitações do uso desse sistema conforme pode ser observado na Tabela 3.4 a seguir.

Tabela 3.4 – Vantagens e desvantagens da irrigação por gotejamento

Irrigação por Gotejamento	
Vantagens	Desvantagem
Protege do solo contra erosão.	Entupimentos nos gotejadores.
Economiza de água.	Necessita de manutenção frequente.
Reduz as perdas por evaporação.	Necessita de água sem sedimentos.
Maior controle da taxa de aplicação da água.	Possui elevado investimento inicial.
Mantém o aeramento do solo.	Concentra as raízes no bulbo molhado.
Proporciona maior controle de ervas daninhas.	
Não molha as partes aéreas.	
Não é influenciada pelo vento.	
Permite aplicação de nutrientes.	
Sistema funciona à baixa pressão.	
Adapta-se a diferentes tipos de solo.	
Adapta-se a topografias irregulares.	
Usa tubulações simples.	
Economiza energia no sistema.	
Mantém a umidade ideal.	
Pode ser usado em solos salinos.	
Proporciona uniformidade dos frutos.	
Promove a precocidade das colheitas.	

Valores apresentados por Inge Bisconer (2011) comprovam a eficiência do gotejamento, levando-se em conta que a aplicação da água no solo varia para os diferentes métodos e sistemas de irrigação:

- Gotejamento: 90 % eficiência
- Aspersão convencional: 75 % eficiência
- Irrigação por sulcos: 67 % eficiência

Observou-se anteriormente que a taxa de aplicação de água por gotejamento deve ser equivalente ao consumo por evapotranspiração da planta para se evitar o déficit de água ou a saturação do solo, o que prejudica a aeração na região radicular da planta. Segundo Tibau (1979) a quantidade de água disponibilizada à cultura deve ficar sempre abaixo da capacidade de campo do solo proporcionando uma quantidade razoável de oxigênio no solo à disposição das raízes da planta, fauna e flora desse ambiente. Assim, conforme Reichardt (1978), “O agricultor deve estabelecer, por meio de testes preliminares, as taxas de gotejo para cada cultura e tipo de solo”.

Especificações técnicas:

- Pressão de acionamento: 0,5 à 2,5 atmosferas
- Diâmetro interno das tubulações: Polietileno 1/4 à 5/8 de polegadas
- Diâmetro dos microtubos gotejadores: 0,25 a 1,5 mm
- Vazão de saída por gotejador: 0,5 l/h à 10 l/h
- Tela dos filtros: 80 a 100 malhas por polegada quadrada

Alguns autores alertam para o risco da proliferação de algas nas tubulações e filtros, orientando para o uso de tubulações pretas e para a

aplicação esporádica de solução de sulfato de cobre em baixa concentração para evitar entupimentos.

Segundo Bernardo (1982), as principais características desejáveis dos gotejadores são:

- Fornecer vazão baixa, constante e uniforme;
- Possuir secção transversal de fluxo suficiente para evitar entupimentos;
- Ser de baixo custo, resistente e compacto.

A irrigação por gotejamento geralmente é montada em sistemas fixos compostos de linhas laterais montadas nos alinhamentos a serem irrigados e funcionando de maneira alternada, ou seja, um número limitado de linhas por vez. O investimento inicial de implantação do sistema está relacionado principalmente ao espaçamento das culturas e o número de gotejadores necessários para irrigação, sendo tanto maior quanto maior o número de gotejadores.

Normalmente os sistemas são compostos por motobomba, cabeçal de controle, linha principal, linha de derivação, linha lateral e gotejadores, conforme ilustrados na Figura 3.7.

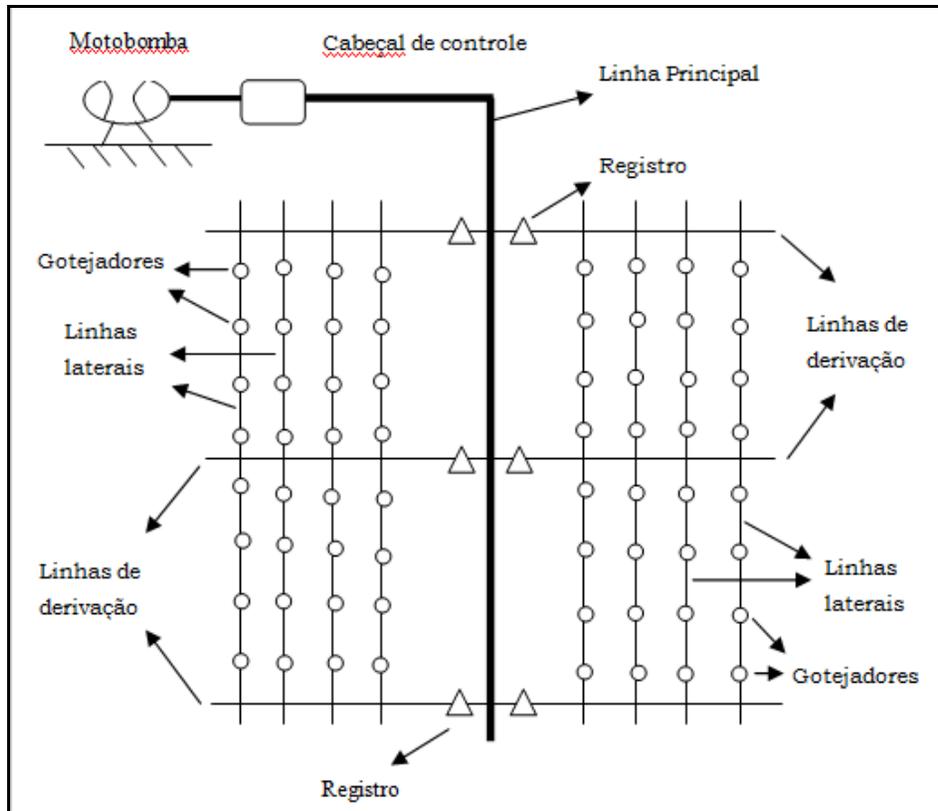


Figura 3.7 – Componentes do sistema de irrigação por gotejamento

Os gotejadores podem ser montados em linha, quando são conectados diretamente à linha lateral sem ocorrência do desvio do fluxo d'água ou em derivação, quando são conectados à linha lateral com desvio do fluxo da água. A montagem em derivação permite ainda a utilização de tubulação de extensão.

No Quadro 3.4 são apresentados os principais tipos de gotejadores citados por Bernardo, 1982, e suas principais características.

Quadro 3.4 - Principais tipos de gotejadores

Modelo de Gotejador	Característica
Microtubos	Consiste em um segmento tubular de diâmetro que varia normalmente de 0,5 a 1,5 mm, inserido diretamente na linha lateral.
Longo percurso integrado	Consiste em peças compactas conectadas diretamente nas linhas laterais e promovendo o escoamento da água em espiral ou labirintos.
Tipo orifício	Consiste em pequenas peças que promovem a perda de carga devido ao fluxo d'água através de pequenos orifícios.
Tubos perfurados	Consiste na perfuração de orifícios com pequenos espaçamentos ao longo das paredes dos tubos.
Microgotejadores	São gotejadores pequenos com formatos de bocal e providos de diafragma para controle de vazão.

Os benefícios alcançados na rega e a eficiência dos sistemas de gotejamento têm estimulado os fabricantes a desenvolverem sistemas modernos de gotejamento procurando resolver as limitações dos sistemas mais antigos, principalmente relacionadas ao entupimento dos equipamentos e a variação de vazão. Atualmente existem sistemas modernos de gotejadores que proporcionam a constância da vazão de saída mesmo com a variação da pressão disponível no sistema. Alguns sistemas proporcionam o regime de turbulência nos gotejadores, funcionando como sistemas autolimpantes.

Para correção de problemas, nos gotejadores, relacionados ao entupimento e à variação de pressão ao longo da linha, foram desenvolvidos os gotejadores antidrenantes, que impedem a entrada de partículas no sistema, e os gotejadores autocompensados, que compensam as variações de pressão em decorrência das perdas de carga no sistema. No entanto, para realização das medições apresentadas nesse estudo, foi utilizado o modelo de gotejador normal

justamente para avaliar o efeito da variação de pressão produzida pela pulsação do carneiro hidráulico.

Gotejadores normais

São sistemas de gotejamento sem mecanismos de regulação da pressão, proporcionando a variação da vazão de saída conforme a variação na pressão do sistema. Os gotejadores não compensados apresentam menor custo de aquisição que os gotejadores autocompensados ou antidrenantes.

Atualmente a maioria dos sistemas de irrigação por gotejamento trabalham na faixa de pressão de 0,5 a 2 kgf / cm² com vazões variando de 0,5 L/h a 5 L/h. O espaçamento mais usado entre gotejadores são 0,20 m a 0,30 m para solos de textura grossa e 0,50 m a 1 m para solos de textura média e fina.

Gotejadores autocompensados

São gotejadores dotados de sistema de compensação de pressão que proporciona uma mesma vazão de água, mesmo para diferentes valores de pressão. Operam dentro de uma faixa de variação de pressão proporcionando a mesma vazão de gotejamento. Dessa maneira, são eficientes para utilização em terrenos com variação de declividade ou para sistemas com linhas laterais prolongadas, que proporcionam a variação da pressão ao longo dos tubos de distribuição de água.

Os gotejadores autocompensados possuem normalmente um êmbolo interno que realiza a compensação automática da pressão a ele aplicada, proporcionando uma vazão constante de gotejamento. Assim, consegue-se a uniformidade da vazão despejada por cada gotejador ao longo do sistema de

irrigação, mesmo que haja variações de pressão proporcionadas por desníveis no terreno ou perda de carga nas tubulações.

Gotejadores antidrenantes

Esses gotejadores são utilizados em sistemas de irrigação por pulso. Possuem um sistema de fechamento automático após o corte da água no final da rega, conservando a água na tubulação e impedindo a perda de pressão em decorrência da drenagem nas linhas laterais. O sistema antidrenante mantém a água na tubulação proporcionando o imediato retorno da rega após o período de interrupção, prevenindo a necessidade de reposição de água na tubulação.

3.4.1 – Avaliação da uniformidade de aplicação de água

O Coeficiente de Variação – CV – é uma medida da variabilidade da descarga entre os gotejadores do sistema de irrigação. A variação da descarga despejada pelos gotejadores ocorre em decorrência da sensibilidade de operação do sistema e das reduzidas dimensões do canal do gotejador, podendo apresentar diferenças dimensionais e de acabamento entre os dispositivos durante a fabricação.

Segundo a norma americana American Society of Agricultural Engineer, ASAE EP 405.1 (1993), o Coeficiente de Variação – CV – é calculado pela fórmula:

$$CV = (S/X).100$$

Onde:

CV = Coeficiente de Variação (%)

S = Desvio padrão entre as vazões dos emissores do sistema (l/h)

X = Vazão média dos emissores do sistema (l/h)

A partir do CV, foi proposta pela norma americana American Society of Agricultural Engineer, ASAE STANDARDS (1994), uma classificação do sistema de gotejamento em cinco categorias, conforme apresentado na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Classificação do sistema de gotejamento segundo o CV

Coeficiente de Variação (%)	Classificação
< 5	Excelente
de 5 a 7	Bom
de 7 a 11	Mediano
de 11 a 15	Ruim
>15	Inaceitável

Fonte: Adaptado de: ASAE STANDARDS 1994

Inge Bisconer (2011) apresentou nova proposta de classificação do sistema de gotejamento, mais rigorosa que a classificação indicada na norma

ASAE STANDARDS 1994, conforme os intervalos de valores do CV apresentados na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Classificação do sistema de gotejamento segundo o CV

Classificação	Coefficiente de Variação Cv
Excelente	< 3
Bom	3 a 5
Ruim	5 a 10
Péssimo	> 10

Fonte: Inge Bisconer (2011)

3.4.2 – Uniformidade de Distribuição – UD

A Uniformidade de Distribuição – UD – é um parâmetro definido por Keller e Karmeli (1974) para avaliar a uniformidade da vazão despejada pelos gotejadores de um sistema de irrigação. A UD é a relação entre os 25% menores valores de vazão dos gotejadores e a vazão média entre os gotejadores do sistema avaliado, obtida pela fórmula:

$$UD = (q_{25}/q_m) \cdot 100$$

onde:

UD = Uniformidade de Distribuição (%)

q_{25} = 25% menores valores das vazões (l/h)

q_m = média das vazões dos gotejadores (l/h)

O sistema é então classificado em quatro categorias conforme os intervalos de UD de aplicação da água apresentados na Tabela 3.7 e proposto por Keller e Karmeli (1974.).

Tabela 3.7 – Classificação do sistema de gotejamento conforme a Uniformidade de Distribuição - UD da aplicação de água

Valor	Uniformidade
UD ≥ 90%	Excelente
80% ≤ UD < 90%	Boa
70% ≤ UD < 80%	Regular
UD < 70%	Ruim

Fonte: Keller & Karmeli (1974)

Como o sistema de irrigação por gotejamento promove a rega localizada, deseja-se a uniformidade do volume despejado por cada gotejador, para que cada planta receba a mesma quantidade de água e, por sua vez, tenha as mesmas condições de desenvolvimento.

3.4.3 – Curva Característica do Emissor

A Curva Característica do Emissor (Keller e Karmeli, 1974) indica que a vazão nos emissores dos sistemas de irrigação por gotejamento varia de acordo com a pressão do sistema e conforme o regime de fluxo obtido em cada modelo de emissor, conforme a seguinte equação:

$$Q = k_d \cdot h^x$$

Onde:

$$Q = \text{vazão (l/h)}$$

k_d = coeficiente de proporcionalidade

h = pressão de serviço (mca)

x = expoente que caracteriza o regime de fluxo no emissor
(adimensional)

Os valores de (x) para cada modelo de emissor no sistema de gotejamento é apresentado na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 – Valores de x , de acordo com a classificação dos emissores

Emissores	Valores de x
Regime laminar	1
Microtubos	0,75 a 1
Helicoidal	0,65 a 0,75
Regime turbulento	0,5
Vortex	0,4
Autocompensante	0 a 0,4
Perfeitamente autocompensante - teórico	0

Fonte: Keller & Karmeli (1975)

Para o sistema de gotejamento avaliado neste estudo foi utilizado tubogotejador com emissor tipo labirinto, portanto com regime turbulento e valor de (x) igual a 0,5.

4 - METODOLOGIA

Para realização deste trabalho primeiramente foi realizada a revisão bibliográfica em literaturas¹ relacionadas aos sistemas de irrigação e sistemas de bombeamento de água. Posteriormente, a pesquisa foi focada no funcionamento do carneiro hidráulico e dos sistemas de irrigação por gotejamento.

O estudo do comportamento hidráulico de gotejadores acionados pelo carneiro hidráulico foi realizado no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras – DEG/UFLA. Foram medidas as vazões em um tubogotejador para diferentes valores de pressão proporcionados por um carneiro hidráulico construído com material alternativo de baixo custo e fácil aquisição.

O sistema foi alimentado por um reservatório elevado de água no qual está conectada a tubulação para alimentação do carneiro. Os valores de vazão foram medidos por meio de recipientes coletores posicionados sob cada gotejador. A variação de pressão foi conseguida por meio da abertura de um registro instalado na entrada do tubogotejador

As medições foram realizadas para o sistema pressurizado por um carneiro hidráulico de PVC comercial disponibilizado no laboratório de hidráulica da UFLA. Na tubulação de saída do carneiro, foi instalado um manômetro para medições das pressões conseguidas no início da linha de irrigação. Da mesma maneira, foi instalado outro manômetro no final da linha de irrigação para conhecimento da perda de carga no tubogotejador.

¹ Além da pesquisa bibliográfica (suporte do tipo *codex*) foi realizada a pesquisa em material disponível na rede mundial de computadores.

Características do carneiro hidráulico

Para pressurização do tubogotejador foi utilizado um carneiro hidráulico de PVC comercial, construído na Universidade Federal de Lavras e instalado no laboratório de hidráulica dessa universidade. A construção do carneiro hidráulico de PVC comercial foi objeto de estudo préterito por meio de programa de pós-graduação da universidade e possui baixo custo de produção e desempenho satisfatório e comprovado. O carneiro hidráulico de material alternativo é alimentado por meio de uma tubulação metálica conectada a um reservatório de água elevado. Na Figura 4.1 está apresentado o carneiro hidráulico utilizado para pressurização do sistema de irrigação.



Figura 4.1 – Carneiro hidráulico de PVC comercial

Em decorrência do longo período de tempo em que o *carneiro* ficou inoperante, foram realizadas medições de vazão para diferentes valores de pressão, tendo em vista a produção da curva Vazão x Pressão do equipamento. Foram realizadas três medições de volume de água despejada num determinado período de tempo para três diferentes valores de pressão produzida pelo

equipamento e calculada a média de vazão para cada pressão. A variação da pressão na tubulação de recalque foi conseguida por meio do controle de registro conectado a tubulação.

Características do tubogotejador

Foi avaliado o comportamento hidráulico do sistema de tubogotejador não compensado e que, portanto, não equilibra as variações de pressão produzidas pela característica pulsante do carneiro hidráulico. Foi utilizado o seguinte modelo de tubogotejador:

Tubogotejador não compensado
Pressão de operação = 1 bar = 10 mca
DRIP-PLAN
DRIP-TECH 25 mil
Dn: 17 mm
Vazão 1.2 l/h
Espaçamento: 30 cm

O tubogotejador foi suspenso em mourões de madeira e nivelado por meio da utilização de um nível de engenharia e régua graduada de maneira a manter a mesma cota de elevação no início e no final da linha. O desnível no terreno medido com o nível de engenharia foi igual a 0,48 m, corrigido por meio da elevação do sistema. O equipamento foi cuidadosamente esticado e prendido de maneira a evitar a formação de curvas, estrangulamentos ou barrigas na tubulação, reduzindo a perda de carga em decorrência de desníveis ou mudanças na direção do fluxo de água. A Figura 4.2 a seguir ilustra a posição do tubogotejador no sistema avaliado.



Figura 4.2 – Posição do tubogotejador suspenso e nivelado

Sob os gotejadores foram fixados recipientes para coleta da água despejada e realização das medições de vazão em cada gotejador considerando as diferentes vazões produzidas no sistema.

Método de medição da vazão

O volume de água coletado em cada recipiente foi pesado em uma balança com capacidade de 300 g e precisão de 0,01 g. O volume de água despejado pelos gotejadores em cada coletor foi transferido para um recipiente de massa conhecida e posicionado sob a balança, para medição da massa de água em cada coletor. As medições foram realizadas para um tempo de funcionamento de 1 minuto após a estabilização da pressão no sistema. Dessa maneira, foi calculada a vazão despejada por cada gotejador a partir do conhecimento do volume de água despejada em um intervalo de 1 minuto.

Anterior ao início das medições o sistema foi colocado em funcionamento para estabilização da pressão no tubogotejador. A regulagem da pressão foi conseguida por meio de um registro instalado na tubulação de recalque do carneiro hidráulico, na entrada do tubogotejador. Uma vez estabilizado o sistema, foram realizadas três medições de vazão para três diferentes valores de pressão produzidos no sistema.

Para que todos os recipientes coletores recebessem a água despejada nos gotejadores no mesmo instante, utilizou-se uma equipe de ajudantes para promover a tapagem e destapagem dos recipientes coletores. A Figura 4.3 ilustra a equipe de ajudantes no momento de funcionamento do sistema.



Figura 4.3 – Sistema de irrigação acionado pelo carneiro hidráulico de PVC – comercial em funcionamento

A Figura 4.3 ilustra o momento em que o sistema estava operando e os gotejadores despejando água nos recipientes coletores. É possível notar o

registro de controle da saída de água para regulagem da pressão na entrada do sistema em teste.

A Figura 4.4 ilustra a medição do manômetro posicionado na entrada do sistema para a pressão de 1,5 bar e a Figura 4.5 ilustra o momento de funcionamento do carneiro hidráulico e a saída d'água na válvula de escape.



Figura 4.4 - Posição do manômetro na entrada do tubogotejador



Figura 4.5 – Carneiro hidráulico de PVC comercial em funcionamento

Foi medida a vazão despejada em 25 gotejadores considerando o intervalo de um gotejador entre cada recipiente coletor. Assim, o comprimento da linha de irrigação foi equivalente a 15 metros, ou seja, cada gotejador com espaçamento de 0,60 metros. No Anexo I estão apresentados os quadros com os valores medidos no sistema em teste.

Foram calculados os seguintes parâmetros para avaliação do sistema

- Coeficiente de Variação – CV
- Uniformidade de Distribuição – UD

Além desses parâmetros, foi aferida a capacidade de pressurização do sistema para avaliar a possibilidade de uso do carneiro hidráulico em sistema de irrigação por gotejamento e a capacidade de vazão de um carneiro hidráulico do fabricante MARUMBY® para dimensionamento de um sistema hipotético de irrigação.

5 - RESULTADOS

Os resultados das medições realizadas no sistema de irrigação de gotejamento pressurizado pelo carneiro hidráulico de PVC comercial instalado no Laboratório de Hidráulica da UFLA estão apresentados no Anexo A.

No Quadro A1 estão apresentados os volumes de água despejados por cada gotejador para pressão média no início da linha igual a 1,0 bar e pressão média no final da linha igual a 0,9 bar. No Quadro A2 estão apresentados os volumes de água despejados por cada gotejador para pressão média no início da linha igual a 1,5 bar e pressão média no final da linha igual a 1,3 bar e no Quadro A3 estão apresentados os volumes de água despejados por cada gotejador para pressão média no início da linha igual a 2,0 bar e pressão média no final da linha igual a 1,8 bar. Para cada intervalo de pressão foram realizadas três medições e então calculada a média de vazão despejada em cada gotejador para o tempo de 1 minuto de funcionamento. Em decorrência de impedimentos operacionais não foi medida a vazão para os gotejadores 1 e 15 do sistema.

Na Figura 5.1 está apresentado o gráfico ilustrando o volume de água despejado por cada gotejador no sistema em teste para os diferentes valores de pressão, no início e no final da linha, produzidos pelo carneiro hidráulico de PVC comercial. Na linha azul estão representados os valores despejados por cada gotejador para pressão média no início da linha – $P_i = 1,0$ bar e pressão média no final da linha – $P_f = 0,9$ bar. Na linha vermelha estão representados os valores despejados por cada gotejador para pressão média no início da linha – $P_i = 1,5$ bar e pressão média no final da linha – $P_f = 1,3$ bar. Já na linha verde estão representados os valores despejados por cada gotejador para pressão média no início da linha – $P_i = 2,0$ bar e pressão média no final da linha – $P_f = 1,8$ bar.

Como a pressão no sistema oscila em aproximadamente 0,2 bar em cada pulso do carneiro hidráulico, as pressões indicadas para o início e final da linha

são equivalentes as médias de valores indicados pelos manômetros. O intervalo de 1 minuto foi considerado após a estabilização da pressão no sistema

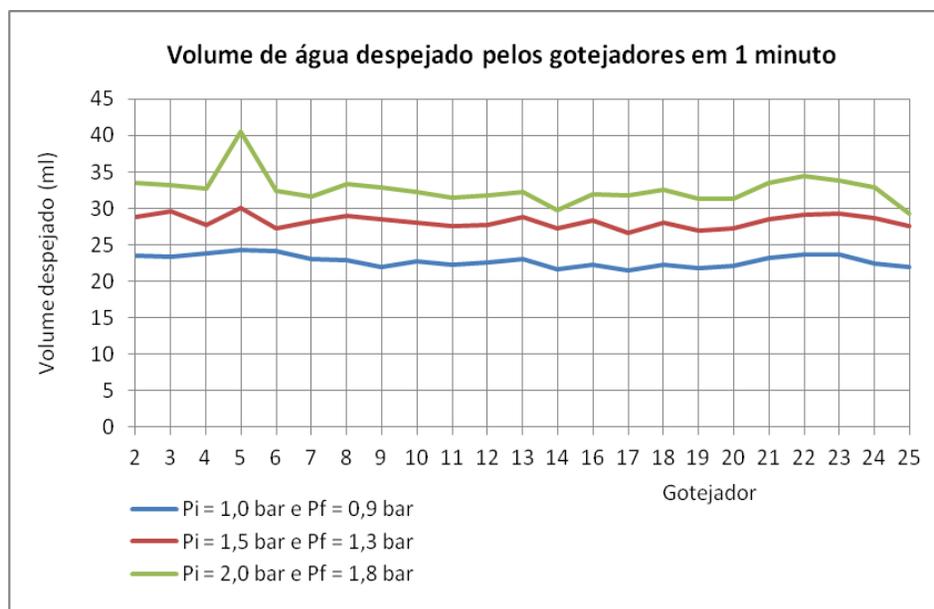


Figura 5.1 – Volume de água despejado em 1 minuto por cada gotejador para três diferentes pressões produzidas pelo carneiro hidráulico de PVC comercial

A análise do gráfico apresentado na Figura 5.1 indica um padrão regular de variação de volume despejado por cada gotejador do sistema, entre as três diferentes pressões produzidas pelo carneiro hidráulico de PVC comercial. Essa situação indica que as variações de volume entre os gotejadores ocorreram provavelmente em decorrência de irregularidades na fabricação dos emissores. Por outro lado, as menores variações de vazão entre os gotejadores, ocorreram para as menores pressões impressas no sistema.

5.1 - Análise da vazão no sistema

Neste item é apresentado um dimensionamento hipotético de um sistema de irrigação por gotejamento utilizando-se valores típicos de variáveis na instalação de um sistema de bombeamento por carneiro hidráulico.

Conforme apresentado anteriormente, o rendimento energético do carneiro hidráulico é dado pela fórmula:

$$nt = q \cdot Hr / Q \cdot Hs$$

Onde:

nt é o rendimento energético do carneiro;

q é a vazão recalçada (l/h);

Q é a vazão na adutora (l/h);

Hr é a altura de recalque (m);

Hs é a altura de queda disponível (m).

Pela equação de rendimento energético nota-se que os carneiros hidráulicos podem recalcar uma vazão de até:

$$q = nt \cdot Q \cdot Hs / Hr$$

Considerando uma situação hipotética em que Hr = 1,2 bar (12 mca) e por exemplo a altura de alimentação Hs igual a 3 m, tem-se uma relação Hs/Hr de 1/4. Com essa relação espera-se um rendimento energético nt de 0,70 (Lima, 2000).

Considerando o maior tamanho do carneiro hidráulico do fabricante Marumby®, n° 6, a vazão de alimentação Q pode ser de até 120 l/min ou 7200 l/h. Aplicando-os na equação:

$$q = 0,70 \cdot 7200 \cdot 1/4$$

$$q = 1260 \text{ l/h}$$

Considerando, por exemplo, gotejadores de 1,0 l/h posicionados em um tubogotejador com espaçamento de 50 cm, esse resultado representa 2,0 l/h por metro de tubogotejador. Neste caso, considerando vazão de recalque do carneiro hidráulico de 1260 l/h, pode-se ter 630 metros de tubogotejador.

A vazão produzida pelo carneiro hidráulico Marumby® n° 6 (1260 l/h) poderia, por exemplo, abastecer 42 laterais de 15 metros de comprimento ou 42 canteiros de 15 metros de comprimento.

Considerando o espaçamento dos canteiros igual a 1,20 metros, seriam 50,4 metros x 15 metros de horta = 756 m² de horta. Ou seja, o carneiro hidráulico poderia abastecer 756 m² de horta utilizando tubogotejador com espaçamento de 0,50 m a uma vazão de 1,0 l/h.

5.2 – Análise da pressão fornecida pelo carneiro hidráulico

Foi determinada a curva de Vazão x Pressão do carneiro hidráulico de PVC comercial instalado no Laboratório de Hidráulica da UFLA por meio de medições do volume produzido pelo equipamento num determinado intervalo de tempo para diferentes valores de pressão conforme dados apresentados no Quadro 5.1.

Quadro 5.1 – Vazão do *carneiro* para diferentes valores de pressão

Intervalos de Pressão (bar)	Pressão Média (bar)	Tempo (s)	Volume (ml)	Vazão (l/h)	Vazão média (l/h)
1,2 a 1,3	1,25	3,04	0,2546	301,50	315,19
		2,22	0,2137	346,54	
		2,34	0,1934	297,54	
1,4 a 1,5	1,45	3,00	0,1965	235,80	246,69
		2,69	0,1830	244,91	
		3,28	0,2363	259,35	
1,6 a 1,7	1,65	2,68	0,1666	223,79	227,30
		2,66	0,1687	228,32	
		2,53	0,1615	229,80	

Na primeira coluna do Quadro 5.1 estão apresentados os intervalos de pressão medidos no manômetro instalado na tubulação de recalque do equipamento. A ligeira oscilação da pressão, representada pelo intervalo de pressão, é proporcionada pela característica pulsante do equipamento. Dessa maneira, na segunda coluna está apresentada a pressão média produzida pelo equipamento em cada situação. Os resultados apresentados no Quadro 5.1 indicam que foram realizadas três medições de volume para três diferentes valores de pressão conseguidos no equipamento e então calculada a vazão média para cada pressão.

A partir das medições da vazão produzida pelo carneiro hidráulico para os diferentes valores de pressão, foi produzida a curva Vazão x Pressão do equipamento, conforme ilustrado na Figura 5.2.

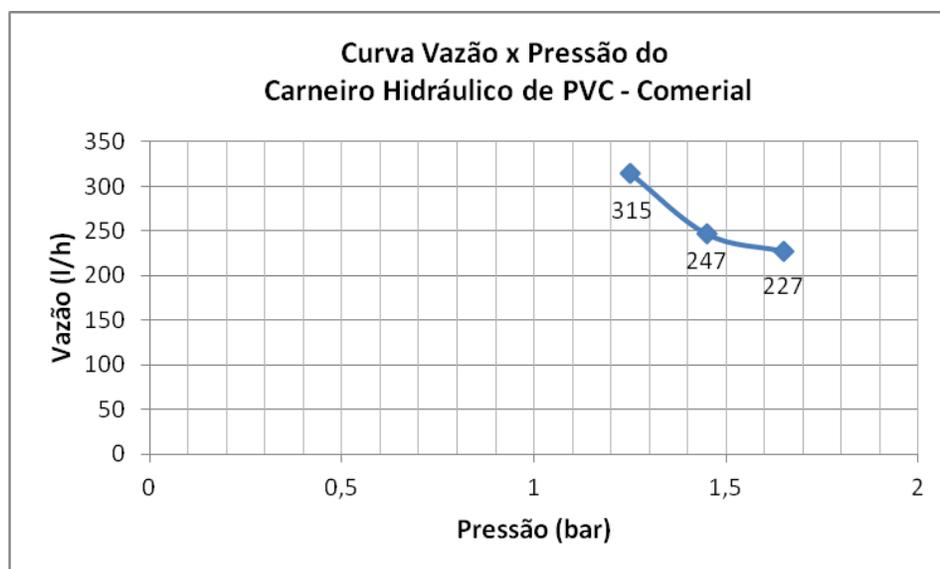


Figura 5.2 – Curva Vazão x Pressão do carneiro hidráulico de PVC comercial

A análise da Figura 5.2 indica que a vazão produzida pelo equipamento diminuiu conforme foi aumentada a pressão no sistema. Essa situação era esperada uma vez que o aumento da pressão foi conseguido por meio do fechamento de um registro instalado na tubulação de recalque diante do manômetro.

Percebe-se no Quadro 5.1 que o carneiro hidráulico de PVC comercial pode fornecer pressões de 1,2 bar a 1,7 bar. Grande parte dos tubogotejadores operam com pressão mínima de operação de 1,0 a 1,2 bar, o que determina que o carneiro hidráulico de PVC comercial tem pressão suficiente para acionar um sistema de gotejamento.

Durante as medições das vazões despejadas pelos emissores do tubogotejador no sistema em teste, foram conseguidas pressões de até 2,0 bar com o carneiro hidráulico de PVC comercial. Os carneiros comerciais podem fornecer pressões ainda superiores e, portanto, suficientes para pressurizar um sistema de gotejamento.

5.3 – Análise da uniformidade do sistema

A vazão dos gotejadores não compensados varia com a alteração da pressão. Conforme apresentado no item 3.4.3, a vazão pode ser descrita como:

$$Q = k_d \cdot h^x$$

Para o modelo de gotejador com regime turbulento utilizado no experimento, o valor de x vale 0,5.

Como os carneiros hidráulicos pulsam, a pressão oscila. Para o carneiro de PVC comercial utilizado neste estudo, a pressão no início da linha oscilou em aproximadamente 0,2 bar.

Se a pressão alterar, por exemplo, de 12 mca para 13 mca, então:

$$q \text{ antes} = k \cdot 12^{0,5}$$

$$q \text{ após} = k \cdot 13^{0,5}$$

Portanto:

$$q \text{ após} / q \text{ antes} = K \cdot 13^{0,5} / K \cdot 12^{0,5}$$

$$q \text{ após} / q \text{ antes} = 3,61 / 3,46$$

$$q \text{ após} / q \text{ antes} = 1,04 \text{ ou } 4\% \text{ de variação.}$$

Conclui-se que a oscilação de pressão do carneiro pode afetar a vazão e variações na vazão podem afetar a uniformidade dos gotejadores.

Nesta pesquisa avaliou-se a vazão despejada por 25 gotejadores com espaçamento de 0,60 metros em um tubogotejador suspenso e nivelado, pressurizado por um carneiro hidráulico construído com material alternativo de

fácil aquisição, instalado no Laboratório de Hidráulica da UFLA. As vazões despejadas por cada gotejador foram medidas para três diferentes valores médios de pressão produzidos no sistema: pressão média no início da linha igual a 1,0 bar, pressão média no início da linha igual a 1,5 bar e pressão média no início da linha igual a 2,0 bar, conforme Quadro A1, Quadro A2 e Quadro A3 apresentados no Anexo A. Cada medição foi repetida três vezes e então calculada a vazão média despejada por cada gotejador.

O Coeficiente de Variação – CV – é equivalente a razão entre a média de vazão produzida pelos gotejadores e o desvio padrão entre as vazões consideradas. Na Tabela 5.1 estão apresentados os valores de vazão média, de desvio padrão e de CV calculados para os diferentes valores de pressão medidos na entrada do tubogotejador.

Tabela 5.1 – Coeficiente de Variação – CV segundo a pressão no tubogotejador

	Vazão Média (l/h)	Desvio Padrão (l/h)	Coeficiente de Variação CV
Pressão Início da Linha Pi = 1,0 bar	1,37	0,05	3,6
Pressão Início da Linha Pi = 1,5 bar	1,69	0,05	3,2
Pressão Início da Linha Pi = 2,0 bar	1,96	0,12	6,4

Conforme apresentado na Tabela 5.1, a vazão média no tubogotejador aumentou com o aumento da pressão disponível ao sistema. O desvio padrão entre os valores de vazão produzidos nos gotejadores apresentou mesmo valor para as pressões no início da linha iguais a 1,0 bar e 1,5 bar, no entanto, o CV

para pressão no início da linha igual a 1,0 bar foi maior que o CV para pressão igual a 1,5 bar. O maior CV ocorreu para a maior pressão no tubogotejador.

Na Tabela 5.2 é apresentada a classificação do sistema de gotejamento segundo a norma ASAE STANDARDS 1994 e segundo BISCONER, 2001, para as diferentes pressões disponibilizadas ao sistema.

Tabela 5.2 - Classificações do sistema segundo a pressão no tubogotejador

	Coefficiente de Variação CV	Classificação (ASAE STANDARDS 1994)	Classificação (BISCONER, 2011)
Pressão Início da Linha Pi = 1,0 bar	3,6	Excelente	Bom
Pressão Início da Linha Pi = 1,5 bar	3,2	Excelente	Bom
Pressão Início da Linha Pi = 2,0 bar	6,4	Bom	Ruim

Considerando a classificação do sistema de gotejamento indicada na norma ASAE STANDARDS 1994, para os menores valores de pressão disponibilizados ao sistema (1,0 bar e 1,5 bar), conseguiu-se a melhor classificação (excelente) e para o maior valor de pressão (2,0 bar), conseguiu-se a segunda melhor classificação proposta nesta norma (bom). Considerando, no entanto, a classificação mais rigorosa proposta por Bisconer, 2011, para as duas pressões mais baixas, conseguiu-se a segunda melhor classificação do sistema de gotejamento (bom) e para o maior valor de pressão conseguiu-se a terceira categoria de classificação (ruim).

Os maiores CVs e, portanto as piores classificações do sistema podem ser explicadas pelo excesso de pressão e vazão fornecidas pelo carneiro hidráulico ao tubogotejador. Conforme informações do fabricante (DRIP –

PLAN) apresentadas na metodologia deste estudo, o tubogotejador é indicado para operar na pressão de 1,0 bar fornecendo vazão de 1,2 l/h.

A uniformidade de distribuição do sistema de irrigação é a razão entre a média dos 25% menores valores de vazão (q_{25}) emitidos pelos gotejadores e a média de vazão (q_m) entre todos os gotejadores do sistema. Na Tabela 5.3 é apresentada a Uniformidade de Distribuição – UD – calculada para os diferentes valores de pressão na entrada do tubogotejador e a classificação do sistema conforme proposto por Keller e Karmeli, 1974.

Tabela 5.3 – Uniformidade de Distribuição e classificação do sistema, para diferentes valores de pressão

	q_{25} (l/h)	q_m (l/h)	UD (%)	Classificação Keller e Karmeli (1974)
Pressão Início da Linha Pi = 1,0 bar	1,31	1,37	96	Excelente
Pressão Início da Linha Pi = 1,5 bar	1,63	1,69	96	Excelente
Pressão Início da Linha Pi = 2,0 bar	1,85	1,96	94	Excelente

A UD dos gotejadores ficou acima de 90 % para todas as pressões disponibilizadas no sistema, de modo que a classificação foi excelente para todas as situações avaliadas, indicando que a oscilação da pressão pelo carneiro não compromete a uniformidade.

6 - CONCLUSÃO

A partir das medições realizadas no sistema de irrigação por gotejamento pressurizado por carneiro hidráulico, conclui-se que é possível irrigar com sistema de gotejamento, utilizando o carneiro hidráulico.

Como o sistema de gotejamento promove a economia do consumo de água, a vazão disponibilizada pelo carneiro hidráulico é suficiente para alimentar mais de 600 metros de tubogotejador, o que seria equivalente, por exemplo, a um sistema típico de irrigação de hortaliças, em uma área com aproximadamente 700 m². No entanto, para outros sistemas de irrigação que consomem maior quantidade de água, o uso do carneiro hidráulico não é recomendado. Um microaspersor, por exemplo, consome quase todo o volume de água produzido pelo carneiro hidráulico.

A oscilação da pressão, produzida pela pulsação do carneiro hidráulico, não compromete a uniformidade de distribuição do sistema de gotejamento. Dessa maneira podem-se utilizar os gotejadores não compensados que têm menor custo que os gotejadores com regulação da pressão.

Como a pressão fornecida pelo carneiro hidráulico pode superar a pressão necessária para o acionamento do sistema de irrigação por gotejamento, é possível utilizar o carneiro para elevar água, vencer um desnível e ainda pressurizar um tubogotejador.

Por fim, conclui-se que o carneiro hidráulico é uma fonte alternativa de energia que possibilita a pressurização de um sistema de irrigação por gotejamento sem comprometimento da qualidade da irrigação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABATE, Carolina. **Avaliação do Desempenho de Um Carneiro Hidráulico com Tubulação de Alimentação em Aço Galvanizado e PVC**. Piracicaba, 2000. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz Universidade de São Paulo.

ASAE EP 405.1 **Design and Installation of Microirrigation Systems**. December 1993. P. 693-696.

ASAE STANDARDS **Standards Engineering American Society of Agricultural Engineer**. 1994. 41 st Edition.

BISCONER, Inge. **Microirrigation System Fundamentals** Chapter 11. pags 387 a 452 in Irrigation. Sixth Edition, 2011. 1089 pags. Irrigation Association.

BUONICONTRO, Célia Mara Sales; CARVALHO, Djalma Francisco. **Manual de Laboratório de Máquinas Hidráulicas**. Belo Horizonte, FUMARC, PUC Minas, 1982.

CARARO, Denis C.; Damasceno, Flávio A. **Características Construtivas de um Carneiro Hidráulico com Materiais Alternativos**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Vol 11, nº4. Campina Grande, julho 2007.

CARVALHO, Djalma Francisco. **Instalações Elevatórias – Bombas**. Departamento de Engenharia Civil – IPUC / 1977 / 355 p. ilustradas. 6ª Edição.

DAKER, Alberto. **A Água na Agricultura**. 2º Volume. Captação, Elevação e Melhoramento da Água. 1976. Terceira Edição. Livraria Freitas Bastos S.A.

DAKER, Alberto. **A Água na Agricultura. Manual de Hidráulica Agrícola**. 3º Volume. Irrigação e Drenagem. 1984 Quinta Edição. Livraria Freitas Barros S.A.

FILHO, Geraldo Lúcio Thiago. **Carneiro Hidráulico – O que é e como Construí-lo**. CERPCH – Centro Nacional de Referência em Pequenos Aproveitamentos Hidroenergéticos. E-books. Disponível em www.cerpch.unifei.edu.br. Acessado em 25 de abril de 2011.

HELLER, Leo e PÁDUA, Lúcio de. **Abastecimento de Água para Consumo Humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006.

HIDROGOL® Tubo Gotejador do fabricante John Deere Water® **Catálogo do fabricante**.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora, California: Rain Bird Sprinkle Manufacturing Corporation, 1975.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design parameters**. **Transactions of the ASAE**, st. Joseph, V.17, n.4, p.678-684, 1974.

LIMA, Luiz Antônio. **Aproveitamento de Energia Hidráulica para Acionamento de Roda D'água e Carneiro Hidráulico**. Lavras: UFLA / FAEPE, 2000

MACINTYRE, Achibald Joseph. **Bombas e Instalações de Bombeamento**. Puc Minas BH, 2ª Edição, 1987.

MARUMBY® Indústria e Comércio de Bombas LTDA. **Catálogo do Fabricante**

NASCIMENTO, João Marcelo Silva do. **Desenvolvimento e Avaliação Hidráulica de um Sistema de Gotejamento por Gravidade para Pequenas Propriedades**. Lavras. Minas Gerais – Brasil. 2006. Dissertação de Mestrado – UFLA. Orientador: Luiz Antônio Lima.

NETO, José Azevedo; Alvarez, Guillermo Acosta. **Manual de hidráulica**. 6 ed. Revisada e complementada. São Paulo, Edgard Blucher, Brasília, INL, 1973.

NETO, Manuel Rangel Borges; Borges, Grace Anne Pontes. **Software para Dimensionamento de Carneiro Hidráulico**.
<http://www.feagri.unicamp.br/energia/agre2004>. Acessado em 12/04/2011.

RAPOSO, José Rasquilho. **A Rega: dos primitivos regadios às modernas técnicas de rega**. Fundação Calouste Gulbenkian, D.L. 1996.

REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B. & TUNDISI, J.G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo, Academia Brasileira de Ciência / IEA-USP, 1999.

REICHARDT, Klaus. **A água na Produção Agrícola**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978.

ROJAS, Ricardo Nicolás Zárate. **Modelagem, Otimização e Avaliação de Um Carneiro Hidráulico**. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba - SP, 2002.

SPERLING, Marcos V. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. Volume 1 - 3ª Edição Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

SILVA, Jonas C. **Projeto, Construção e Testes de um Carneiro Hidráulico a Partir de Materiais de Fácil Aquisição**. Universidade Federal de Santa Maria – UFSM / RS. XVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica.

SIQUEIRA, Antônio de. **Engenharia Sanitária. Higiene da Água, Higiene do Solo, Higiene do Ar, Higiene Individual**. 1º Volume. 2ª Edição, 1970. Editora Globo.

TIBAU, Arthur Oberlaender. **Técnicas Modernas de Irrigação: aspersão, derramamento, gotejamento**. 3ª Edição. 1979. São Paulo Editora Nobel S.A.

VIEIRA, Dirceu Brasil. **As Técnicas de Irrigação**. 1989. São Paulo. Editora Globo. Coleção do Agricultor. Publicações Globo Rural.

WHITHERS, Bruce; Vipond, Stanley. **Irrigação: projeto e prática**. 1977. São Paulo. E.P.U. - Editora Pedagógica e Universitária LTDA. EDUSP - Editora da Universidade de São Paulo.

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, V 16, n 5 p 480 a 486, 2012. Campina Grande, PB. UAEA / UFCG. Disponível em: [HTTP://www.agriambi.com.br](http://www.agriambi.com.br). Artigo publicado por Livia P da Silva et al.

Demanda de energia no Brasil crescerá 78% entre 2009 e 2035, diz AIE. 02/12/2011. Fonte Agência Brasil Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/noticias/arquivos>

ANEXO A

Quadro A1 – Vazão média dos gotejadores para pressão média no início da linha igual a 1,0 bar e pressão média no final da linha igual a 0,9 bar

Quadro A2 – Vazão média dos gotejadores para pressão média no início da linha igual a 1,5 bar e pressão média no final da linha igual a 1,3 bar

Quadro A3 – Vazão média dos gotejadores para pressão média no início da linha igual a 2,0 bar e pressão média no final da linha igual a 1,8 bar

Quadro A1 – Vazão média dos gotejadores para pressão média no início da linha igual a 1,0 bar e pressão média no final da linha igual a 0,9 bar

Identificação do Gotejador	Pressão Média no Início da Linha = 1,0 bar Pressão Média no Final da Linha = 0,9 bar			
	Medição 1 Volume (ml)	Medição 2 Volume (ml)	Medição 3 Volume (ml)	Vazão Média (l/h)
1	-	-	-	-
2	25,4	22,4	22,6	1,41
3	24,8	22,2	22,9	1,40
4	25,2	23,6	22,6	1,43
5	26,1	23,9	23,1	1,46
6	24,0	22,5	25,9	1,45
7	23,7	22,5	22,8	1,38
8	-	23,1	22,7	1,37
9	23,5	-	20,3	1,31
10	22,8	22,6	-	1,36
11	22,4	22,4	21,9	1,33
12	23,3	22,5	21,8	1,35
13	23,6	23,1	22,4	1,38
14	22,2	21,4	21,2	1,30
15	-	-	-	-
16	-	22,4	22,2	1,34
17	22,8	21,0	20,7	1,29
18	23,0	22,0	21,8	1,34
19	22,6	21,3	21,6	1,31
20	22,9	21,6	21,7	1,32
21	23,8	22,8	23,1	1,39
22	24,6	23,9	22,6	1,42
23	23,9	23,8	23,2	1,42
24	23,4	20,3	23,4	1,34
25	22,0	22,0	-	1,32

Quadro A2 – Vazão média dos gotejadores para pressão média no início da linha igual a 1,5 bar e pressão média no final da linha igual a 1,3 bar

Identificação do Gotejador	Pressão Média no Início da Linha = 1,5 bar Pressão Média no Final da Linha = 1,3 bar			
	Medição 1 Volume (ml)	Medição 2 Volume (ml)	Medição 3 Volume (ml)	Vazão Média (l/h)
1	-	-	-	-
2	28,4	30,1	28,0	1,73
3	31,2	29,4	28,2	1,78
4	28,0	27,4	27,9	1,67
5	30,8	30,8	28,5	1,80
6	25,3	28,0	28,3	1,63
7	28,1	29,4	26,9	1,69
8	29,5	29,7	27,9	1,74
9	28,3	28,7	28,4	1,71
10	27,7	28,8	27,8	1,69
11	27,1	28,1	27,5	1,65
12	27,5	28,4	27,4	1,67
13	28,4	29,3	28,9	1,73
14	26,5	28,3	27,0	1,64
15	-	-	-	-
16	27,9	29,3	27,8	1,70
17	26,3	27,3	26,2	1,60
18	28,4	28,4	27,2	1,68
19	26,5	27,8	26,4	1,61
20	26,9	28,1	26,9	1,64
21	28,2	29,4	27,9	1,71
22	28,5	30,1	29,0	1,75
23	28,4	30,3	29,2	1,76
24	27,0	30,0	29,2	1,72
25	27,2	28,4	27,3	1,66

Quadro A3 – Vazão média dos gotejadores para pressão média no início da linha igual a 2,0 bar e pressão média no final da linha igual a 1,8 bar

Identificação do Gotejador	Pressão Média no Início da Linha = 2,0 bar Pressão Média no Final da Linha = 1,8 bar			
	Medição 1 Volume (ml)	Medição 2 Volume (ml)	Medição 3 Volume (ml)	Vazão Média (l/h)
1	-	-	-	-
2	34,9	32,9	32,6	2,01
3	34,1	32,9	32,6	1,99
4	33,1	32,5	32,4	1,96
5	44,7	40,6	36,1	2,43
6	-	32,9	32,0	1,95
7	31,6	-	31,7	1,90
8	-	34,3	32,5	2,00
9	32,9	33,2	32,4	1,97
10	32,7	32,2	31,7	1,93
11	-	31,8	31,3	1,89
12	32,7	31,7	31,1	1,91
13	31,5	33,1	32,2	1,94
14	31,1	27,8	30,6	1,79
15	-	-	-	-
16	30,0	33,9	32,1	1,92
17	32,1	32,4	30,7	1,90
18	32,0	33,8	31,7	1,95
19	31,2	31,9	31,0	1,88
20	31,1	31,8	31,2	1,88
21	33,5	33,5	33,6	2,01
22	34,6	33,7	35,1	2,07
23	33,2	34,1	34,2	2,03
24	32,7	-	33,2	1,98
25	30,6	24,5	32,7	1,76

