
DESENVOLVIMENTO DE UMA BOMBA INFUSORA VOLUMÉTRICA DE CUSTO REDUZIDO E FÁCIL OPERAÇÃO¹

S.V. Arêdes*, L.F.W. Barbosa†, J.V. Arêdes§ e N.M. Ito[∞]

*MEQ/LIT/INPE, São José dos Campos, Brasil

†LRA/FEAU/UNIVAP, São José dos Campos, Brasil

§UNIFOA, Volta Redonda, Brasil

[∞]DMS/LIT/INPE, São José dos Campos, Brasil

e-mail: svagner.aredes@lit.inpe.br

Abstract: This article presents the development of a low cost Infusion Pump. This type of medical equipment is designed to control fluid in intravenous therapy when precision treatment is required. Currently, the use of this type of equipment type is limited due to the high cost. The objective of this research is to develop low cost equipment, using components available on the national market which have the same quality and reliability as imported equipment. The project of this infusion pump is divided in five main parts: Controller (PIC16F877A microcontroller), Manual Interface (keyboard), Visual Interface (panel), Actuator (step motor) and Sensors (sensor drops and sensor air bubble). Shortly this prototype will be sent for qualification and homologation, tests. Depending on the results, it is hoped that this project will become a commercial product, and will be used in intravenous therapy.

Palavras-chave: Bomba de infusão, terapia intravenosa, microcontroladores, equipamentos médicos.

Introdução

A utilização da bomba de infusão de medicamentos é necessária quando a terapia intravenosa requer precisão com erro menor que 5% de vazão do líquido infundido [1] e [2], proteção contra bolhas de ar e controle do tempo de infusão.

Uma pessoa apresenta cerca de 57 % do seu peso corporal na forma líquida. Um ponto importante no tratamento médico é a manutenção adequada dos líquidos no organismo, assim como, o equilíbrio entre a dosagem de medicamentos com relação a sua concentração e absorção.

Com a pesquisa e o desenvolvimento de novos medicamentos que necessitam de um maior controle de infusão, estas bombas estão sendo cada vez mais utilizadas nos ambientes médicos, tais como, salas cirúrgicas, emergências, leitos pós-operatórios, entre outros.

As principais aplicações clínicas das bombas de infusão são as terapias intravenosas, intra-arterial ou parenteral de forma contínua e com precisão [3] e [4].

Atualmente, devido ao elevado custo das bombas de infusão, o acesso fica limitado aos grandes centros hospitalares, enquanto os pequenos hospitais com poucos recursos e grande demanda de pacientes, não possuem recursos para aquisição deste tipo de equipamento.

A bomba de infusão de medicamentos desenvolvida nesta pesquisa utiliza apenas componentes disponíveis no mercado nacional, minimizando muito o custo final do equipamento.

Para que uma bomba de infusão tenha determinada precisão e determinado controle sobre os eventos que estão ocorrendo durante sua utilização, a mesma necessita de um controlador central [5] que identifica e toma decisões sobre seu funcionamento através dos sinais vindo dos seus sensores [6] e [7].

O equipamento descrito neste artigo é dividido em cinco partes: o controlador (microcontrolado), a interface manual (teclado), a interface visual (painel), o atuador (motor de passo) e sensores (de gotas e de bolhas de ar). Cada uma destas partes é responsável por uma determinada tarefa do equipamento, as quais são gerenciadas pelo controlador.

Durante o funcionamento desta bomba de infusão o usuário interage com o equipamento dando as informações referentes à quantidade (ml), e a vazão necessária (ml/h), para administrar o medicamento. Desta forma, o equipamento responde com um pedido de confirmação dos dados e informa o tempo exato de infusão do medicamento no paciente, assim como, ocorre com outros equipamentos comerciais.

O equipamento aqui proposto é uma bomba de infusão de medicamentos do tipo pressão positiva com mecanismo peristáltico do tipo rotatório com controle de fluxo volumétrico, como poderá ser visto a seguir no item 2 referente aos tipos de bombas de infusão. No item 3 é apresentado o equipamento desenvolvido e os resultados experimentais. No item 4 tem-se a conclusão e as perspectivas futuras no aperfeiçoamento do equipamento.

¹ Número provisório de patente no INPI 623049105/00

Características de Bombas de Infusão

Segundo a ABNT [8] e [9], a bomba de infusão é um equipamento destinado a regular fluxo de líquidos administrados ao paciente sob pressão positiva gerada pela bomba.

Infusão de Medicamentos

A infusão de medicamentos, ou drogas como são chamados na medicina, é da década de 50, após a segunda guerra mundial [1]. A infusão é a introdução de um líquido ou fluido, que não seja sangue, no sistema circulatório. Este procedimento, de infundir um líquido no sistema circulatório, permite uma rápida distribuição do medicamento no organismo, levando o mesmo aos órgãos vitais do paciente.

O sistema de infusão é composto por três componentes: o reservatório do fluido (remédios), um dispositivo de transporte do fluido do reservatório para o paciente (Equipo) e um dispositivo para regular ou gerar fluxo como, por exemplo, uma bomba de infusão, ver Figura 1.

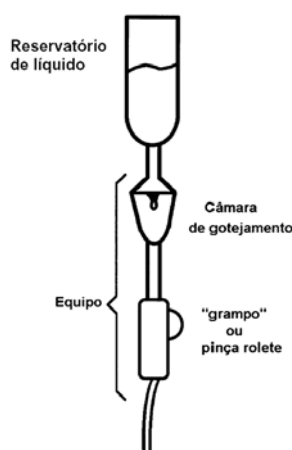


Figura 1: Componentes de um sistema de infusão [1]

Na Figura 2 é possível observar que o modo convencional de administração de medicamentos, via pílulas ou injeções, resultam em flutuações (curva na cor laranja) que fazem com que a concentração do medicamento seja mais lenta, e que também, podem passar da região terapêutica segura.

Na infusão contínua via bombas de infusão automáticas, as flutuações podem ser reduzidas e a taxa de infusão pode ser controlada para manter a quantidade de medicamento na região de ação terapêutica contínua acompanhando de certa forma a curva para terapia ideal (curva na cor preta).

Tipos de Bombas de Infusão

As primeiras bombas introduzidas nos estabelecimentos assistenciais de saúde utilizavam apenas a gravidade, mas com a necessidade de um

controle melhor e de uma vazão maior, foi introduzido ao equipamento um mecanismo que gera uma pressão positiva, fazendo com que o medicamento seja ministrado de forma mais eficiente e precisa ao paciente.



Figura 2: Relação da concentração de medicamentos (drogas) com o tempo, para terapias convencionais e ideais [1]

As bombas de infusão de pressão positivas são geralmente utilizadas para administrar grandes volumes, e/ou em terapias mais complexas que necessitam de precisão.

A administração dos fluidos (medicamentos) é realizada conforme a programação no equipamento os quais podem possuir diversas configurações, incluindo o mecanismo para manter a quantidade de fluxo dos fluidos, e também, sinais sonoros ou visuais de alerta para problemas de funcionamento.

O diagrama apresentado na Figura 3 ilustra a estrutura utilizada pela maioria dos fabricantes de bombas de infusão, incluindo a bomba de infusão aqui proposta.

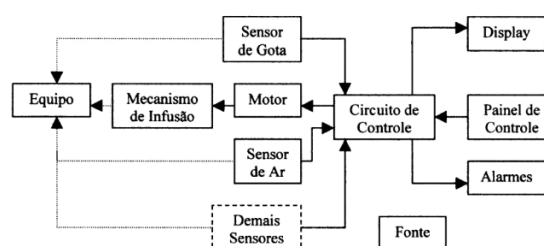


Figura 3: Estrutura básica de uma bomba de infusão [1]

O controle da infusão (sinal de realimentação) usualmente se faz por meio de um sistema de contagem fotoelétrica ou ultrassônico (efeito doppler) das gotas em conjunto com as formas existentes de oclusão da linha de circulação do medicamento, que na medicina são chamados de equipsos.

No sistema de contagem de gotas, os contadores eletrônicos não atuam na velocidade de infusão, mas informam, com grande exatidão, o uso de uma taxa anteriormente regulada. De acordo com a medida de tempo entre as gotas, a taxa de infusão é eletronicamente calculada e apresentada.

O mecanismo de circulação de fluido nas bombas de infusão é peristáltico, o equipo é ritmicamente

comprimido por uma série de roletes, de forma linear ou rotatória. Um motor elétrico, geralmente um motor de passo é quem comprime a linha de medicamento (equipo) dado o sinal de controle.

Resultados Experimentais

Para realizar o controle da infusão na bomba aqui desenvolvida, foi utilizado um microcontrolador do tipo PIC, que controla um pequeno motor de passo que atua como mecanismo peristáltico rotatório, o qual é monitorado por sensores de contagem de gotas através de um sensor do tipo infravermelho.

Os sensores de contagem de gotas e de detecção de bolhas são do tipo infravermelho. Sendo que um verifica se existe bolha de ar no tubo do equipo detectando anormalidade, o outro verifica o espaço de tempo entre uma gota e outra permitindo ao sistema de controle atuar na vazão do medicamento.

A bomba de infusão possui um pequeno teclado onde o usuário pode inserir no equipamento, o volume e a vazão, estes dados são transferidos para o microcontrolador, o qual envia as informações para o painel, de forma que o usuário possa conferir os dados que são visualizados. O painel mostra: o volume, a vazão, o estado do equipamento, o número de gotas por minuto e o tempo final para a infusão (Fig. 4).



Figura 4: Foto do painel da bomba de infusão em funcionamento

O protótipo desenvolvido neste artigo utiliza o mecanismo de infusão do tipo peristáltico rotatório, que comprime o equipo ritmicamente através de um motor de passo, que assim como, as demais partes deste equipamento são controladas por um microcontrolador do tipo PIC 16F877A da Microchip®.

O microcontrolador é responsável pelos cálculos necessários para encontrar o tempo de infusão, a velocidade do motor de passo e o espaçamento de tempo entre as gotas, espaçamento este responsável pelo controle da vazão. Todas as decisões são tomadas pelo microcontrolador e executadas até o fim da infusão.

A vazão deste equipamento é controlada através da velocidade do motor de passo. O tempo entre uma gota e outra é comparado com o tempo calculado e após esta comparação, o microcontrolador pode, se necessário, aumentar a frequência do motor de passo (velocidade) quando o tempo entre as gotas está maior que o tempo previamente calculado, e/ou diminuir a velocidade do

motor de passo quando o tempo entre as gotas está menor que o tempo previamente calculado.

A Figura 5 mostra a montagem atual do equipamento, e os aparatos necessários para que a bomba possa funcionar.

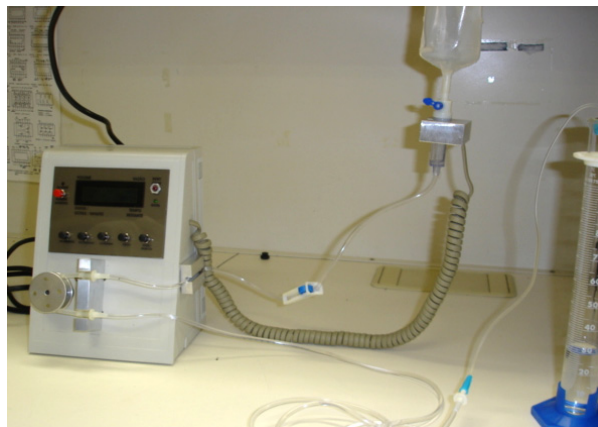


Figura 5: Foto atual da bomba de infusão de medicamentos microcontrolada de baixo custo

A seguir é apresentado na Tabela 1, as características técnicas desta bomba de infusão, obtidas dos testes experimentais realizados em laboratório.

Tabela 1: Características Técnicas da Bomba de Infusão

Modo de Infusão	Peristáltico Rotativo Volumétrico
Modo de Operação	Volume x Vazão
Equipo	Comuns, de vários modelos e marcas
Vazão	1 a 9.999ml/h (incremento de 1ml/h)
Volume	1 a 9.999ml (incremento de 1ml)
Tempo de Infusão	00:05 a 99:59 horas
Alarmes	Ar na linha Oclusão Fim de solução Infusão completa Fluxo livre Vazão incorreta Erro de programação
Detector de Gotas	Laser Infravermelho
Detector de Ar	Laser Infravermelho
Funções Especiais	Tecla Pause/Retorno Tecla Alarme Sonoro Correção da vazão no decorrer da infusão
Precisão	>95%
Alimentação	127/220V _{CA}

Conclusão e Perspectivas

A maior dificuldade durante o desenvolvimento deste projeto de pesquisa foi no controle de mecanismos não lineares. Como o objetivo do projeto foi de diminuir os custos, todas as compensações e efeitos físicos tiveram que ser realizadas pelo *firmware* (programa específico inserido no microcontrolador para o controle desta bomba de infusão), dificultando muito seu desenvolvimento [10] e [11].

Dado o princípio da vazão, sabe-se que, se a área não varia torna-se possível variar a vazão variando a velocidade. Ao aumentar a velocidade de escoamento do líquido, o efeito atrito viscoso passa a ter uma grande contribuição. É a componente de atrito viscoso que torna o sistema não linear dificultando seu controle.

Para resolver o problema de controle da vazão foi adotado um controle de tempo entre as gotas, porém neste caso existia também, uma variação não linear dado o tamanho da gota. Quanto maior a vazão, maior a gota. A partir destas constatações, foi desenvolvido um modelo matemático simples [12] para o cálculo da variação do volume da gota. Depois disto, pôde-se calcular o espaço de tempo entre as gotas e somar com esta variação, possibilitando assim o controle da vazão com uma boa precisão.

No aperfeiçoamento e desenvolvimento deste equipamento, pretende-se incluir um módulo de memória digital para armazenar os últimos 10 dados de entrada, saída e alarmes que possam ter sido disparados, além de todo o tempo de funcionamento com o fluxo e volume infundido depois que a bomba foi utilizada.

Um botão com sistema de trava eletrônica deverá ser acrescentado ao sistema para não permitir modificações na bomba de infusão, por pessoas não autorizadas, como o próprio paciente e/ou de um visitante que venha a mexer no painel da bomba.

O custo total do equipamento desenvolvido nesta pesquisa é de aproximadamente 300 reais, sendo que ainda deverá ser contabilizado o valor referente à calibração, homologação e certificados do mesmo para uso. O valor atual se acrescentado os valores de certificação e lucro, o preço final deve ser de ~6,8 vezes menor que o valor médio no mercado nacional (R\$ 5.500,00) para uma bomba de infusão similar [12].

Acredita-se que em um futuro próximo o mesmo possa ser fabricado e vendido por um custo mais baixo, cerca de 80%, do valor comercialização destas bombas no mercado médico-hospitalar. Tornando este tipo de equipamento acessível aos médios e pequenos centros hospitalares garantindo qualidade e segurança dos pacientes.

Agradecimentos

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, pelo apoio e utilização dos equipamentos de medida, e a Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP/FEAU pelo apoio e disponibilização dos laboratórios.

Referências

- [1] Button, V.L.S.N. (2003) “Dispositivos de Infusão”, *Apostila Depto. Engenharia Biomédica – Faculdade Eng. Elétrica e de Computação – UNICAMP*.
- [2] Alves, M.A.C. (2002) “Bombas de Infusão: Operação, Funcionalidade e Segurança” *Dissertação de Mestrado, Engenharia Elétrica, UFSC, Santa Catarina, 125 p., dez.*
- [3] Cohen, M. et. al. (1996) “Analgesia pós-operatória controlada pelo paciente por bomba de infusão, na reconstrução ligamentar do joelho” *Revista Brasileira Ortopedia*, v.31, n. 4, p. 319-321.
- [4] Moyle, J.T.B., Davey, A. (2000) “Equipamentos em anestesia 4ª edição”, *Artmed, Porto Alegre*.
- [5] Arêdes, S.V., Barbosa, L.F.W. (2005) “Bomba de Infusão de Baixo Custo” *IX INIC - Encontro Latino Americano de Iniciação Científica da Univap, São José dos Campos, 20-21 outubro*.
- [6] Hirama, R.T., et. al. (2002) “Método para Inspeção de Bombas Infusoras” *XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, Univap, São José dos Campos, v.2, n. 5, p. 35-40*.
- [7] Canelas, D.O. (2003) “Metodologia para avaliação de desempenho essencial de bombas de infusão” *Metrologia Sociedade Brasileira de Metrologia (SBM), Recife, 01–05 setembro*.
- [8] ABNT-01, “Associação Brasileira de Normas Técnicas (1994) Equipamento eletromédico – Parte 1 – Prescrições gerais para segurança” *Norma NBR IEC 601-1. Rio de Janeiro*.
- [9] ABNT-02, “Associação Brasileira de Normas Técnicas (1999) Equipamento eletromédico – Parte 2 – Prescrições particulares para segurança de bombas e controladores de infusão” *Norma NBR IEC 60601-2-24. Rio de Janeiro*.
- [10] Souza, D.J.D. (2000) “Conectando o PIC 1ª Edição” *Editora Érica, São Paulo*.
- [11] Souza, D.J.D. (2003) “Desbravando o PIC 6ª Edição” *Editora Érica, São Paulo*.
- [12] Bolton, W. (1995) “Engenharia de Controle” *Editora Makron Books, São Paulo*.