

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

BOMBA DE INFUSÃO
PARA QUELAÇÃO DE FERRO

Rafael de Souza

São Paulo
2007

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

BOMBA DE INFUSÃO
PARA QUELAÇÃO DE FERRO

Trabalho de formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Graduação em Engenharia

Rafael de Souza

Orientador: Emílio Carlos Nelli Silva

Área de Concentração:
Engenharia Mecânica

São Paulo
2007

FICHA CATALOGRÁFICA

Souza, Rafael

Bomba de Infusão para Quelação de Ferro, por R. Souza

São Paulo : EPUSP, 2007. 60 p. + apêndice

Trabalho de formatura – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
Departamento de Engenharia Mecânica .

1. Bomba de Infusão 2. Quelação de Ferro 3. Anemia Falciforme.
Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia
Mecânica.t.

RESUMO

No âmbito do desenvolvimento de equipamentos de auxílio à medicina, o presente trabalho tem por objetivo desenvolver uma bomba de infusão para quelação de ferro utilizada por pacientes com anemia falciforme adaptada à realidade brasileira. Estes doentes falciformes e talassêmicos politransfundidos tendem a acumular ferro em seus organismos. Quando o ferro é acumulado em órgãos vitais como o coração, rins ou fígado, ele pode causar a perda funcional desses órgãos ou até mesmo a morte do paciente. Para remover este ferro é injetado, de forma subcutânea, um medicamento quelante de ferro. Para fazer esta quelação é necessária uma bomba infusora que injete continuamente o medicamento e que seja portátil de modo a facilitar o tratamento domiciliar. Essa bomba infusora é produzida, atualmente, apenas na Itália, Grécia e Estados Unidos, portanto tem que ser importada a um preço muito elevado para o uso dos mais de 50 mil pacientes que dependem da mesma. As atuais bombas de infusão funcionam basicamente a partir de um motor de passo que, por meio de um fuso, pressiona uma seringa na qual o medicamento está armazenado. No entanto o preço de aquisição é alto para a realidade brasileira e países de terceiro mundo, em geral. Assim, com a finalidade de desenvolver uma bomba infusora em território nacional com custo reduzido, esse trabalho tem como objetivo realizar o estudo de viabilidade de uma bomba infusora adaptada à realidade nacional. Foi desenvolvido um projeto básico do protótipo que confirma a viabilidade de desenvolver a bomba infusora em território nacional com redução no custo quando comparado às atuais bombas de infusão. Foram desenvolvidos dois protótipos, um que utiliza um conjunto de molas para armazenar a energia de bombeamento e outro que utiliza um reservatório com pressão inferior à pressão ambiente para armazenar a energia de bombeamento e ambos possuem custo inferior às atuais bombas infusoras. Assim, além da contribuição técnico-científico no âmbito do desenvolvimento de equipamentos de auxílio à medicina é também possível apontar que a bomba infusora desenvolvida contribuirá para um significativo aumento de qualidade de vida de milhares de brasileiros com anemia falciforme.

ABSTRACT

In the field of development of medical equipment, the present paper aims to develop an infusion pump for chelation therapy applied to patients with sickle cell disease. These patients and also patients with thalassemia tend to accumulate iron in their organisms. When iron is accumulated in vital organs as heart, kidneys or liver, it can cause functional loss of these organs and sometimes the patient death. To remove this iron, it is necessary to inject, in a subcutaneous way, iron chelation medicine. To make this chelation, it is necessary an infusion pump to inject the medicine continually. This pump has to be portable in order to facilitate treatment at home. Nowadays this pump is produced only in Italy, Greece and United States; therefore, it has to be imported by the Brazilian government to be made it available to more than 50 thousand Brazilians who depend on it. The actual infusion pumps work basically based on a stepper motor that is used to press a syringe that contains the medicine. The infusion rate is under the control of position and speed of the motor. By intending to develop this pump in Brazil with a reduced price, this paper has as first part a viability study of the Brazilian made pump through information extracted from books, publication of suppliers, videos, lectures and professionals specialized in health area. At a later stage, it has been developed a basic project of the prototype, which confirm the possibility of developing the pump in national territory. In this sense, apart from the technical and scientific development in the field of medical equipment in Brazil, it is also possible to indicate to the future a significant increase in life quality of thousands of Brazilians with sickle cell disease.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	OBJETIVOS	8
3	ESTUDO DE VIABILIDADE	8
3.1	ESTABELECIMENTO DA NECESSIDADE	9
3.2	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DA NECESSIDADE	10
3.3	ANÁLISE DE MERCADO	11
3.3.1	<i>Atuais bombas de Infusão</i>	<i>11</i>
3.4	ALTERNATIVAS DE SOLUÇÃO	21
3.4.1	<i>Alternativa A</i>	<i>21</i>
3.4.2	<i>Alternativa B</i>	<i>22</i>
3.4.3	<i>Alternativa C</i>	<i>24</i>
3.4.4	<i>Alternativa D</i>	<i>26</i>
3.4.5	<i>Alternativa E</i>	<i>28</i>
3.5	ESTUDO DA MELHOR ALTERNATIVA	29
3.6	CONCLUSÃO DO ESTUDO DE VIABILIDADE.....	31
4	PROJETO BÁSICO	31
4.1	ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO (EAP)	31
4.2	BOMBEAMENTO	33
4.2.1	<i>Bomba de infusão com conjunto de molas</i>	<i>33</i>
4.2.2	<i>Bomba de infusão com câmara à baixa pressão</i>	<i>35</i>
4.3	VÁLVULA REGULADORA DE FLUXO.....	36
4.3.1	<i>Simulação.....</i>	<i>42</i>
4.4	MECANISMOS.....	44
4.4.1	<i>Sistemas de travas para interromper a infusão.....</i>	<i>44</i>
4.4.2	<i>Proteção para o êmbolo.....</i>	<i>48</i>
4.5	ARRANJO GERAL.....	52
4.6	PROTÓTIPO.....	52
4.7	TESTES	55
5	RESULTADOS.....	60
6	DISCUSSÃO	61
7	CONCLUSÕES	61
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

9	ANEXOS	63
9.1	DESENHO DE CONJUNTO	63
10	APÊNDICES.....	64
10.1	PLANTA DE CONTROLE TÍPICA DE UMA BOMBA INFUSORA COM MOTOR DE PASSO.....	64
10.2	CERIMÔNIA DE ENTREGA DE BOMBAS DE INFUSÃO NO BRASIL EM 19/11/2005	65

ÍNDICE DE TABELAS

TAB. 1: ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DA BOMBA DE INFUSÃO.	11
TAB. 2: ESPECIFICAÇÃO DA CADD 5900.....	13
TAB. 3: ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DA BOMBA INFUSORA GRAZBY MS16A.	14
TAB. 4: ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DA BOMBA INFUSORA INFUSA T.....	15
TAB. 5: ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DO MOTOR SQ-150-N.	16
TAB. 6: ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DA BOMBA DE INFUSÃO PARAGON.	18
TAB. 7: ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DA BOMBA DE INFUSÃO ECLIPSE.....	20
TAB. 8: PANORAMA – ALTERNATIVA A.....	22
TAB. 9: PANORAMA – ALTERNATIVA B.	23
TAB. 10: PANORAMA – ALTERNATIVA C.....	26
TAB. 11: PANORAMA – ALTERNATIVA D.....	28
TAB. 12: PANORAMA – ALTERNATIVA E.	29
TAB. 13: MATRIZ DE DECISÃO.....	30
TAB. 14: TABELA DE CUSTO FINAL DO PROTÓTIPO.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

FIG. 1: FORMATO DA HEMÁCIA NA ANEMIA FALCIFORME.	7
FIG. 2: BOMBA DE INFUSÃO CADD-MICRO DA SIMS DELTEC [2].	12
FIG. 3: PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA CADD 5900 [2].	12
FIG. 4: BOMBA INFUSORA GRAZBY MS16A DA GRASEBY MEDICAL LIMITED [3].	13
FIG. 5: BOMBA INFUSORA ITALIANA “INFUSA T” DA MEDIS [4].	14
FIG. 6: REPRESENTAÇÃO DO MOTOR PIEZELÉTRICO [5].	16
FIG. 7: REPRESENTAÇÃO DO PROTÓTIPO DA NEW SCALE TECHNOLOGIES [5]. ..	17
FIG. 8: BOMBA DE INFUSÃO PARAGON COM RESERVATÓRIO CHEIO [16].	18
FIG. 9: BOMBA DE INFUSÃO PARAGON COM RESERVATÓRIO VAZIO [16].	18
FIG. 10: BOMBA DE INFUSÃO ECLIPSE [15].	19
FIG. 11: COMPONENTES DA BOMBA DE INFUSÃO ECLIPSE [15].	20
FIG. 12: ESQUEMA DE MONTAGEM DA ALTERNATIVA À CORDA.	23
FIG. 13: DUAS ALTERNATIVAS DE SERINGA COM CONJUNTO ELÁSTICO.	24
FIG. 14: ALTERNATIVA QUE UTILIZA APENAS UMA MOLA HELICOIDAL.	25
FIG. 15: ALTERNATIVA COM MOLAS HELICOIDAIS.	25
FIG. 16: ALTERNATIVA QUE UTILIZA A FORÇA GRAVITACIONAL.	27
FIG. 17: ALTERNATIVA QUE UTILIZA CÂMARA DE BAIXA PRESSÃO	28
FIG. 18: DIVISÃO DA BOMBA INFUSORA EM SUB-SISTEMAS.	32
FIG. 19: REPRESENTAÇÃO DO PROTÓTIPO COM O RESERVATÓRIO (A) CHEIO E (B) VAZIO.	34
FIG. 20: VÁLVULA REGULADORA DE FLUXO [17].	36
FIG. 21: VÁLVULA REGULADORA DE VAZÃO AUTOCOMPENSADA (“VICKERS”) ...	37

FIG. 22: VÁLVULA AUTO COMPENSADA “SELECT-A-FLOW”.....	38
FIG. 23: FORÇA DA MOLA PELA COMPRESSÃO DA MESMA [17]..	43
FIG. 24: ESQUEMA SIMPLIFICADO DA VÁLVULA DE INFUSÃO.....	44
FIG. 25: ALTERNATIVA A PARA O SISTEMA DE TRAVA DO ÊMBOLO.....	45
FIG. 26: ALTERNATIVA B PARA O SISTEMA DE TRAVA DO ÊMBOLO.....	46
FIG. 27: ALTERNATIVA C PARA O SISTEMA DE TRAVA DO ÊMBOLO.....	47
FIG. 28: ALTERNATIVA A PARA O SISTEMA DE PROTEÇÃO DO ÊMBOLO.....	49
FIG. 29: ALTERNATIVA B PARA O SISTEMA DE PROTEÇÃO DO ÊMBOLO.....	50
FIG. 30: ALTERNATIVA C PARA O SISTEMA DE PROTEÇÃO DO ÊMBOLO.....	51
FIG. 31: PROJETO 3D DA SOLUÇÃO QUE UTILIZA MOLAS HELICOIDAIS.....	53
FIG. 32: PROTÓTIPO DA ALTERNATIVA QUE UTILIZA MOLAS HELICOIDAIS.....	55
FIG. 33: PROTÓTIPO DA ALTERNATIVA COM CÂMARA DE BAIXA PRESSÃO.....	55
FIG. 34: REALIZAÇÃO DOS TESTES COM A PRIMEIRA ALTERNATIVA.....	56
FIG. 35: APARATO EXPERIMENTAL PARA A REALIZAÇÃO DOS TESTES.....	56
FIG. 36: VARIAÇÃO NA GEOMETRIA DA MOLA.....	58
FIG. 37: CONFIGURAÇÃO QUE UTILIZA DUAS SERINGAS DE 20 ML.....	58
FIG. 38: CONFIGURAÇÃO QUE UTILIZA UMA SERINGA DE 20 ML COMO PROPULSORA E OUTRA DE 10 ML COMO RESERVATÓRIO.....	59
FIG. 39: CONFIGURAÇÃO QUE UTILIZA DUAS SERINGAS DE 10 ML.....	59
FIG. 40: CONFIGURAÇÃO QUE UTILIZA DUAS SERINGAS DE 20 ML COMO PROPULSORA E UMA SERINGA DE 10 ML COMO RESERVATÓRIO.....	59

1 INTRODUÇÃO

Quelação de Ferro é uma terapia de excreção por meio da urina do ferro acumulado no corpo humano. Nesta terapia, injeta-se no corpo um medicamento quelante (que possua características que ajudem na excreção do ferro). Assim, bomba de infusão para quelação de ferro é uma bomba de infusão que será utilizada para infundir (injetar no corpo humano) um medicamento quelante de ferro. Esta bomba infusora é utilizada por pacientes que possuem anemia falciforme. Os conceitos de anemia e anemia falciforme estão descritos nos parágrafos a seguir.

A anemia é caracterizada por um distúrbio nos glóbulos vermelhos (ou hemácias) de um indivíduo. Essas hemácias são responsáveis pelo transporte de oxigênio no corpo. De modo geral existem basicamente dois tipos de anemia: a carencial e a genética.

A anemia carencial ocorre quando um indivíduo não possui uma boa alimentação e fica com carência de ferro no sangue, isso faz com que a parte hemo (ferro) da hemoglobina fique diminuída, reduzindo o tamanho total da hemácia e dificultando o transporte de quantidades adequadas de oxigênio.

Já a anemia genética, como é o caso da anemia falciforme ou da talassemia, o distúrbio que ocorre com a hemácia não é a sua diminuição, mas sim, a hemólise que é a morte precoce das hemácias. Em um indivíduo normal o ciclo de vida de uma hemácia é cerca de 100 dias, já em um doente falciforme este ciclo é entre 15 e 20 dias. Isso gera uma diminuição da quantidade total de glóbulos vermelhos e uma conseqüente diminuição na quantidade total de oxigênio transportado.

No caso da Anemia Falciforme, a hemólise precoce das hemácias ocorre devido a uma alteração no formato dos glóbulos vermelhos, que assumem forma semelhante à de uma foice, daí o nome, Anemia Falciforme. Nas figuras abaixo é possível observar as hemácias em um indivíduo saudável e as hemácias na anemia falciforme.

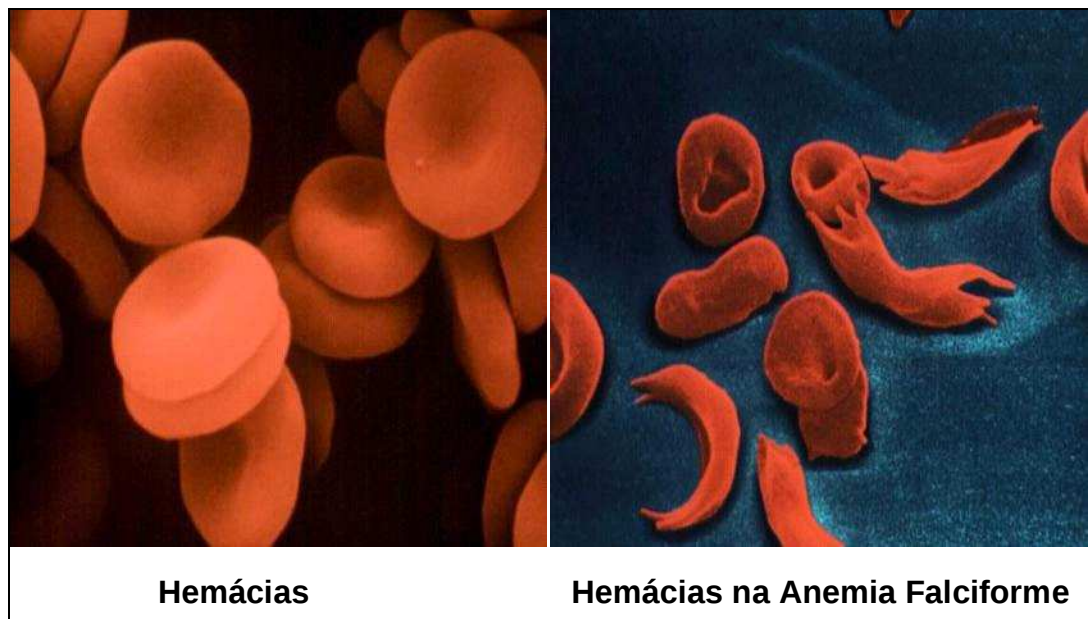


Fig. 1: Formato da Hemácia na Anemia Falciforme.

A anemia falciforme tem origem no continente africano, é predominante no povo afro descendente e é a doença genética de maior prevalência no mundo. Sendo o Brasil um país com cerca de 170 milhões de habitantes (segundo o IBGE) e o país fora do continente africano com maior número de afro descendentes no mundo, com cerca de 77 milhões de negros [1], o brasileiro vem há anos sofrendo e morrendo por causa da anemia falciforme e até hoje poucas são as pessoas que já ouviram falar desta doença.

Para se ter noção da proporção desta doença no Brasil, índices do Ministério da Saúde [14] revelam que nascem 3,5 mil crianças com doença falciforme por ano e estima-se a existência de 2 a 10 milhões de portadores do traço falciforme e até 50 mil doentes no Brasil. Considerando-se que cerca de 10% dos doentes falciformes necessitam utilizar a bomba infusora (estimativa obtida por meio da AAFESP), são cerca de 5 mil pacientes que atualmente necessitam da bomba infusora e mais uma taxa de crescimento de 350 pacientes por ano.

Por causa da falta de campanhas de esclarecimento e investimentos financeiros direcionados ao tratamento da anemia falciforme, os portadores desta doença lutam praticamente sozinhos pela vida e no Brasil a expectativa média de vida do portador de anemia falciforme é de apenas 18 anos enquanto que nos Estados Unidos da América é de 47 anos e isso se dá pela falta de acesso aos recursos de

tratamento necessários aqui no Brasil, tais como, por exemplo, bombas de infusão para quelação de ferro.

Neste contexto, o tema deste trabalho de formatura foi inicialmente proposto pela AAFESP (Associação de Anemia Falciforme do Estado de São Paulo), representada pela sua fundadora Berenice Assumpção Kikuchi no âmbito do Projeto “POLI Cidadã” da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. O tema foi proposto uma vez que, após a última importação de bombas infusoras realizada pelo Ministério da Saúde em 2005, as bombas infusoras vêm sofrendo avarias e não podem ser consertadas em território nacional, além de que as 500 bombas infusoras importadas suprem apenas cerca de 10% da demanda desta bomba infusora no Brasil por doentes com anemia falciforme.

2 OBJETIVOS

Como maior objetivo, o presente trabalho pretende iniciar o processo de nacionalização da fabricação da bomba de infusão para quelação de ferro. Para isto, será feito um estudo de viabilidade detalhado, para verificar a possibilidade da fabricação nacional e assim, propor alternativas para uma nova bomba de infusão que apresente vantagens em relação as atuais bombas de infusão e se adeque a realidade brasileira.

Ao fim do estudo de viabilidade, o presente trabalho irá selecionar a melhor alternativa de solução e esta será cuidadosamente detalhada e implementada, de forma a iniciar o projeto básico da bomba de infusão para quelação de ferro.

3 ESTUDO DE VIABILIDADE

Considerando que o presente trabalho de formatura surge com o propósito de se fazer um estudo de viabilidade sobre um determinado equipamento (a bomba de infusão), este trabalho seguirá as primeiras etapas do método de desenvolvimento apresentado na referência [7] que consiste basicamente na determinação dos objetivos, seguido de um estudo de viabilidade e do projeto básico. Também utilizará como extensa fonte de consulta, profissionais ligados à área como a Enfermeira

Berenice Kikuchi, vídeos [9] e [10], palestras realizadas na AAFESP, bem como catálogo de fornecedores.

Serão considerados os aspectos econômicos, técnicos e sociais que envolvem o produto.

No estudo de viabilidade, busca-se prever se será interessante o desenvolvimento do produto, considerando fatores econômicos, técnicos e sociais. Assim, este estudo se propõe a investigar se a bomba infusora desenvolvida em território nacional possuirá um valor final inferior às bombas infusoras importadas, se tecnicamente a bomba infusora nacional não será inferior e se este projeto possui vantagens sociais, como por exemplo, se um maior número de pacientes poderá adquirir a bomba de infusão. Assim, o estudo de viabilidade será realizado seguindo as seguintes etapas: estabelecimento da necessidade, restrições do projeto, especificação técnica da necessidade, análise de mercado, alternativas de solução e estudo da melhor alternativa.

3.1 ESTABELECIMENTO DA NECESSIDADE

Dados recolhidos e organizados na introdução deste trabalho mostram que existe uma grande demanda sobre esta bomba de infusão para quelação de ferro por parte dos pacientes com anemia falciforme no Brasil, porém, a oferta deste equipamento é ainda muito pequena em território nacional. Além disso, as poucas bombas infusoras importadas que estão no mercado e não possuem registro no ministério da saúde, também não possuem empresas credenciadas para fazer a manutenção em território nacional e o preço final para o consumidor é inacessível à maioria dos pacientes. Portanto, existe uma necessidade nítida de oferecer ao mercado nacional uma alternativa às bombas de infusão para quelação de ferro importadas.

Assim, considerando que dos cerca de 5 mil pacientes que atualmente necessitam da bomba infusora apenas menos de 10% efetivamente possuem acesso ao equipamento, e isso graças à importação do governo federal, existe atualmente uma necessidade de entrega de cerca de mais de 4000 bombas de infusão para suprir o mercado e considerando uma taxa de crescimento da população em cerca de 350

novos pacientes por ano [14], existe mais uma demanda constante de cerca de 35 bombas de infusão por ano, isso sem considerar as trocas por avarias.

3.2 Especificação técnica da necessidade

Na terapia de quelação de ferro para quem tem anemia falciforme, um medicamento quelante de ferro é infundido no corpo humano de forma contínua por cerca de oito horas diárias, 5 dias por semanas. Esta infusão precisa ocorrer de forma contínua, pois o medicamento quelante de ferro utilizado, o Desferoxamina, possui meia vida de 20 minutos, ou seja, depois de infundido continua atuando no corpo por mais vinte minutos. Existem estudos médicos e farmacêuticos que mostram que para eliminar todo ferro acumulado no dia, o medicamento precisa agir, na média dos pacientes, por cerca de 8 horas. Assim, na realidade, a infusão não precisa ser feita necessariamente de forma contínua, podendo ser feita de forma intermitente contanto que o intervalo entre uma dose de infusão e outra seja bem inferior ao tempo de meia vida do medicamento, ou seja, poderá ser de forma intermitente com intervalos de tempo de no máximo 1 minuto.

Na terapia tradicional, utiliza-se uma bomba de infusão presa à cintura que pressiona uma seringa que contém o medicamento. O uso deste equipamento é feito normalmente durante o período noturno para não prejudicar a rotina do paciente e este poder trabalhar e estudar normalmente durante o dia.

O paciente carrega a bomba infusora presa à cintura e uma agulha subcutânea injeta o medicamento normalmente no abdômen do paciente. As atuais bombas infusoras possuem diversos inconvenientes para os pacientes, tais como: peso do equipamento, dificuldade de manuseio, incompatibilidade com seringas comerciais padrão, ruído de funcionamento elevado que incomoda os pacientes no período noturno e o alto custo por ser um equipamento importado.

Para resolver os problemas acima descritos, a melhor alternativa é desenvolver uma bomba de infusão em território nacional, pois além de poder otimizar as funcionalidades das atuais bombas de infusão, também haverá o domínio da tecnologia e a manutenção deixará de ser mais um empecilho.

A especificação técnica da bomba infusora foi obtida a partir de informações de profissionais ligados à área, necessidade do tratamento como a taxa de infusão,

observações ligadas ao medicamento como a forma de armazenagem e necessidades específicas dos pacientes, como dimensões e peso máximo.

Assim, baseado nas necessidades dos pacientes com anemia Falciforme estabeleceu-se as seguintes especificações técnicas da bomba de infusão, mostrado na tabela a seguir.

Bomba de Infusão	
Dimensões	30mm x 80mm x 120mm
Peso máximo sem medicamento	300 gramas
Fluxo médio	2 a 20 ml/h
Precisão	$\pm 10\%$
Preço	R\$ 500,00 no Brasil
Reservatório	De até 20ml com fácil substituição

Tab. 1: Especificação técnica da bomba de infusão.

3.3 Análise de mercado

Na análise de Mercado, é feito um panorama das atuais bombas de infusão, com análise crítica das vantagens e desvantagens. Também se verifica a saturação do mercado e se as necessidades do mercado são supridas pelas atuais bombas infusoras.

3.3.1 Atuais bombas de Infusão

As atuais bombas de infusão para quelação de ferro comerciais são produzidas em apenas três Países: Estados Unidos, Itália e Grécia. Mas possuem caráter significativo, apenas, as bombas infusoras produzidas nos EUA e na Itália uma vez que as bombas infusoras produzidas na Grécia estão em fase experimental e são usadas localmente em fase de testes.

3.3.1.1 Bomba de infusão CADD5900

Nos Estados Unidos, a empresa Sims Deltec que pertence ao grupo Smith Group produz a bomba de infusão CADD5900 que pode ser visualizada nas figuras a seguir:



Fig. 2: Bomba de Infusão CADD-Micro da Sims Deltec [2].

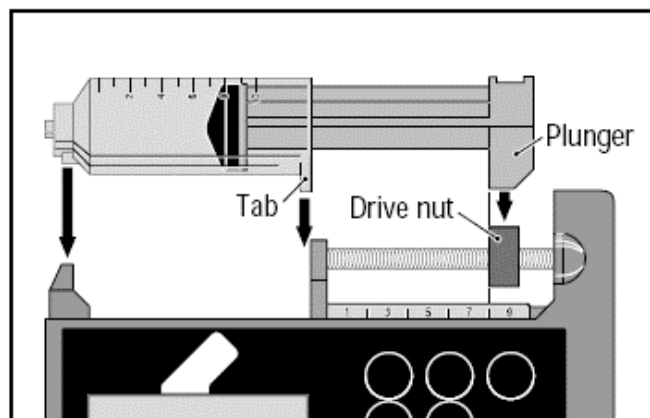


Fig. 3: Princípio de funcionamento da CADD 5900 [2].

As características técnicas desta bomba infusora são mostradas a seguir:

Sims Deltec - CADD 5900	
Dimensões	23mm x 76mm x 119mm
Peso sem medicamento	255 gramas
Fluxo	0,02 a 26 ml/h
Precisão	± 3%
Preço	R\$ 3200,00 nos EUA
Volume do Reservatório	10 ml
Bateria	Alcalina de 9 volts
Dificuldades	Incompatibilidade com seringas comerciais do Brasil

Tab. 2: Especificação da CADD 5900.

Uma inconveniência desta bomba infusora é o fato de não ser compatível com as seringas comerciais do Brasil, exigindo a importação também das seringas para utilizar esta bomba infusora.

Como vantagem, esta bomba infusora possui um controle de posição e de velocidade.

3.3.1.2 Bomba de infusão Grazby MS16A

Também nos EUA é produzido pela empresa Graseby Medical Limited pertencente ao grupo Smiths Group a bomba de infusão Grazby MS16A que pode ser visualizada na figura a seguir:



Fig. 4: Bomba infusora Grazby MS16A da Graseby Medical Limited [3].

Esta bomba infusora não tem controle de velocidade e suas características técnicas podem ser visualizadas na Tabela a seguir:

Graseby Medical Limited - Grazby MS16A	
Dimensões	165mm x 23mm x 53mm
Peso sem medicamento	185 gramas
Fluxo	0-99 mm/h
Precisão	$\pm 3\%$
Preço	R\$ 2200,00 nos EUA
Volume do Reservatório	10 ml
Bateria	Alcalina de 9 volts
Dificuldades	Dimensões elevadas e alto nível de ruído

Tab. 3: Especificação técnica da bomba infusora Grazby MS16A.

Como vantagem, esta bomba infusora adapta-se às seringas comercializadas no Brasil de 10 e 20 ml.

3.3.1.3 Bomba de infusão Infusa T

Na Itália, a empresa Medis comercia a bomba infusora Infusa T que pode ser vista na figura a seguir:

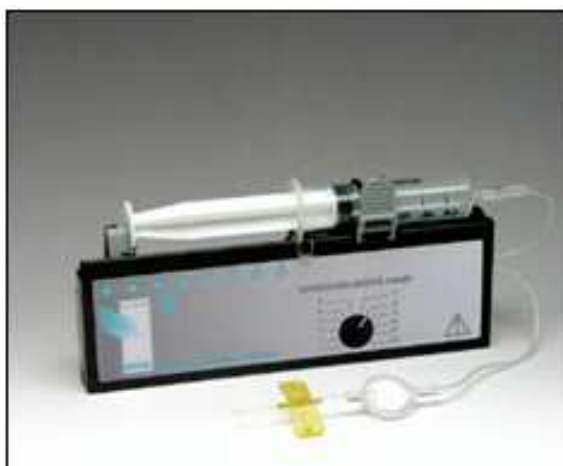


Fig. 5: Bomba infusora italiana “Infusa T” da Medis [4].

Esta bomba infusora possui como vantagens se adaptar as seringas comerciais padrão no Brasil, o menor preço de todas e o fato de ter sido este modelo o importado anteriormente pelo Ministério da Saúde, assim, já existem algumas bombas infusoras deste modelo em posse de pacientes brasileiros com anemia falciforme, o que tornou possível a existência de uma avaliação prática desta bomba infusora e um certo conhecimento não documentado a respeito de sua manutenção.

A especificação técnica da Infusa T pode ser vista na tabela a seguir:

Medis - Infusa T	
Dimensões	170 mm x 58 mm x 21 mm
Peso sem medicamento	170 gramas
Avanço do embolo	1 a 12 mm/h
Precisão	$\pm 3\%$
Preço	R\$ 1100,00 na Itália
Volume do Reservatório	Seringas de 5 a 20 ml
Bateria	Alcalina de 9 volts
Dificuldades	Dimensões não tão reduzidas para ficar presa ao corpo

Tab. 4: Especificação técnica da bomba infusora Infusa T.

3.3.1.4 Bomba de infusão experimental da “New Scale Technology”

Nos Estados Unidos da América, a empresa chamada “New Scale Technologies” desenvolveu um motor linear piezelétrico e começa a fazer estudos de utilizar este motor em bombas de infusão. Esta alternativa foi proposta pela “New Scale Technologies” buscando uma alternativa que fosse mais compacta que os atuais motores elétricos utilizados, uma vez que estes motores possuem um grande potencial de miniaturização. Esta empresa propõe a utilização do motor linear Squiggle, modelo SQ-150-N, fabricado pela própria “New Scale Technology”. Na tabela a seguir constam os dados técnicos do motor:

New Scale Technology - SQ-150-N	
Diâmetro do motor	7,37 mm
Comprimento do eixo	73 mm
Faixa de velocidade	0,001 a 2 mm/s
Resolução típica	20 nm
Preço	R\$ 1820,00 na UE
Curso	50 mm
Força máxima	5 N
Tempo de aceleração	0,2 ms
Temperatura de trabalho	-20 a 40 °C

Tab. 5: Especificação técnica do motor SQ-150-N.

Na figura a seguir o motor pode ser visualizado:



Fig. 6: Representação do motor piezelétrico [5].

No protótipo proposto (fig. 6) o motor faz o acionamento do êmbolo de uma seringa de 2 a 35 ml.

Na figura a seguir, é possível visualizar uma ilustração do protótipo proposto.



Fig. 7: Representação do protótipo da New Scale Technologies [5].

Porém, no caso arranjo apresentado na figura anterior, se o motor fosse disposto paralelamente ao reservatório, poderia se reduzir ainda mais suas dimensões.

3.3.1.5 Bomba de infusão Paragon

Também nos Estados Unidos, a empresa “I-Flow Corporation” produz a bomba de infusão Paragon, que como diferencial, apresenta o fato de não ser acionada por um motor de passo e sim por um conjunto de duas molas, que por meio de energia potencial armazenada, pressionam o reservatório que contém o medicamento. Esta bomba de infusão possui reservatório próprio e a taxa de infusão é regulada por meio de um regulador de fluxo disposto no canal de saída do medicamento.

Nas figuras a seguir é possível visualizar o princípio de funcionamento da bomba de infusão com o reservatório cheio e vazio respectivamente.



Fig. 8: Bomba de Infusão Paragon com reservatório cheio [16].

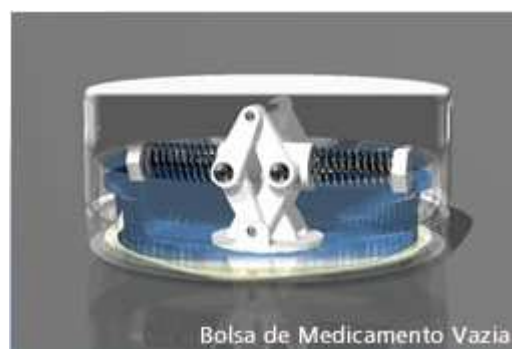


Fig. 9: Bomba de Infusão Paragon com reservatório vazio [16].

Na tabela a seguir é possível visualizar as características deste equipamento.

I-Flow - Paragon	
Dimensões	580 mm X Ø 102 mm
Peso com medicamento	368,5 gramas
Taxa de Infusão	0,5 a 4 mm/h
Precisão	± 10%
Preço	Ainda não definido
Volume do Reservatório	110 ml
Alimentação	Energia potencial elástica

Tab. 6: Especificação técnica da bomba de infusão Paragon.

Esta bomba de infusão possui também o atrativo de possuir um distribuidor em território nacional localizado em Curitiba-PR.

3.3.1.6 Bomba de infusão Eclipse

Outra bomba de infusão com princípio de funcionamento inovador é a Eclipse do fabricante “I-Flow” localizado no Estados Unidos da América. Esta bomba de infusão possui dois reservatórios elásticos concêntricos, um cilíndrico e outro esférico. No espaço entre os reservatórios possui ar. Quando o medicamento é injetado no reservatório interno, este se deforma e comprime o ar entre os reservatórios, gerando uma força de compressão no reservatório interno e esta força será utilizada para infundir o medicamento no paciente.

Na figura a seguir é possível visualizar a aparência externa deste equipamento:



Fig. 10: Bomba de Infusão Eclipse [15]

Já na figura a seguir, são mostrados o arranjo de montagem da bomba infusora e o detalhe dos reservatórios elásticos:

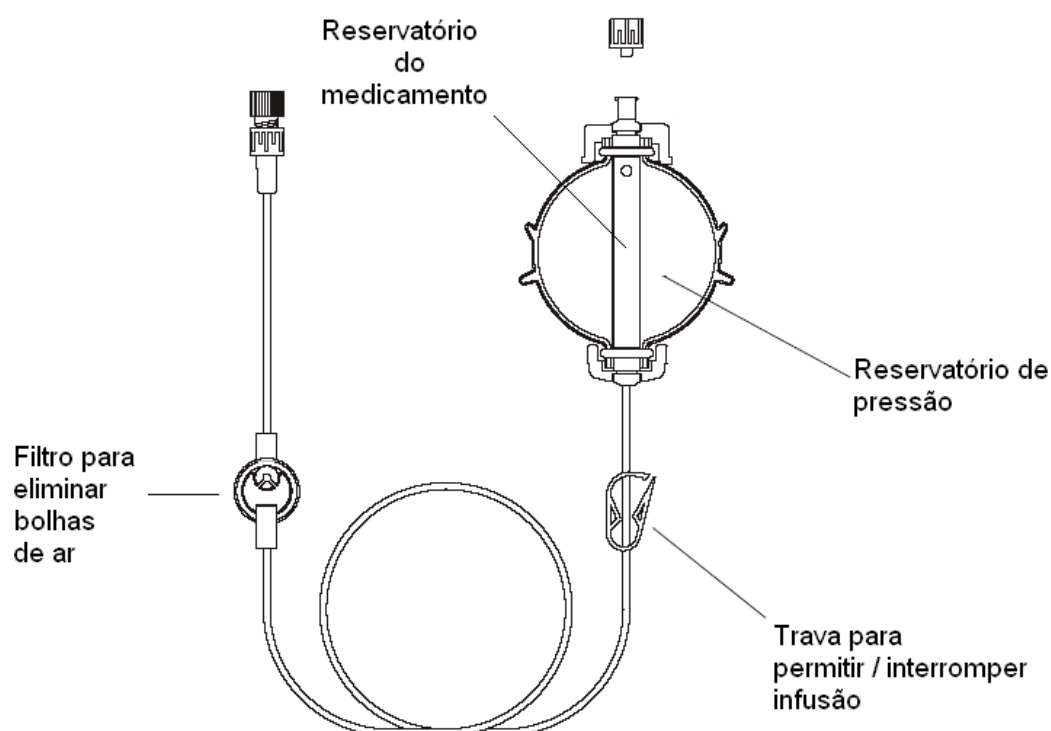


Fig. 11: Componentes da Bomba de Infusão Eclipse [15].

Na tabela a seguir é possível visualizar as características deste equipamento.

I-Flow - Eclipse	
Dimensões	Ø 80 mm
Peso com medicamento	368,5 gramas
Taxa de Infusão	0,5 a 10 mm/h
Precisão	± 10%
Preço	Ainda não definido
Volume do Reservatório	50 ml
Alimentação	Energia potencial elástica

Tab. 7: Especificação técnica da bomba de infusão Eclipse.

3.3.1.7 Conclusão de Mercado

Após análise de mercado, considerando-se o grande público alvo e que nenhuma das bombas infusoras descritas anteriormente possuem registro no Ministério da Saúde, nem manutenção ou representantes em território nacional com

exceção da bomba de infusão Paragon, verifica-se que este ainda é um mercado pouquíssimo explorado no Brasil, com poucas empresas concorrentes e que não suprem as necessidades do mercado seja em capacidade de produção, qualidade de fornecimento (devido à falta de representantes e assistência pós-venda), ou em custo acessível à maioria dos pacientes (devido às altas taxas de importação e transporte).

Assim, uma empresa nacional que surgisse nesse mercado teria grandes chances de sucesso.

Observa-se, também, que a maioria das bombas de infusão é fabricada nos Estados Unidos e conseqüentemente não é adequada à realidade dos pacientes brasileiros.

3.4 Alternativas de solução

Na busca de soluções, a primeira, mais simples e óbvia solução é reproduzir uma bomba de infusão já existente, ou seja, fazer a reengenharia e produzir em território nacional uma bomba de infusão idêntica à importada. Neste caso seria escolhida a bomba de infusão Infusa T para ser reproduzida uma vez que, após a compra de 500 destes equipamentos realizada pelo governo, esta bomba infusora é facilmente encontrada para ser analisada. Esta solução vai contra os objetivos inicialmente propostos para a busca de soluções que é gerar um projeto inovador e vantajoso, mas esta solução não pode, inicialmente, ser descartada, pois partes das bombas infusoras comerciais poderão ser utilizadas na solução final, tais como o reservatório e o acionamento por fuso roscado.

Após um “Brain-Storm” (ou chuva de idéias) realizado, chegou-se as alternativas A, B e C mostradas a seguir:

3.4.1 Alternativa A

Fazer a engenharia reversa sobre a bomba de infusão Infusa T e fabricar em âmbito acadêmico um protótipo idêntico ao equipamento italiano. Dentre as bombas de infusão comerciais, seria escolhida a bomba de infusão “Infusa T”, pois foi esta que foi importada pelo governo e seria mais fácil adquirir um exemplar para ser reproduzido.

No caso desta alternativa, o foco não seria criar um equipamento novo, mas sim entender em detalhes o projeto e fabricação deste equipamento.

Esta alternativa possui a vantagem de que o produto final, que seria semelhante à bomba de infusão “Infuta T”, possui resultados garantidos, uma vez que este equipamento já vem a anos sendo utilizado.

Porém esta alternativa possui a desvantagem deste equipamento não ser desenvolvido para as necessidades específicas dos pacientes brasileiros, possuir valor final elevado e os mesmos problemas que os pacientes que utilizam este equipamento já se queixaram como o ruído elevado e difícil manutenção.

Na tabela a seguir é apresentado um panorama geral desta alternativa com suas vantagens e desvantagens.

Alternativa A	
Vantagens	Desvantagens
- Resultados garantidos	- Custo elevado - Mesmos problemas da atual bomba infusora, como barulho e peso elevados - Alternativa não inovadora

Tab. 8: Panorama – alternativa A.

3.4.2 Alternativa B

Utilizar mecanismo de corda similar a de um relógio de corda no lugar da bateria.

Nesta alternativa, o objetivo é fazer um equipamento que funcione sobre uma bancada e não precise ficar preso ao corpo, neste caso o equipamento seria ligado ao paciente por meio de uma mangueira em espiral flexível; A mangueira flexível seria ligada a um distribuidor preso à cintura do paciente e do distribuidor sairia uma mangueira mais fina que seria ligada ao ponto de infusão. Esse sistema distribuidor traria mais liberdade ao paciente, pois este poderia se mexer à noite sem prejudicar o ponto de infusão.

Um esquema da alternativa 1 pode ser visto na figura a seguir:

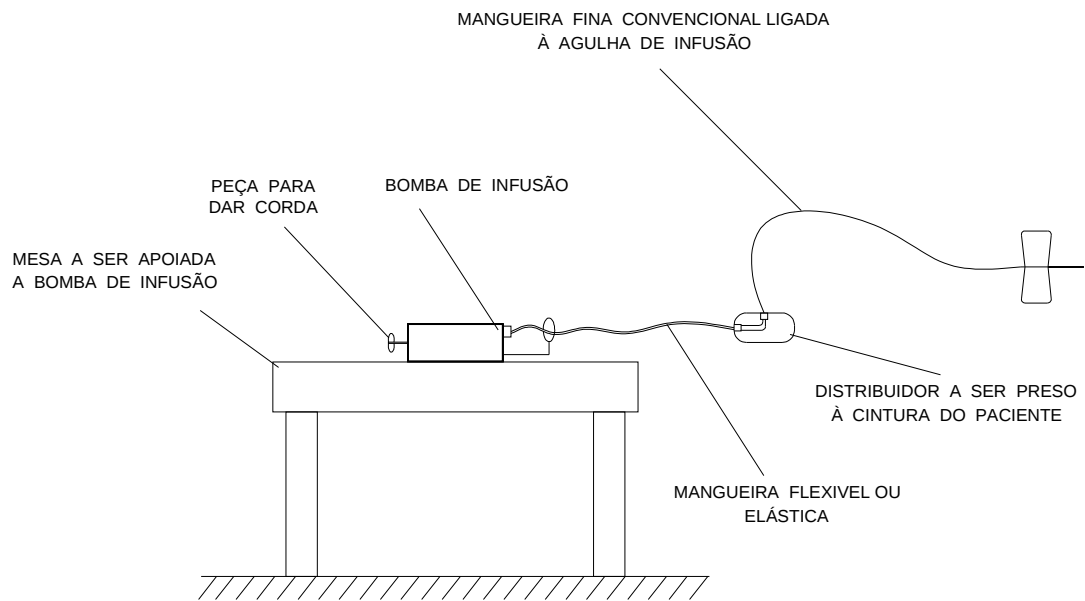


Fig. 12: Esquema de montagem da alternativa à corda.

O mecanismo de corda seria interessante, pois não utiliza pilha alguma e é composto por apenas componentes mecânicos e possui alta confiabilidade, uma vez que o mecanismo de corda já é utilizado há mais de 100 anos.

Utilizar uma bomba de infusão com mecanismo de corda possui a vantagem de não precisar de pilhas nem baterias. Também possui manutenção mais simples por ter apenas componentes mecânicos e certamente possuiria um custo menor de fabricação quando comparado a um equipamento que utilize eletrônica sofisticada. Uma outra vantagem é que um equipamento a corda possui basicamente componentes mecânicos como engrenagem e âncora.

Na tabela a seguir é apresentado um panorama geral desta alternativa com suas vantagens e desvantagens.

Alternativa B	
Vantagens	Desvantagens
- Baixo custo - Tecnologia simples - Fácil manutenção - Não possui bateria a ser substituída periodicamente	- Elevado nível de ruído

Tab. 9: Panorama – alternativa B.

3.4.3 Alternativa C

A terceira alternativa é projetar uma bomba de infusão baseada no princípio de funcionamento da bomba de infusão “Paragon”, na qual a força de infusão é proveniente de uma mola helicoidal ou um elástico e o controle da taxa de infusão é feito por meio de uma perda de carga na linha controlada.

Nesta alternativa, ao invés de se utilizar um reservatório próprio como no caso da “Paragon”, utilizar-se-á uma seringa convencional para reduzir os custos e o controle da taxa de infusão será feito por uma válvula reguladora de vazão convencionalmente utilizada em sistemas hidráulicos.

Para a fabricação de um protótipo seguindo este princípio de funcionamento, é interessante adaptar a uma seringa convencional, um conjunto de molas ou elásticos. Assim, desenvolveram-se várias alternativas de adaptação da seringa ao conjunto de molas ou elásticos. Duas alternativas podem ser vistas na figura a seguir:

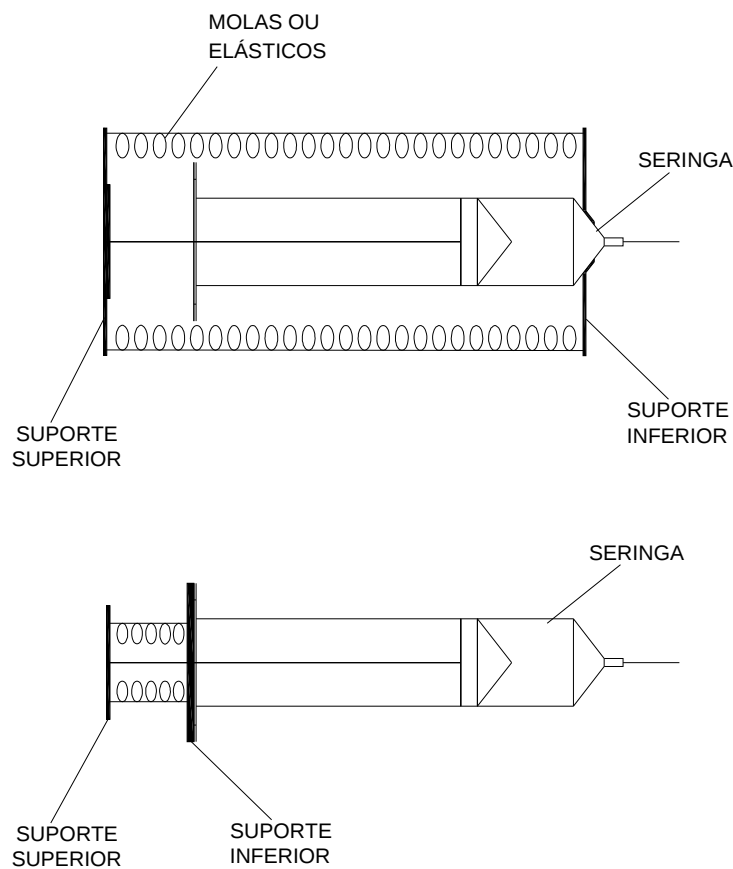


Fig. 13: Duas alternativas de seringa com conjunto elástico.

Nas alternativas da figura anterior, seriam utilizadas duas ou quatro molas (ou elásticos) e julgou-se que essas alternativas seriam desconfortáveis ao paciente e qualquer objeto introduzido no conjunto elástico poderia prejudicar o funcionamento correto do equipamento.

Então, foi pensado na alternativa a seguir que utilizaria apenas uma mola helicoidal. Esta alternativa pode ser vista na figura a seguir:

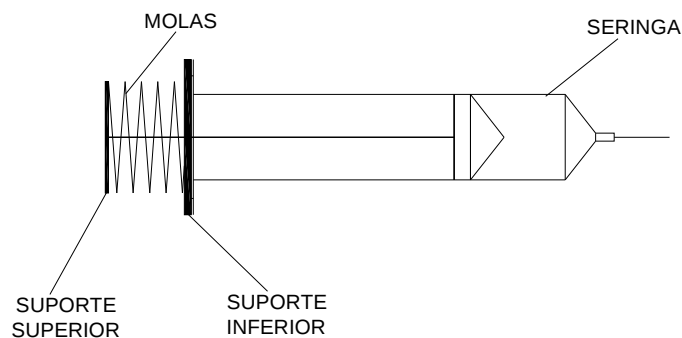


Fig. 14: Alternativa que utiliza apenas uma mola helicoidal.

Esta alternativa utiliza uma seringa descartável e de fácil substituição, porém esta alternativa deixa a mola exposta ao paciente.

Assim, foi desenvolvida a alternativa mais compacta e segura. Esta é apresentada na figura a seguir:

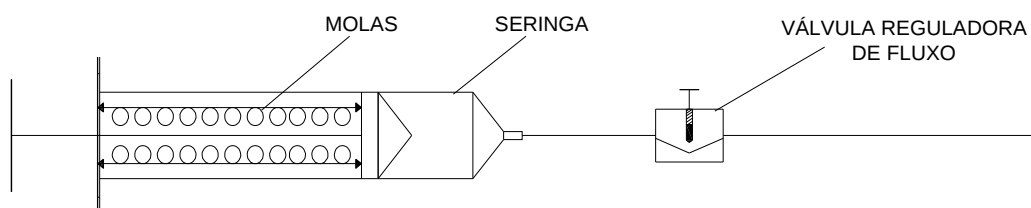


Fig. 15: Alternativa com molas helicoidais.

Esta alternativa possui a grande vantagem de seu princípio de funcionamento ser extremamente simples e o custo final reduzido. Além de ser extremamente compacta, pois possui as dimensões externas de uma seringa convencional é também segura, pois o paciente não tem acesso ao conjunto elástico.

Devido ao arranjo desta alternativa que gera a força de infusão por meio de uma compressão inicial do conjunto elástico, o uso de elásticos foi descartado e,

portanto, será utilizado um conjunto de 4 molas helicoidais que atuarão sobre compressão.

Esta alternativa possui a desvantagem de não possuir alertas de fim de infusão e alertas de avarias como quebra da mola ou obstrução do êmbolo da seringa. Porém o paciente pode acompanhar o avanço da infusão pelo avanço do êmbolo da seringa e retirar o equipamento depois de transcorrido o tempo de infusão determinado.

Na tabela a seguir é apresentado um panorama geral desta alternativa com suas vantagens e desvantagens.

Alternativa C	
Vantagens	Desvantagens
- Tamanho reduzido - Baixo custo - Tecnologia simples - Fácil manutenção	- Não possui avisos nem alertas - Possui duas peças: a seringa e a válvula de regulação de fluxo

Tab. 10: Panorama – alternativa C.

3.4.4 Alternativa D

Bomba de infusão que utiliza uma massa para criar a força de infusão constante.

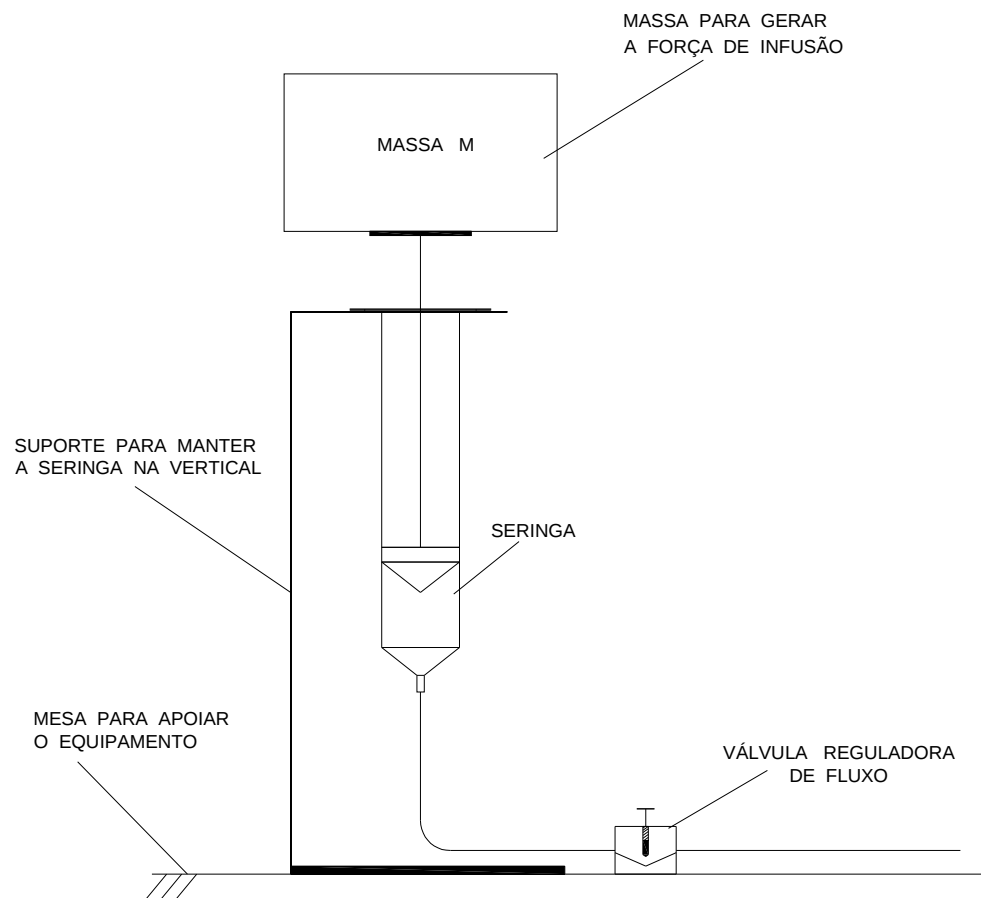


Fig. 16: Alternativa que utiliza a Força Gravitacional.

Esta alternativa possui o princípio de funcionamento extremamente simples, consiste em colocar a seringa na vertical com o auxílio de um suporte e sobre o êmbolo é disposta uma massa M sobre-dimensionada para gerar a força de infusão, tal que $F=M \cdot g$. Como vantagens, esta alternativa é extremamente barata, confiável, de fácil construção e possui uma força de infusão constante e, portanto, uma vazão de infusão também constante.

A única desvantagem é o fato do equipamento ter de ficar sobre uma bancada e isto pode gerar desconforto ao paciente.

Na tabela a seguir é apresentado um panorama geral desta alternativa com suas vantagens e desvantagens.

Alternativa D	
Vantagens	Desvantagens
- Baixo custo - Fabricação simples - fácil manutenção - Qualquer instituição pode construir uma	- Deve ficar sobre uma mesa fixa - Não possui alertas nem avisos - Aspecto visual não é agradável

Tab. 11: Panorama – alternativa D.

3.4.5 Alternativa E

Bomba de infusão que utiliza um reservatório à baixa pressão para criar a força de infusão. Esse reservatório à baixa pressão pode ser, por exemplo, uma outra seringa, como pode ser visto na figura a seguir:

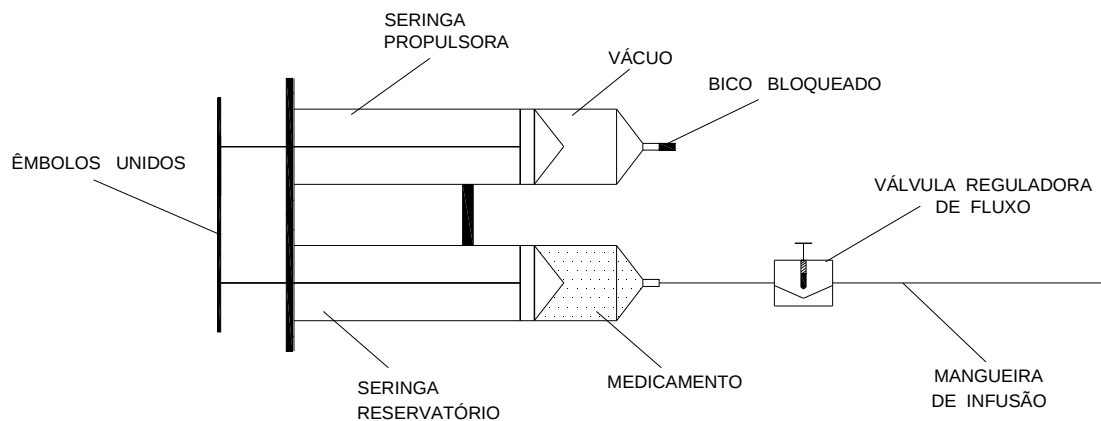


Fig. 17: Alternativa que utiliza câmara de baixa pressão

Nesta alternativa a força de infusão também irá variar durante a infusão, assim, nesta alternativa também é necessário o uso de uma válvula reguladora de fluxo. Dimensionando devidamente o reservatório de pressão é possível diminuir a variação da força de infusão, mesmo assim seria necessário o uso da válvula.

Esta alternativa possui fácil fabricação e pode ser utilizada tanto na vertical quanto na horizontal. Outra possibilidade é utilizar duas seringas descartáveis (uma como câmara de baixa pressão e outra que contém o medicamento). Assim, toda a bomba de infusão seria descartável.

Na tabela a seguir é apresentado um panorama geral desta alternativa com suas vantagens e desvantagens.

Alternativa E	
Vantagens	Desvantagens
- Baixo custo - Fabricação simples - Possibilidade de ser descartável - Menor possibilidade de contaminação	- A precisão do equipamento depende muito da qualidade da seringa

Tab. 12: Panorama – alternativa E.

3.5 Estudo da melhor alternativa

A escolha da melhor solução dentre as alternativas será feita por meio de uma matriz de decisão. Nesta matriz de decisão, as alternativas serão analisadas a partir de sete características: Preço, Reservatório, Fabricação, Conforto, Durabilidade, Manutenção e Segurança. Cada alternativa receberá uma nota de zero a dez, relativa a cada quesito sendo dez a melhor nota e zero a pior nota. Cada nota será ponderada pelo peso do quesito e a alternativa que somar mais pontos será a escolhida como melhor alternativa.

No critério “Preço”, a melhor nota será dada para o menor preço considerando uma estimativa de preço final para o consumidor no Brasil. Assim, nota 10 será dada caso alguma alternativa possua valor de mercado final inferior a R\$500,00. Este critério recebe a mais alta ponderação junto com a segurança com $P = 1,0$ pelo fato deste trabalho de formatura ter surgido com o propósito maior de se fazer uma bomba de infusão acessível à população brasileira de média e baixa renda.

No critério “Reservatório” é avaliado a compatibilidade com seringas comercializadas no mercado nacional e que possuam capacidade entre 10 e 20 mililitros. Recebe a segunda maior ponderação com $P = 0,8$, pois importar seringas encarece consideravelmente a solução.

No critério “Fabricação” é avaliada a facilidade de fabricação e possibilidade de fabricação do protótipo em apenas um ano letivo, que é o prazo máximo para realização do trabalho de formatura. Recebe melhor nota a alternativa de maior facilidade de fabricação. Possui ponderação de 0,6 por ser um quesito de importância mediana, uma vez que os pacientes com anemia falciforme devem ser ajudados tanto em curto quanto em longo prazo.

No critério “Conforto” recebem as melhores notas as alternativas mais compactas e leves. Possui baixa ponderação (0,4) uma vez que tratamentos médicos são muitas vezes inevitavelmente desconfortáveis.

No critério “Durabilidade” recebem as melhores notas as alternativas com maior durabilidade. Este critério recebe a ponderação (0,2) pelo seu grau de subjetividade uma vez que o seu funcionamento durante muitos anos depende de uma adequada manutenção e as atuais bombas infusoras comerciais possuem um funcionamento adequado sem manutenção por cerca de 5 anos, o que é considerado um bom desempenho.

No critério “Manutenção” recebem as melhores notas as alternativas com maior facilidade de manutenção. Recebe ponderação de 0,2 uma vez que no pior dos casos a manutenção em território nacional sempre será melhor do que ter de enviar a bomba infusora para outro país para ser consertada.

No critério “Segurança” recebem as melhores notas as alternativas com maior segurança para o paciente, ou seja, alternativas que ofereçam o maior número de alarmes de segurança e proteções contra acidentes. Recebe ponderação 1,0 uma vez que qualquer uma das soluções possuirá obrigatoriamente um elevado grau de segurança, por se tratar de um equipamento médico.

A matriz de decisão final está mostrada na tabela abaixo.

Critérios	Peso	A (1)	AxPi	B (2)	BxPi	C (3)	CxPi	D (4)	DxPi	E (5)	ExPi
Preço	1,0	2	2,0	6	6,0	10	10,0	10	10,0	10	10,0
Reservatório	0,8	4	3,2	10	8,0	10	8,0	10	8,0	10	8,0
Fabricação	0,6	4	2,4	4	2,4	8	4,8	10	6,0	10	6,0
Conforto	0,4	10	4,0	4	1,6	8	3,2	4	1,6	7	2,8
Durabilidade	0,2	6	1,2	10	2,0	10	2,0	10	2,0	10	2,0
Manutenção	0,2	4	0,8	6	1,2	9	1,8	10	2,0	10	2,0
Segurança	1,0	8	8,0	10	10,0	6	6,0	6	6,0	5	5,0
Total	4,2	A	21,6	B	31,2	C	35,8	D	35,6	D	35,8

Tab. 13: Matriz de decisão.

A partir da Tabela anterior pode-se observar que as melhores alternativas e, portanto, as escolhidas são as alternativas “C” - Bomba de Infusão com acionamento por molas helicoidais e “E” - Bomba de infusão com câmara à baixa pressão.

Sendo duas opções consideradas boas pra o desenvolvimento, será construído o protótipo de ambas alternativas e somente após os testes dos protótipos, será escolhida a melhor alternativa.

3.6 Conclusão do estudo de viabilidade

Após a conclusão do estudo de viabilidade com seleção das melhores alternativas, observa-se que o projeto se mostra viável no âmbito de um trabalho de formatura por apresentar desafios tecnológicos, ser multidisciplinar e ser factível a fabricação de um protótipo no período de um ano letivo.

Observa-se também que se a fabricação for feita apenas com peças importadas, fabricar a bomba infusora em território nacional pode acarretar um valor final superior às bombas infusoras importadas já existentes, o que a tornaria incoerente com a proposta deste trabalho.

Desta forma, a seleção de alternativas, utilizou o método da matriz de decisão para poder julgar todas as alternativas seguindo o mesmo critério. Uma das alternativas selecionadas baseia-se no princípio de funcionamento das bombas de infusão mais modernas do mercado e a outra possui princípio de funcionamento inovador. Ambas as alternativas possuem baixo custo, alta confiabilidade e fácil manutenção, uma vez que é composta apenas de componentes mecânicos.

4 PROJETO BÁSICO

No projeto básico, faz-se uma análise técnica criteriosa e detalhada das soluções escolhidas, que resultará na fabricação de um protótipo para cada solução e a escolha da melhor solução entre ambas.

4.1 Estrutura analítica do Projeto (EAP)

A bomba de infusão foi inicialmente dividida em três módulos: “Mecanismos”, “Bombeamento” e “Arranjo Geral” e cada módulo foi dividido em sub-sistemas.

O módulo de “Mecanismos” engloba os subsistemas de “ON/OFF” para ligar e desligar a bomba infusora, trava para as molas, filtro de ar e indicativo da taxa de infusão.

O módulo de “Bombeamento” engloba basicamente a física do bombeamento e irá se preocupar em estabelecer um fluxo contínuo a partir da força de infusão que é variável.

O módulo do “Arranjo Geral” tem por objetivo, organizar todos os componentes da bomba infusora da melhor forma possível para diminuir o desconforto do paciente que utiliza a bomba de infusão. Engloba os sub-sistemas carcaça, que implica nas dimensões máximas, coeficiente de segurança, peso total, estojo de transporte e proteção e interface com outros equipamentos como seringas e mangueiras.

De forma visual, a EAP pode ser visualizada na figura a seguir:

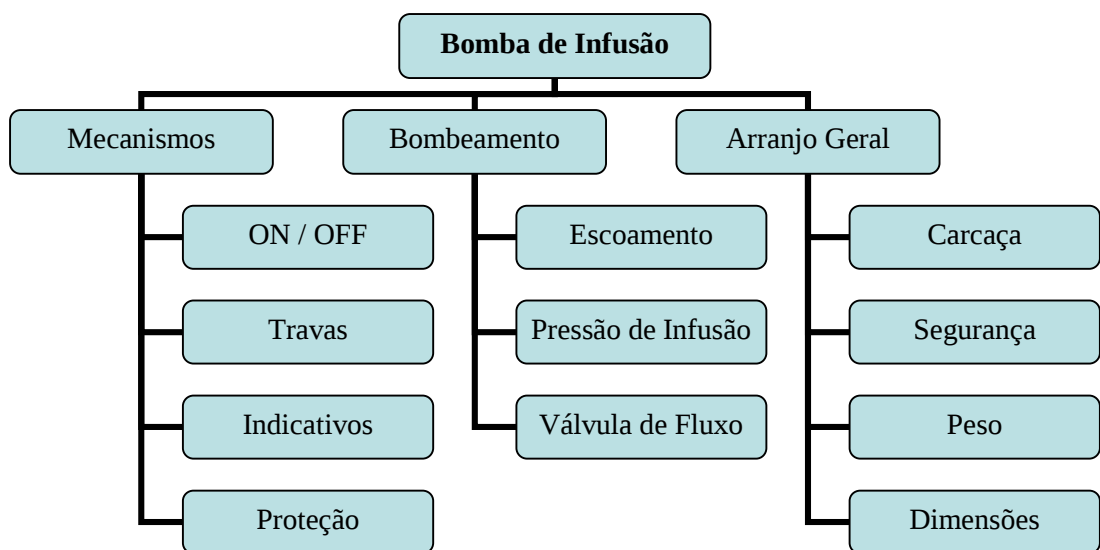


Fig. 18: Divisão da bomba infusora em sub-sistemas.

Seguindo esta divisão o projeto se inicia pela especificação do módulo de “Bombeamento” e será seguido pelo módulo de “Mecanismos” para finalizar o projeto pelo “Arranjo Geral”. Observando que durante a etapa de projeto dos “Mecanismos”, o módulo de “Bombeamento” pode ser revisto e o mesmo ocorre no caso do “Arranjo Geral”.

4.2 Bombeamento

Diversos fatores e variáveis envolvem o processo de bombeamento, que é na verdade o principal módulo da bomba de infusão que tem por finalidade bombear o medicamento do reservatório para dentro do corpo humano. Assim, os outros módulos – Mecanismos e Arranjo Geral - servem de auxílio para o módulo de bombeamento.

No módulo de bombeamento, uma seringa será pressionada de forma a aplicar um fluxo médio de bombeamento, por exemplo, de 5 mm/h.

A infusão do medicamento será realizada por meio de um avanço contínuo do êmbolo da seringa, e neste movimento de avanço do êmbolo, o principal quesito é a precisão no deslocamento.

No dia 28/05/20007, foi detectado a partir de experiência realizada no Instituto de Física da USP com o auxílio do técnico Adélio Pereira Dias, que a máxima força que a bomba de infusão comercial modelo MS-18 do fabricante Graseby Medical não ultrapassa 22,3 N. Utilizando este dado como referência e considerando que experiências realizadas na Faculdade de Medicina da USP, mostraram que a força de bombeamento é cerca de 5 N e jamais excede 10 N, a bomba infusora será dimensionada para exercer uma força de até 20 N, e o controle da taxa de infusão será feito por meio de uma perda de carga localizada controlada, utilizando-se uma válvula reguladora de fluxo, padrão no uso de sistemas hidráulicos.

4.2.1 Bomba de infusão com conjunto de molas

Nesta alternativa, o objetivo é ter um sistema de molas capaz de aplicar uma força muito superior à necessária para poder controlar com folga a taxa de infusão por meio da perda de carga.

Portanto, como se tem 4 (quatro) molas iguais aplicando os 20 N no êmbolo, cada mola deverá ser capaz de aplicar uma força máxima de 5 N e nunca inferior a 1,25 N.

De acordo com as dimensões da seringa de 20 ml padrão que será utilizada como reservatório, a mola na situação de máximo comprimento estará com 80 mm

quando o reservatório estiver completamente vazio e nesta situação a mola estará aplicando sua menor força (F_2). Quando o reservatório estiver completamente cheio, a mola estará aplicando sua máxima força (F_1) e estará 70 mm comprimida em relação ao ponto de F_2 .

Duas figuras que ilustram as duas situações (molas comprimidas e distendidas) são mostradas a seguir:

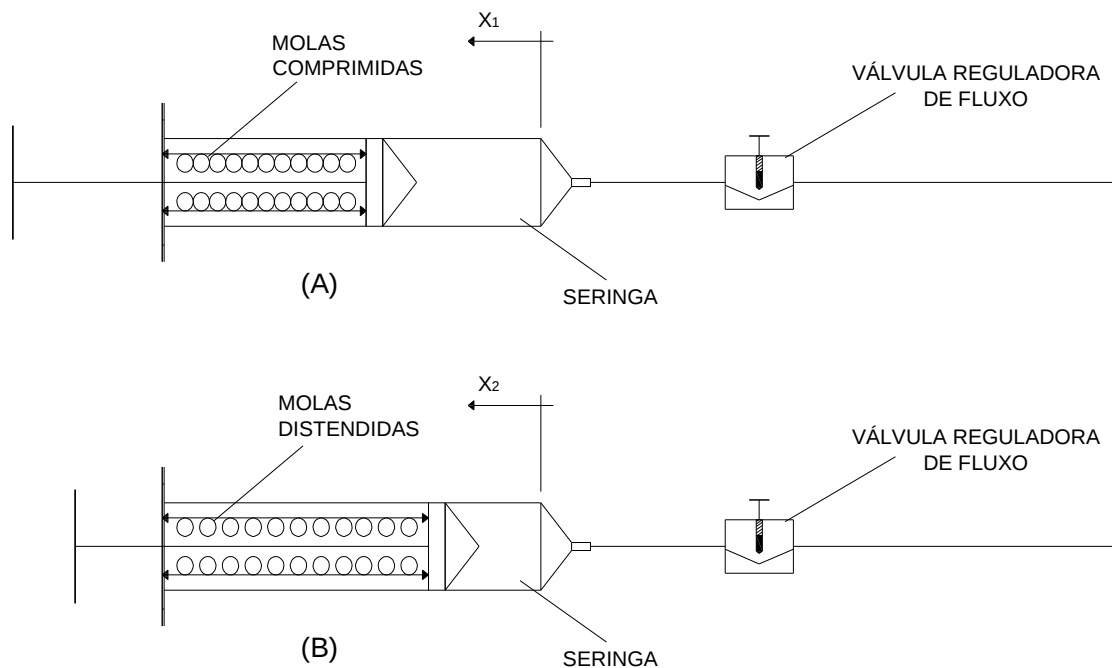


Fig. 19: Representação do protótipo com o reservatório (A) cheio e (B) vazio.

Assim,

$$F_1 = k \cdot x_1 \quad \text{Maior}$$

$$F_2 = k \cdot x_2 \quad \text{Menor}$$

$$x_1 = x_2 + 70\text{mm}$$

Defino $F_2 = 2\text{N}$ (força mínima que cada uma das molas deve aplicar)

Defino $F_1 = 5\text{N}$ (força máxima que cada uma das molas deve aplicar)

Portanto:

$$5 = k \cdot (x_2 + 70\text{mm})$$

$$2 = k \cdot x_2$$

Desse sistema de duas equações e duas incógnitas obtém-se:

$$k=42,9 \text{ N/m}$$

$$x_2=47 \text{ mm}$$

Assim, a bomba de infusão será composta por quatro molas helicoidais com

$$l_0 = 80 + 47 = 127 \text{ mm, (comprimento natural da mola);}$$

$$k = 42,7 \text{ N/m (constante elástica);}$$

$$\varnothing_{\text{ext}}=6,2\text{mm (diâmetro externo).}$$

Como a força de infusão irá variar entre 8 e 20 N, faz-se necessário o uso de uma válvula controladora de fluxo que é descrita no item a seguir.

4.2.2 Bomba de infusão com câmara à baixa pressão

Nesta alternativa, a força de infusão é gerada por um reservatório à baixa pressão e no caso do protótipo será utilizada uma outra seringa com o bico fechado, assim, a força de infusão é gerada pela diferença de pressão entre o interior da “seringa propulsora” e a pressão atmosférica.

Considerando que este é um processo praticamente isotérmico, vale a relação:

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

Onde:

P_1 : Pressão no interior da seringa propulsora, quando está com o menor volume (pressão atmosférica);

V_1 : Volume no interior da seringa propulsora, quando está à pressão atmosférica;

P_2 : Pressão no interior da seringa propulsora, quando está com o maior volume (pressão inferior à atmosférica);

V_2 : Volume no interior da seringa propulsora, quando está à pressão inferior à atmosférica.

Idealmente, a seringa propulsora é selada com um volume mínimo, por exemplo 0,8 ml, e estando a seringa propulsora e a seringa reservatório deslocadas, quando a seringa reservatório estiver vazia, a seringa propulsora ainda deve estar aplicando uma força mínima de cinco Newtons. Sendo a área do êmbolo de $2,545 \cdot 10^{-7}$

⁴ m², a seringa propulsora estará com uma pressão interna de $P_1 = -19,65$ kPa e $V_1 = 1$ ml quando a seringa reservatório estiver vazia.

Já com a seringa cheia (considerando uma seringa reservatório de 10 ml) o volume da seringa propulsora será de 18 ml, portanto:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$P_2 = -95,54 \text{ kPa}$$

$$\text{Portanto, } F_2 = 24,31 \text{ N}$$

Assim a força está variando entre 24,31 e 5 N, mas é sempre acima da força mínima de infusão e a taxa de infusão poderá ser regulada por meio de uma válvula reguladora de pressão.

4.3 Válvula reguladora de fluxo

Inicialmente será utilizada uma válvula de uso típico em sistemas hidráulicos como a que é mostrada na figura a seguir:



Fig. 20: Válvula reguladora de fluxo [17].

Existem basicamente dois tipos válvulas reguladoras de fluxo, as compensadas e as não-compensadas. As válvulas de fluxo compensadas, por meio de uma mola interna, podem aumentar com o aumento da queda de pressão na válvula e assim, aplicar um fluxo constante mesmo em linhas com pressão variável. Por esse motivo, esta válvula seria a mais indicada para esta aplicação, uma vez que a força (e, portanto a pressão) de infusão varia ao longo do tempo e busca-se um fluxo de infusão constante.

Um esquema representativo de uma válvula reguladora de fluxo alto-compensada é apresentado abaixo.

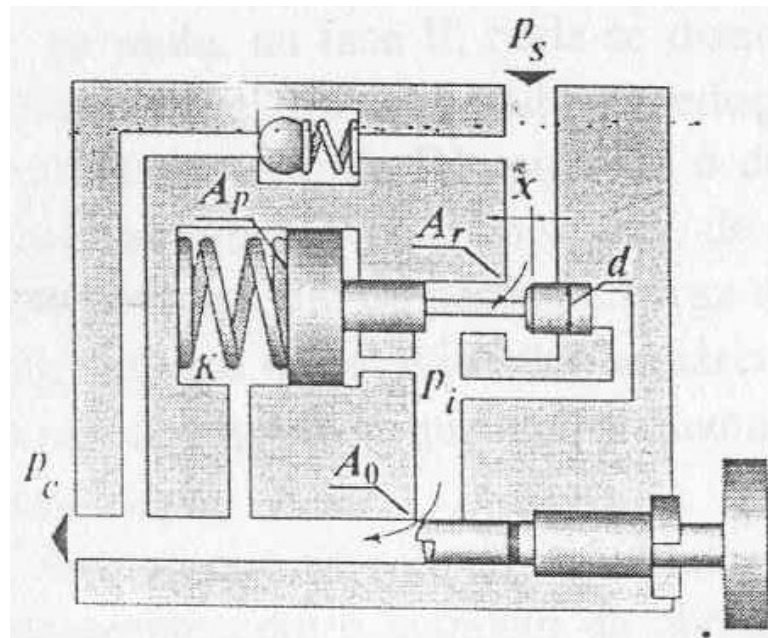


Fig. 21: Válvula Reguladora de Vazão Autocompensada (“Vickers”).

Porém as válvulas compensadas possuem um custo maior e não são facilmente encontradas para a vazão do presente projeto (em torno de 5ml/h).

Foi encontrada apenas uma válvula autocompensada que se adeque a vazão aqui utilizada, esta é produzida nos EUA e foi desenvolvida justamente para uso em bombas de infusão. A figura abaixo mostra este componente.



Fig. 22: Válvula auto compensada “Select-A-Flow”.

A válvula apresentada anteriormente é do fabricante I-Flow Corporation dos EUA. Entrando em contato com o fabricante, o mesmo informou que não distribui este produto no Brasil e não forneceu um orçamento.

Para o presente projeto também não é interessante ficar dependente de um fornecedor estrangeiro.

Assim, como segunda alternativa, nos parágrafos seguintes, está apresentado um estudo do uso da válvula reguladora de fluxo não-compensada que aplica uma perda de carga constante na linha.

Uma válvula reguladora de fluxo não-compensada do fabricante nacional CPH AUTOMAÇÃO modelo FSC-04 que se adeque ao presente uso, foi cotada em 10/09/2007 a 12 reais. Demonstrando o baixo custo deste tipo de válvula.

É importante observar que se aplicando uma perda de carga constante e variando-se a força de bombeamento o fluxo irá variar, porém nesta solução o objetivo é ter um fluxo médio de acordo como especificado. E vale ressaltar que as atuais bombas de infusão também possuem como parâmetro de projeto, o fluxo médio e não o fluxo instantâneo.

Para o escoamento do remédio ao longo da mangueira, assume-se um regime laminar de escoamento e sendo um escoamento laminar em duto fechado, vale a relação:

$$P = R.Q_s$$

Onde:

P: Diferença de pressão entre dois pontos de escoamento Q_s ;

R: resistência equivalente – soma de perdas localizadas e distribuídas;

Q_s : Fluxo volumétrico de fluido.

É necessário determinar a vazão média de infusão relativa às condições inicial e final de bombeamento para verificar se uma certa vazão média pretendida pode ser obtida com a seringa especificada. Assim, é possível determinar os parâmetros ótimos para a perda de carga a ser ajustada na válvula.

Para o cálculo da diferença de pressão, serão consideradas a força de infusão dada pela mola ou pela seringa propulsora, a área do êmbolo da seringa e a pressão na saída da agulha de infusão.

Como a infusão do medicamento quelante de ferro não é intravenosa e sim sub-cutânea, a pressão na saída da agulha é praticamente a atmosférica, ou seja, 101.325 N/m^2 . Porém esta pressão será aplicada em ambos os lados do êmbolo da seringa (saída da seringa e lado externo do êmbolo), assim, a diferença de pressão final, será a pressão aplicada pela mola ou pela seringa propulsora.

$$\varnothing \text{ êmbolo seringa} = 18 \text{ mm} = 0,018 \text{ m.}$$

Portanto, área do êmbolo da seringa = $A = 2,545.10^{-4} \text{ m}^2$.

$$P = R.Q_s$$

$$P_1 = \frac{F_1}{A}$$

$$\Rightarrow \frac{F_1}{A} = R.Q_1$$

$$\Rightarrow R = \frac{F_1}{A.Q_1} = cte$$

$$Q_1 = \frac{F_1}{A.R} \text{ e } Q_2 = \frac{F_2}{A.R}$$

- **Vazão média para a alternativa com mola:**

$$F = K.x$$

$$\Rightarrow Q = \frac{K.x}{A.R} = \frac{K}{A.R}.x = \psi.x$$

Onde:

$$\psi = \frac{K}{A.R};$$

K: constante elástica da mola;

A: área do êmbolo da seringa;

R: perda de carga equivalente.

Assim, é possível determinar a vazão média.

$$\bar{Q} = \frac{\int_{x_1}^{x_2} Q dx}{\int_{x_1}^{x_2} dx} = \frac{\frac{K}{A.R} \int_{x_1}^{x_2} x dx}{x_2 - x_1}$$

$$\therefore \bar{Q} = \frac{K.(x_2^2 - x_1^2)}{A.R.2.(x_2 - x_1)}$$

Onde:

$x_2 = x_{\text{máx}}$: início de curso do êmbolo com a máxima compressão da mola;

$x_1 = x_{\text{min}}$: fim de curso do êmbolo com a mínima compressão da mola.

Sendo $x_{\max}$ e $x_{\min}$ constantes e dependentes da geometria da seringa e da mola utilizada.

Assim, para uma dada vazão média tem-se duas variáveis a serem ajustadas: K e R. Após a determinação do K da mola ideal que será feito a seguir, será necessário apenas o ajuste da perda de carga na válvula para se obter a vazão esperada.

- **Vazão média para a alternativa com câmara a baixa pressão:**

$$P_1.V_1 = P_2.V_2$$

$$\therefore P.V = P_2.V_2$$

$$\frac{F}{A}.V = P_2.V_2 \Rightarrow F = A.P_2.\frac{V_2}{V} = A.P_2.\frac{V_2}{A.x} = P_2.\frac{V_2}{x}$$

$$P = R.Q \Rightarrow Q = \frac{P}{R} = \frac{F.A}{R}$$

$$\therefore Q = \frac{P_2.V_2.A}{R}.\frac{1}{x}$$

$$\bar{Q} = \frac{\int_{x_1}^{x_2} Q dx}{\int_{x_1}^{x_2} dx} = \frac{\frac{P_2.V_2.A}{R} \int_{x_1}^{x_2} \frac{1}{x} dx}{x_2 - x_1} = \frac{P_2.V_2.A(\ln x_2 - \ln x_1)}{R.(x_2 - x_1)}$$

$$\therefore \bar{Q} = \frac{P_2.A^2.x_2}{R.(x_2 - x_1)}.\ln \frac{x_2}{x_1}$$

Onde:

$x_2 = x_{\max}$: início de curso do êmbolo com a mínima pressão dentro da seringa propulsora;

$x_1 = x_{\min}$: fim de curso do êmbolo com a máxima pressão dentro da seringa propulsora (próxima à pressão ambiente);

Sendo $x_{\max}$ e $x_{\min}$ constantes e dependentes da geometria da seringa de reservatório e seringa propulsora utilizadas.

Assim, para uma dada vazão média tem-se duas variáveis a serem ajustadas: P_2 e R. Após a determinação do P_2 da seringa propulsora que já foi determinada em

$P_2 = -95,54 \text{ kPa}$ (manométrica), será necessário apenas o ajuste da perda de carga na válvula para se obter a vazão esperada.

4.3.1 Simulação

Até este instante já foi desenvolvida uma fórmula para determinar a vazão média da bomba de infusão, mecanismos a serem utilizadas e questões relativas ao arranjo geral. Porém, para se obter uma dada vazão média, que perda de carga deve ser imposta?

Para responder a essa pergunta e concretizar a viabilidade do projeto, será utilizado uma simulação de bombeamento utilizando o software Excel e as fórmulas já desenvolvidas para a vazão média.

Nesta simulação, o período de bombeamento será dividido, arbitrariamente, em 24 intervalos de deslocamento (ou tempo). Os deslocamentos mínimo e máximo são imposto pelo curso de deslocamento do êmbolo da seringa e tendo 24 intervalos, cada um dos deslocamentos parciais fica automaticamente determinado. Sendo $x_{\min} = 47 \text{ mm}$ e $x_{\max} = 117 \text{ mm}$, já determinados no item “Bombeamento”.

Impondo também a constante equivalente do conjunto elástico em $k = 170,8 \text{ N/m}$ ($4 \times 42,7 \text{ N/m}$), é possível calcular o fluxo para cada instante e o fluxo médio. Vale lembrar que a bomba de infusão utilizará quatro molas iguais em paralelo, assim, a constante elástica equivalente do conjunto elástico é a soma da constante elástica de cada uma das molas.

Considera-se o fato de que a força de infusão e a vazão variam linearmente com o deslocamento.

Baseado na fórmula desenvolvida para a vazão média e nas curvas esperadas de desempenho do equipamento, utiliza-se um método iterativo de simulação para determinação dos parâmetros ótimos, tais como K da mola e coeficiente de perda de carga para cada vazão média. O uso da simulação também é importante para verificação da fórmula desenvolvida. Utilizando o software Microsoft Excel, obtém-se o gráfico da figura a seguir:

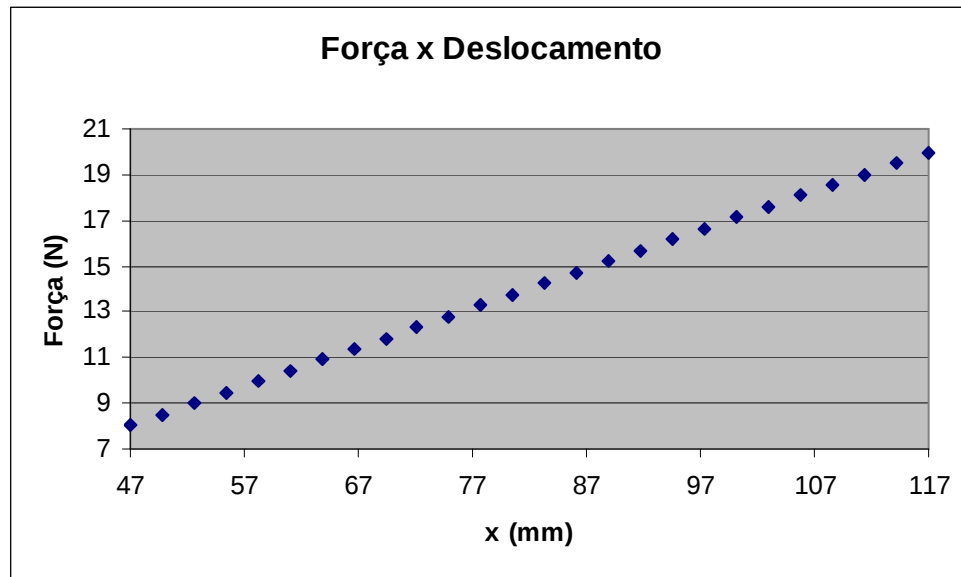


Fig. 23: Força da mola pela compressão da mesma [17]..

Por meio desse gráfico é possível observar que o fluxo médio irá variar de 3,69 a 5,84 ml/h, o que implica em uma média de 5 ml/h. Resultado obtido, também do software Excel.

Assim, esta simulação do funcionamento do equipamento demonstra ser possível utilizar uma válvula reguladora de fluxo não-compensada. Na prática utilizar-se-á uma mola com constante de rigidez e comprimentos próximo ao especificado e a perda de carga na válvula deve ser ajustada até obter-se o regime de funcionamento conforme o simulado.

Para o sistema de contra-fluxo, são utilizadas, normalmente, válvulas direcionais externas a bomba de infusão e no caso do presente projeto esta também mostra ser a melhor alternativa.

Uma seringa padrão de 20 ml possui um curso total de cerca de 60 mm, assim a cada três milímetros de avanço é injetado 1 ml, ou seja, uma razão de 3 mm/ml. No tratamento da anemia falciforme nos piores casos a infusão é cerca de 20 ml em 12 horas, assim será 0,0833 mm/min o menor avanço do êmbolo.

Pela simulação a constante elástica da mola determinada de 170,5 N/m mostrou-se viável.

Simulação semelhante à apresentada aqui também foi realizada para a alternativa com câmara à baixa pressão. E a pressão $P_2 = -95,54$ kPa (manométrica) já determinada no item “bombeamento” também mostrou-se viável.

4.4 Mecanismos

Para o filtro de ar será utilizado um filtro de ar comercial como o que é utilizado na bomba de infusão “Eclipse”.

Para o sistema de “liga/desliga”, serão utilizados duas travas, uma na mangueira de infusão e outra no êmbolo da seringa, assim, o paciente poderá manter a seringa travada enquanto prepara a mangueira e a agulha e durante a infusão, poderá interromper o fluxo por meio de uma trava na mangueira.

4.4.1 Sistemas de travas para interromper a infusão

O sistema de travas possui a finalidade de interromper a infusão por qualquer motivo e a qualquer instante. É composto por duas travas, a primeira que atua diretamente no êmbolo da seringa e a segunda que atua na mangueira de infusão.

Na segunda trava pode ser utilizada uma válvula de infusão comercial para mangueiras de infusão que pode ser adquirida em farmácias especializadas. Um esquema simplificado deste tipo de válvula pode ser visualizado na figura a seguir:

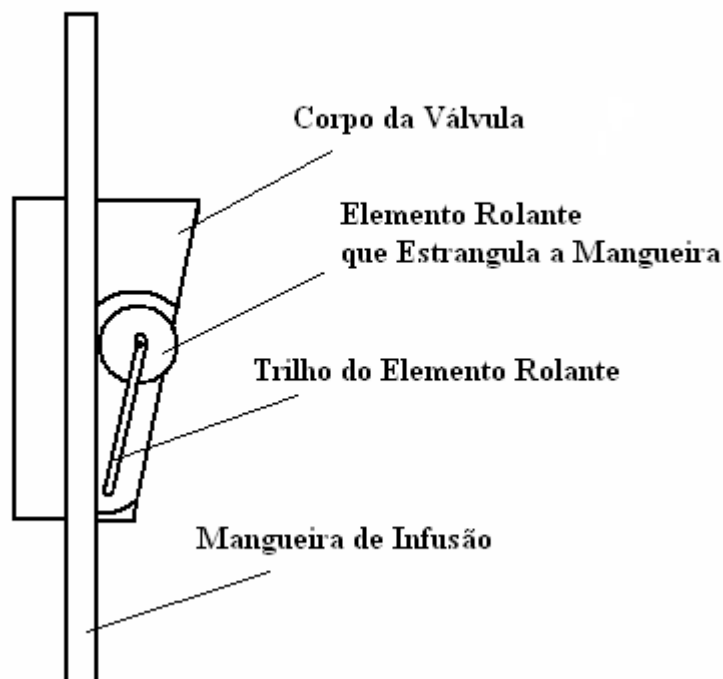


Fig. 24: Esquema simplificado da válvula de infusão.

A primeira servirá para travar o êmbolo da seringa e esta trava será utilizada durante o preparo do equipamento para a infusão. Esta trava deverá agir diretamente no êmbolo da seringa e propõem-se três alternativas que estão ilustradas nos subitens a seguir.

4.4.1.1 Alternativa A para Trava

Nesta alternativa, utilize-se uma sapata de borracha que será pressionada contra as hastes do êmbolo e por atrito impedirá seu deslocamento.

A figura a seguir ilustra esta alternativa:

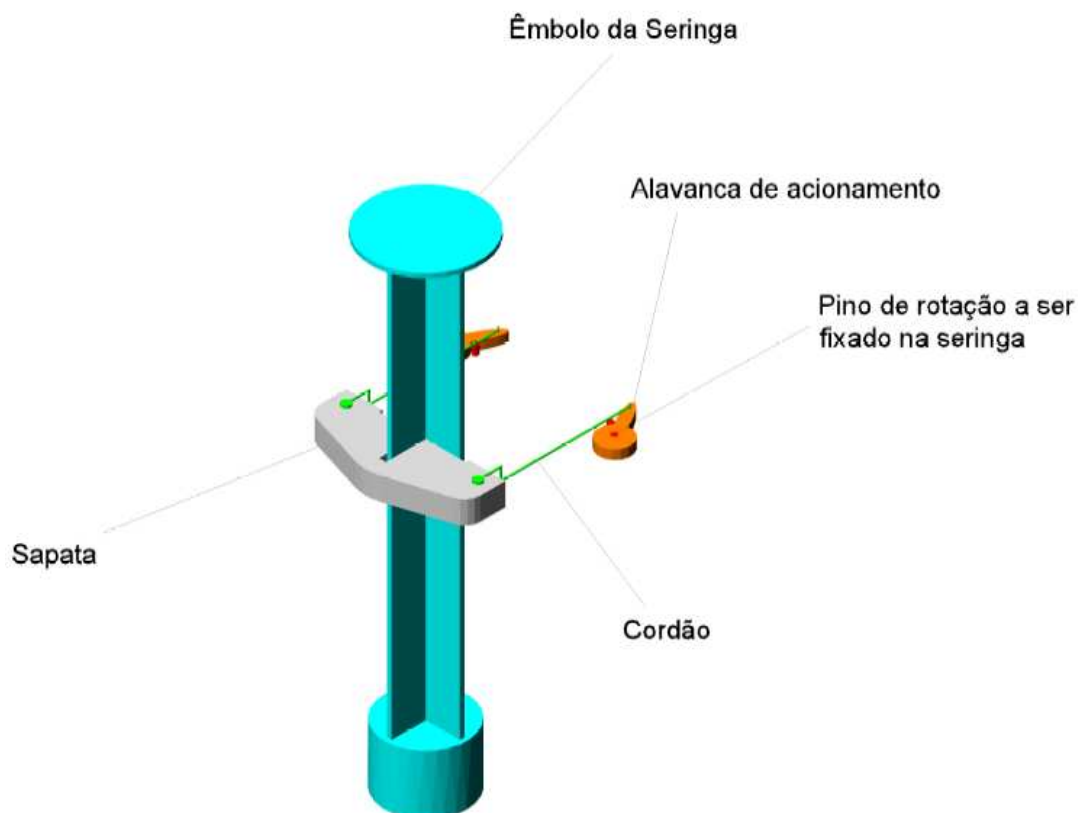


Fig. 25: Alternativa A para o sistema de trava do êmbolo.

Nesta alternativa, os pinos serão presos ao corpo da Seringa e quando fechados (caso representado na figura) a sapata é pressionada contra as hastes do êmbolo e quando abertos, a sapata se afasta das hastes do êmbolo da seringa.

Esta trava possui a vantagem de poder ser acionada a qualquer instante, ou seja, é uma trava contínua. Mas possui as desvantagens de ser difícil garantir que o êmbolo não se deslocará, por exemplo, no caso de estar oleoso, e quando aberta, sendo os cordões flexíveis, a sapata será uma peça que ficará solta e pode incomodar o paciente ou a peça pode ser danificada.

4.4.1.2 Alternativa B para Trava

Uma segunda alternativa para o sistema de trava esta apresentada na figura a seguir:

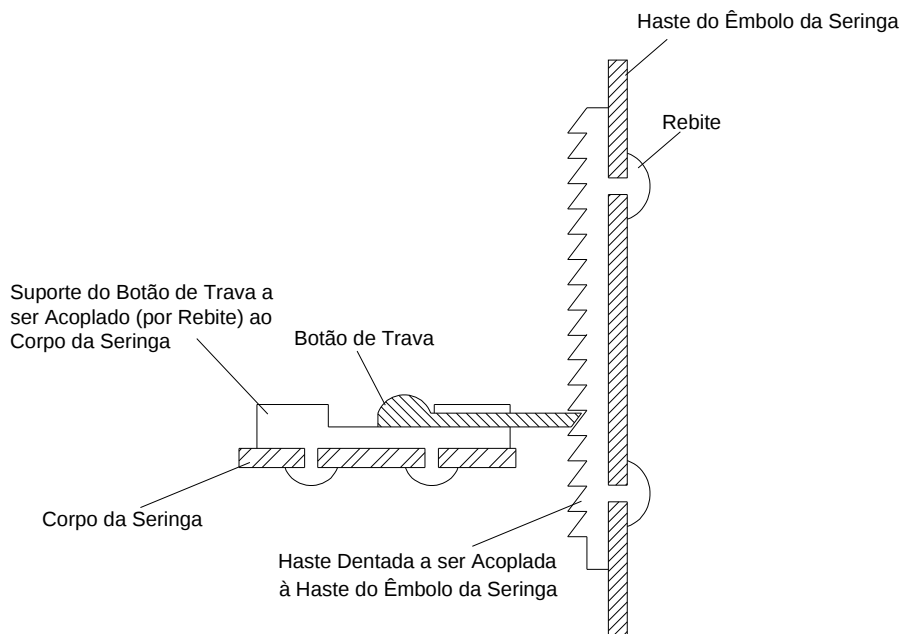


Fig. 26: Alternativa B para o sistema de trava do êmbolo.

Nesta alternativa, uma haste dentada deve ser fixada a uma das hastes do êmbolo da seringa. Um botão ligado ao corpo da seringa, ao deslizar, irá, por meio de um dos dentes da haste dentada, impedir a progressão do êmbolo da seringa. Este botão será pressionado pela guia que o contém e por atrito impedirá que o botão se movimente por acidente, apenas ao comando do paciente.

Esta alternativa possui a vantagem de garantir que o êmbolo não irá se deslocar enquanto a trava estiver acionada e é mais fácil de manusear pelo paciente, quando comparado à alternativa anterior. Possui a desvantagem de não ser contínua ao acionamento do botão, ou seja, o êmbolo ainda irá se movimentar um pouco até

um dos dentes atingir o botão e no momento da preparação poderá vazar um pouco de medicamento. Porém, no momento de preparação, para eliminar o ar dentro das vias de infusão, um pouco de medicamento sempre é desperdiçado, assim, essa descontinuidade é aceitável e utilizando uma grande quantidade de dentes por unidade de comprimento, essa descontinuidade pode ser considerada desprezível.

4.4.1.3 Alternativa C para a trava

Uma terceira alternativa é apresentada na figura a seguir:

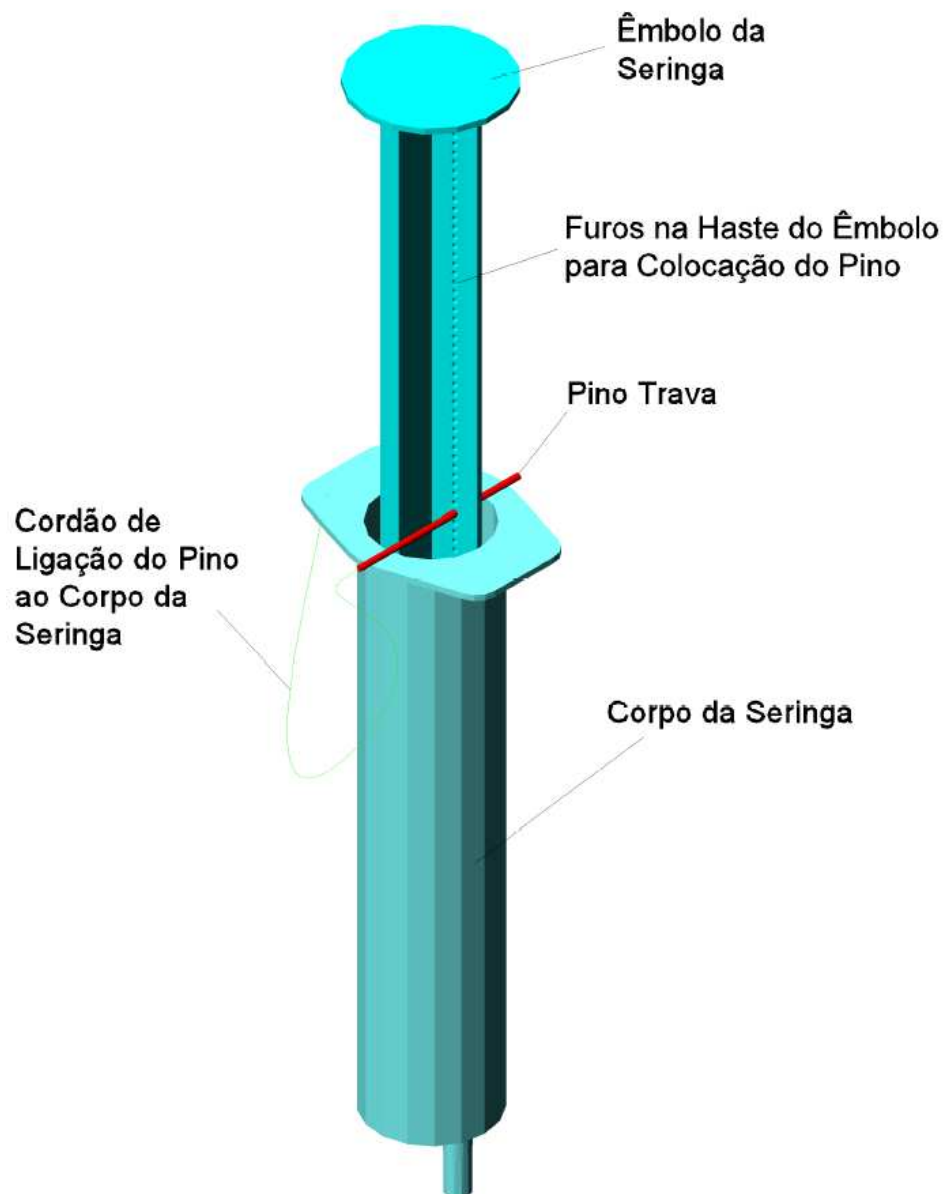


Fig. 27: Alternativa C para o sistema de trava do êmbolo.

Nesta alternativa, são feitos diversos furos em linha em uma das hastes do êmbolo. Um pino é colocado em um dos furos, apóia sobre o corpo da seringa e impede o avanço do êmbolo da seringa.

Esta alternativa possui as vantagens de ser de simples fabricação e garantir que o êmbolo não avance enquanto a trava estiver acionada. Mas tem como desvantagem o fato de possuir descontinuidade que não pode ser muito reduzida por questões físicas, pois um furo não pode se aproximar muito do outro. Além disso, estes furos geram concentrações de tensões que precisam ser averiguadas. Outra desvantagem é o difícil manuseio.

A escolha da melhor trava somente pode ser feita após o estudo de proteção para êmbolo que é feito no item a seguir.

4.4.2 Proteção para o êmbolo

É imprescindível que a bomba de infusão contemple uma proteção para o êmbolo, pois se obstruído, poderá impedir o funcionamento adequado do equipamento e a infusão não será feita de forma correta. Porém, é importante que a proteção não impeça o uso da trava para o êmbolo, assim, desenvolveu-se uma alternativa de proteção para o êmbolo para cada uma das alternativas de travas descritas anteriormente e essas alternativas são apresentadas a seguir.

4.4.2.1 Alternativa A para a proteção do êmbolo

Esta alternativa de proteção para o êmbolo é compatível com a trava A. Nesta alternativa, a proteção é um copo plástico que possui dois encaixes rápidos que se prendem ao corpo da seringa e entre a proteção e o corpo da seringa fica um vão suficiente para a colocação dos pinos e da sapata (trava alternativa A).

Uma ilustração desta alternativa pode ser visualizada na figura a seguir:

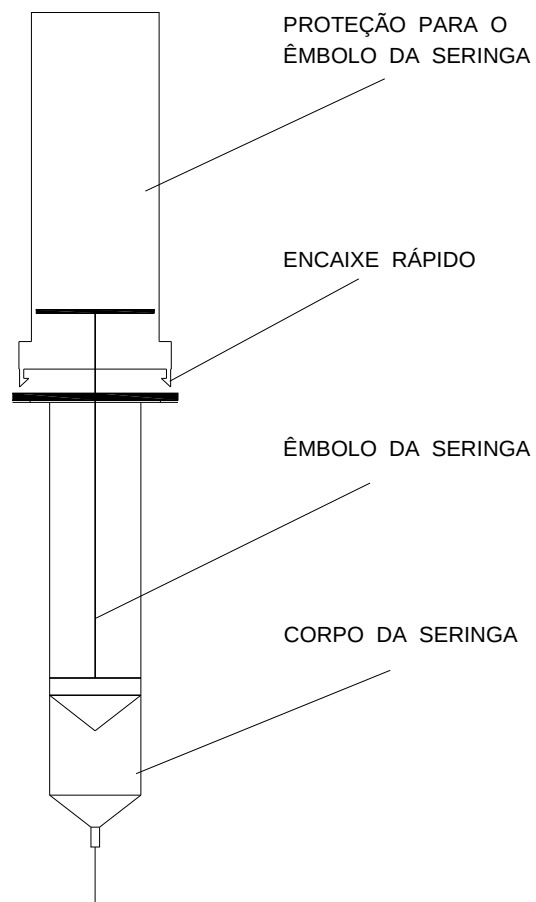


Fig. 28: Alternativa A para o sistema de proteção do êmbolo.

Esta alternativa possui a vantagem da rápida montagem “proteção + corpo da seringa”, porém como desvantagens existe o fato de uma possível quebra do encaixe rápido por fadiga após um certo tempo de uso e possui difícil manuseio.

4.4.2.2 Alternativa B para a proteção do êmbolo

Nesta alternativa, um cilindro roscado externamente deve ser fixado ao corpo da seringa e sobre ele será roscado a proteção para o êmbolo que é uma espécie de copo plástico e transparente com rosca interna em sua parte inferior.

No cilindro a ser fixado no corpo da Seringa, existe um trecho sem rosca no qual há um espaço para a acomodação do botão da trava que é utilizado na trava alternativa B.

Uma ilustração desta proteção pode ser vista na figura a seguir:

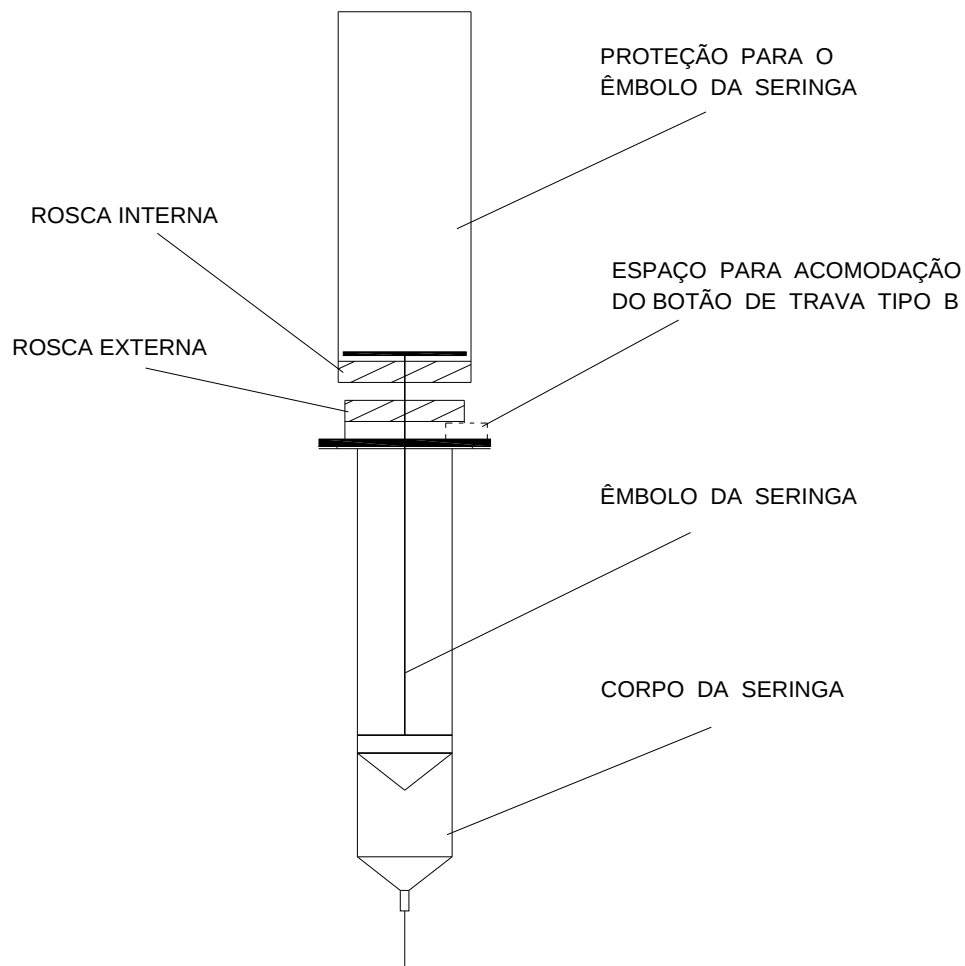


Fig. 29: Alternativa B para o sistema de proteção do êmbolo.

Esta alternativa possui a vantagem do elemento roscado possuir manuseio simplificado e maior durabilidade. A desvantagem é uma maior complexidade de fabricação, mas que não a torna inviável.

4.4.2.3 Alternativa C para a proteção do êmbolo

Esta alternativa é semelhante à anterior, porém adaptada à trava alternativa C. Uma ilustração pode ser visualizada na figura a seguir:

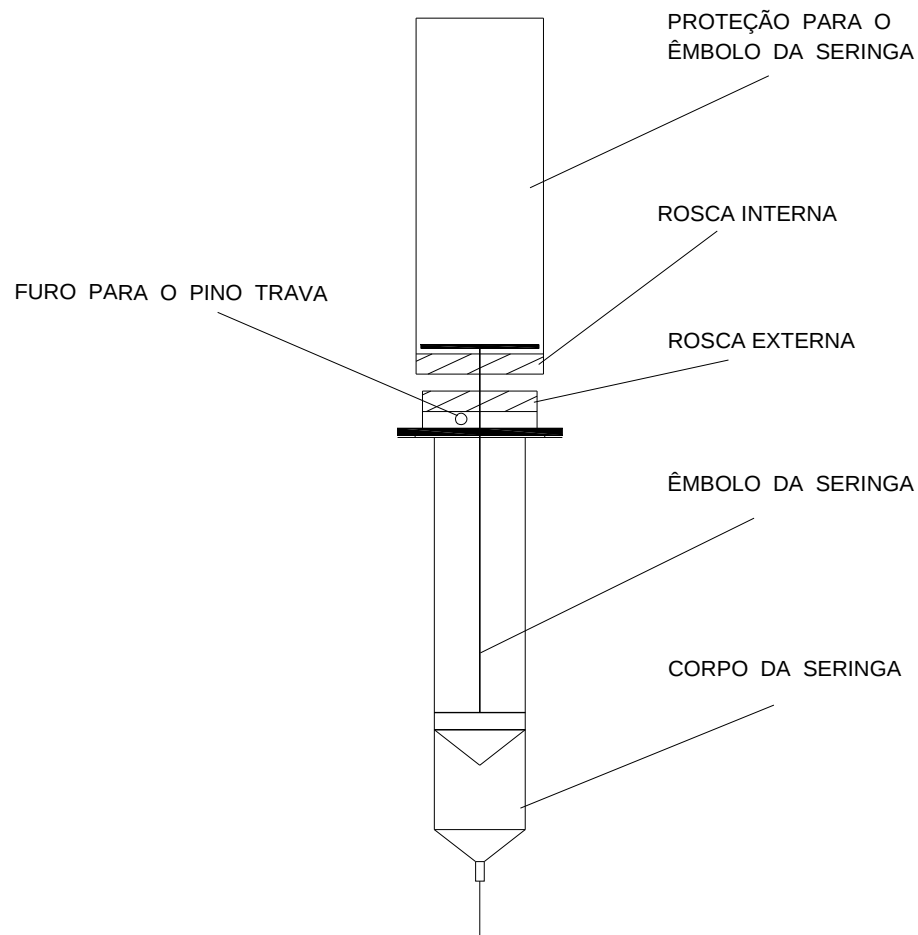


Fig. 30: Alternativa C para o sistema de proteção do êmbolo.

As vantagens e desvantagens desta alternativa também são as mesmas da alternativa anterior.

Analisando as vantagens e desvantagens tanto do sistema de trava do êmbolo da seringa quanto do sistema de proteção, conclui-se que a melhor alternativa para trava e proteção é a alternativa B.

Assim, será utilizada a trava que possui a haste dentada e o botão preso ao corpo da seringa.

Para a proteção será utilizado um copo roscado que é compatível à trava e descrita, também, como alternativa B.

4.5 Arranjo Geral

No arranjo geral da bomba de infusão, pretende-se inicialmente fazer uma capa transparente cilíndrica para proteger e assegurar o deslocamento do êmbolo. Em seguida projetar-se-á um suporte ou cinto para prender a seringa à cintura do paciente.

4.6 Protótipo

Após a escolha da melhor alternativa, iniciou-se o projeto da bomba de infusão e utilizando o software AutoCAD, um desenho do protótipo com todas as dimensões definidas foi gerado e o projeto do protótipo está pronto para a sua fabricação, uma vez que as características das molas e da válvula reguladora de fluxo já foram determinadas.

A figura a seguir ilustra o projeto do protótipo final que utiliza o conjunto de molas helicoidais:

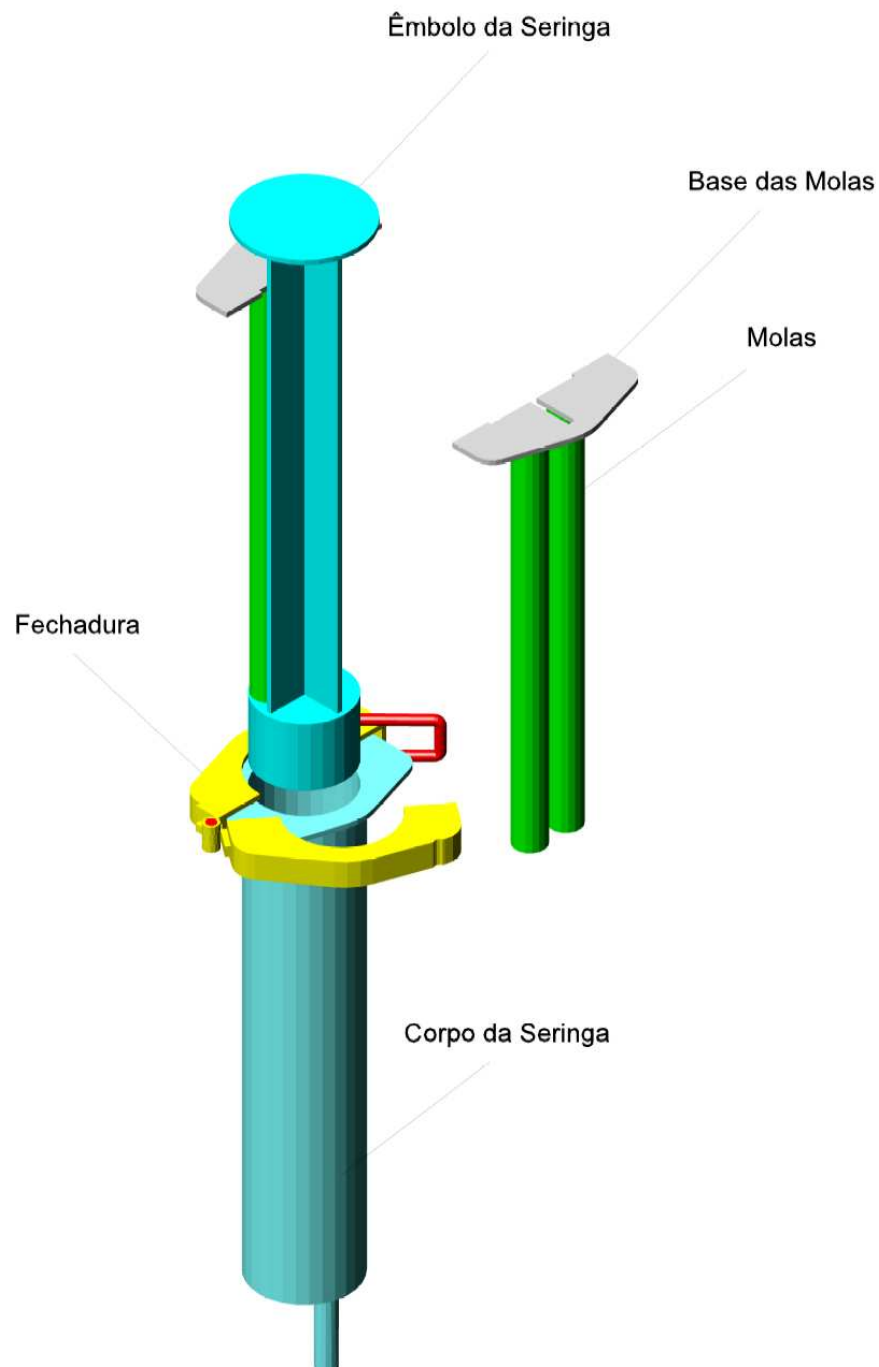


Fig. 31: Projeto 3D da solução que utiliza molas helicoidais.

Neste protótipo utiliza-se uma seringa de plástico comercial padrão de 20ml, descartável. Na figura é possível ver a bomba infusora desmontada. Para a montagem, as molas juntamente com a base superior, são aproximadas do êmbolo da haste, então as molas junto com o êmbolo são inseridas no corpo da seringa e a fechadura é fechada para manter a base superior das molas junto ao corpo da seringa.

Assim, quando o êmbolo é puxado, as molas são comprimidas e empurram o êmbolo novamente para a posição fechada.

A figura anterior não contempla a trava do êmbolo nem sua proteção, pois para um primeiro protótipo de testes estes sistemas não seriam necessários e o uso das travas requer certa adaptação, como a retirada de uma das molas, o que somente pode ser feito após testes experimentais. Estes sistemas são sim, necessários quando a bomba de infusão estiver em sua configuração final, pronta para ser comercializada.

No anexo 7.2, pode ser visto um desenho de conjunto do protótipo mais detalhado e em escala 1:1.

A fabricação do protótipo é feita apenas utilizando-se máquinas de usinagem manuais.

Serão necessárias as seguintes matérias-primas para a fabricação do protótipo:

- Seringas de 20 ml e 10 ml, de plástico descartáveis;
- 40 mm de arame de aço com diâmetro de 2 mm;
- Cubo de alumínio com aresta de 70 mm;
- 4 molas helicoidais com comprimento de 82 mm, diâmetro externo de 6,2 mm e constante elástica de 170,5 N/m.

Faz-se necessário o uso dos seguintes equipamentos, ferramentas e instrumentos de mediada:

- Torno mecânico;
- Fresadora universal;
- Furadeira de bancada;
- Arco de serra;
- Lima;
- Bancada com morsa;
- Brocas com diâmetros de 20 e 2mm;
- Paquímetro quadridimensional, com precisão mínima de 0,2 mm;
- Fresas de topo com diâmetros de 10 e 3 mm;
- Pistola e insumo para cola quente.

4.7 Testes

Com a finalidade de realização de testes foi construído, inicialmente, o protótipo que utiliza um conjunto de molas e é mostrado abaixo:



Fig. 32: Protótipo da alternativa que utiliza molas helicoidais.

Também foi fabricada a alternativa que utiliza a câmara de baixa pressão, como pode ser visto na figura a seguir:

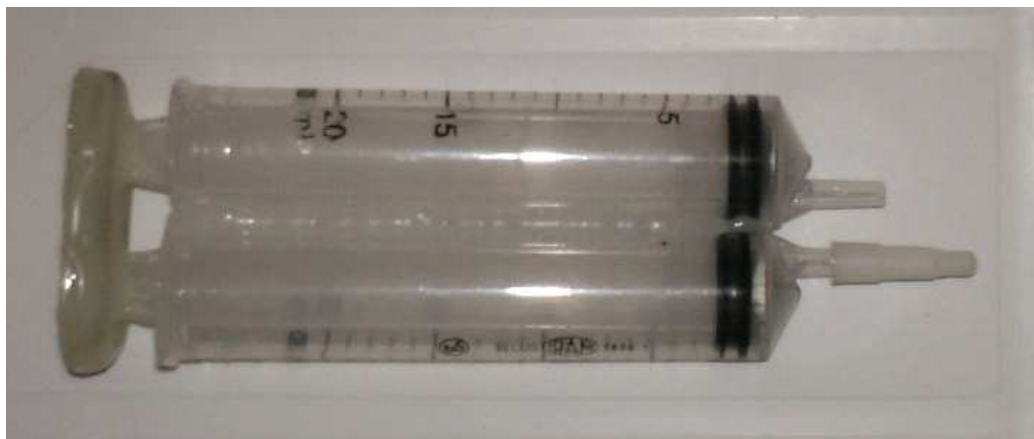


Fig. 33: Protótipo da alternativa com câmara de baixa pressão.

Então, montou-se o aparato a seguir para a realização dos testes em ambas as alternativas como pode ser visto nas figuras a seguir:



Fig. 34: Realização dos testes com a primeira alternativa.

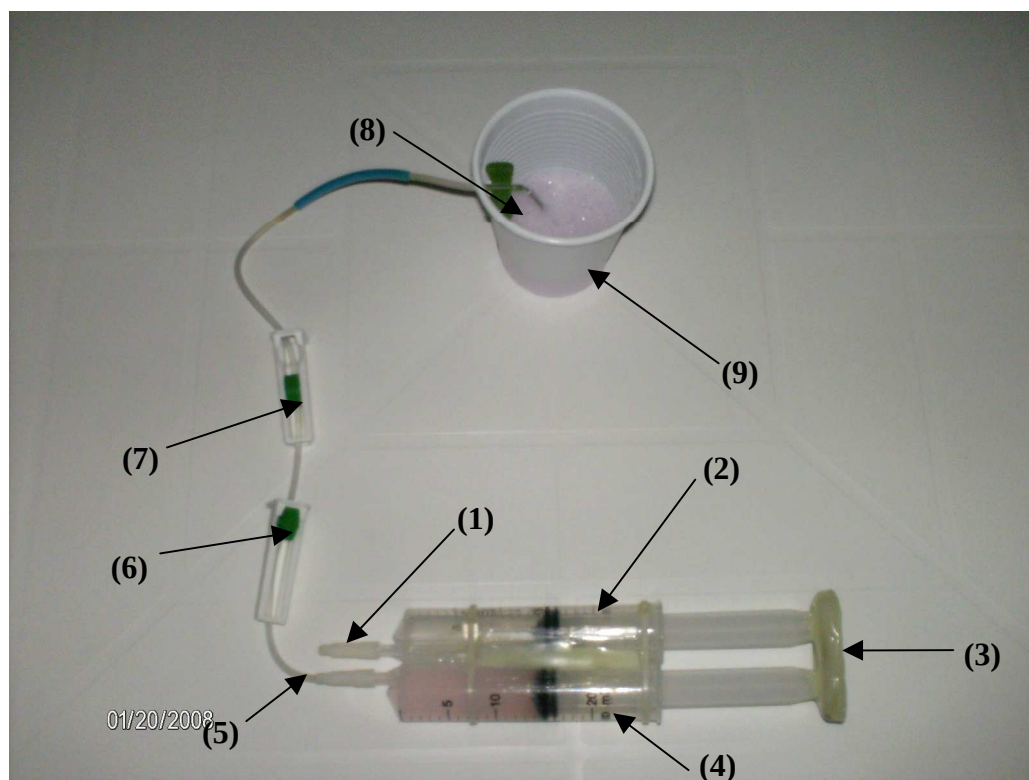


Fig. 35: Aparato experimental para a realização dos testes.

Onde:

- (1): Selo da Seringa Propulsora;
- (2): Seringa Propulsora que trabalha à baixa pressão;
- (3): Junção entre os êmbolos;
- (4): Seringa que contém o medicamento (representado pelo líquido rosa);
- (5): Escalp (mangueira que une a seringa à agulha);
- (6): Primeira válvula com função “ON/OFF” (na figura está aberta);
- (7): Segunda válvula que ajusta a taxa de infusão (na figura está ajustada para 5 ml/h);
- (8): Borboleta plástica e agulha que é inserida no paciente;
- (9): Reservatório que guarda o líquido bombeado (a espuma indica a movimentação do líquido).

Como resultado dos testes, a primeira alternativa que utiliza molas helicoidais, não apresentou um bom desenho e para cada um dos testes o equipamento apresentou grandes variações em torno do regime de funcionamento esperado e a variação estava acima do que é permitido para este tipo de equipamento.

Esta grande variação do regime de funcionamento é devida à distorção da mola helicoidal sobre compressão e na figura a seguir é possível visualizar esse fenômeno:

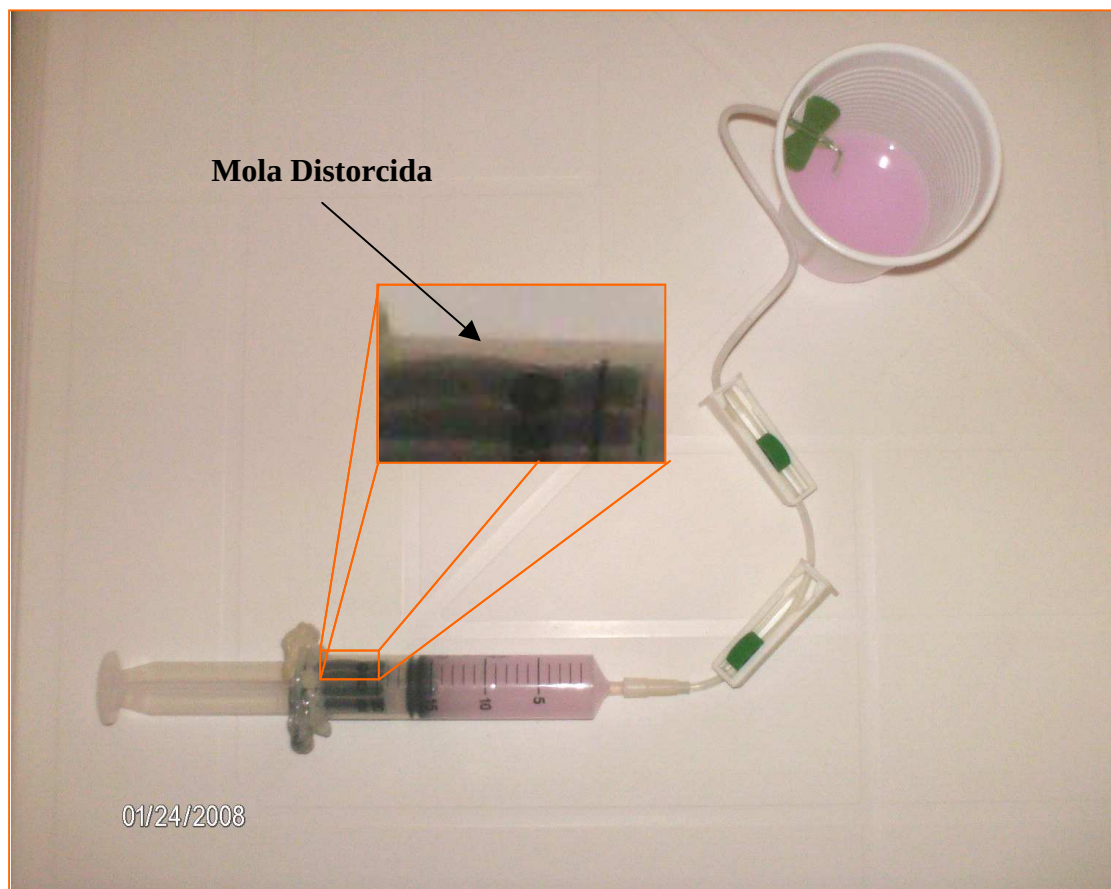


Fig. 36: Variação na geometria da mola.

Porém a alternativa que utiliza a câmara de baixa pressão apresentou excelentes resultados, com variação no regime de funcionamento abaixo de 10%, o que é considerado aceitável.

Sendo esta a melhor alternativa, estudaram-se algumas configurações que são mostradas nas figuras a seguir:



Fig. 37: Configuração que utiliza duas seringas de 20 ml.

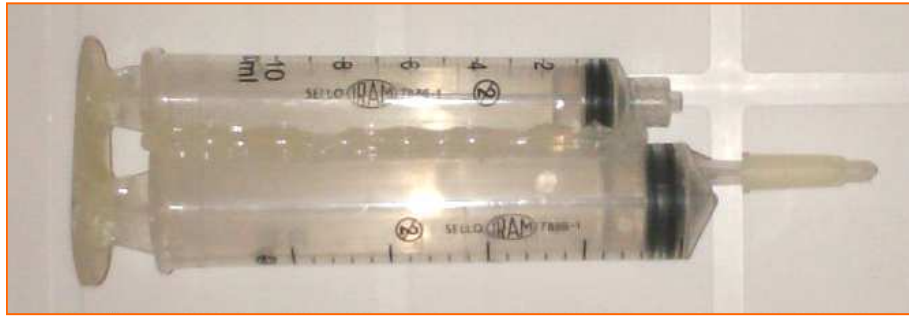


Fig. 38: Configuração que utiliza uma seringa de 20 ml como propulsora e outra de 10 ml como reservatório.



Fig. 39: Configuração que utiliza duas seringas de 10 ml.



Fig. 40: Configuração que utiliza duas seringas de 20 ml como propulsora e uma seringa de 10 ml como reservatório.

Os testes em cada uma das configurações mostraram que a configuração que possui maior precisão é a última que é constituída por três seringas. Porém esta alternativa possui manuseio mais complexo, não sendo, portanto, a melhor opção.

A melhor configuração é a que utiliza uma seringa de 20 ml como propulsora e uma de 10 ml como reservatório, pois possui boa precisão, abaixo dos 8%, e possui manuseio simplificado.

A tabela de custos do protótipo final é apresentada abaixo:

Item	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)
Seringa de 20 ml	1	0,52	0,52
Seringa de 10 ml	1	0,50	0,50
Basta de cola quente	1	0,60	0,60
Scalp 21	1	1,00	1,00
Equipo para soro	2	1,00	2,00
Total			4,62

Tab. 14:Tabela de custo final do protótipo.

Portanto, foi possível a fabricação de uma bomba de infusão com apenas R\$ 4,62 e o protótipo utilizou apenas insumos descartáveis o que indica a possibilidade de fazer uma bomba de infusão descartável, o que aumentaria a segurança do paciente contra contaminações.

5 RESULTADOS

Por meio do Estudo de Viabilidade e início do Projeto Básico, verificou-se a viabilidade de se fabricar a bomba de infusão em território nacional, pois é possível fabricá-la por um preço muito menor que as bombas infusoras importadas a um nível tecnológico semelhante.

O projeto aqui desenvolvido apresenta vantagens tecnológicas em relação as atuais bombas de infusão, vantagens tais como a redução do custo, facilidade de fabricação e manutenção.

A solução apresentada é inovadora, utiliza uma seringa propulsora operando com pressão interior inferior à pressão ambiente e uma válvula reguladora de fluxo para fazer a infusão sem o uso de um motor de passo ou baterias. A solução apresentada e desenvolvida possui vantagens sobre as atuais bombas de infusão pelo

seu custo, fácil manutenção e confiabilidade. Além de poder ser facilmente fabricada em território nacional.

Este trabalho atingiu dois grandes resultados, o primeiro que mostra que é possível substituir as atuais bombas de infusão importadas que chegam a custar mais de R\$ 2.000,00 aqui no Brasil por uma bomba infusora nacional com custo inferior a R\$ 5,00. O outro grande resultado é que a idéia inovadora de tornar esse tipo de equipamento descartável, o que, além da redução no custo, apresenta maior segurança ao paciente relativamente à contaminação.

6 DISCUSSÃO

Como este mercado consumidor de bombas de infusão ainda está muito pouco desenvolvido no Brasil, uma empresa que investisse nesse setor teria grandes chances de sucesso e o equipamento apresentado aqui sendo produzido em larga escala poderia chegar ao consumidor com preço final de R\$ 3,00. Assim, após o desenvolvimento técnico do projeto, é possível planejar a criação de uma empresa que por meio de parcerias como o CIETEC possa concretizar a primeira bomba de infusão para quelação de ferro fabricada em território nacional.

Além dos aspectos técnicos, o assunto abordado neste trabalho envolve uma problemática social muito interessante que é a questão dos pacientes com anemia falciforme, que por falta de orientação, muitos possuem a doença e não sabem. Assim, este projeto pode servir também como mais um pretexto para novas campanhas de esclarecimento da população em relação à Anemia Falciforme o que, tanto no diagnóstico precoce quanto no tratamento, aponta para uma possível melhora na qualidade de vida de milhares de brasileiros que possuem a Anemia Falciforme.

7 CONCLUSÕES

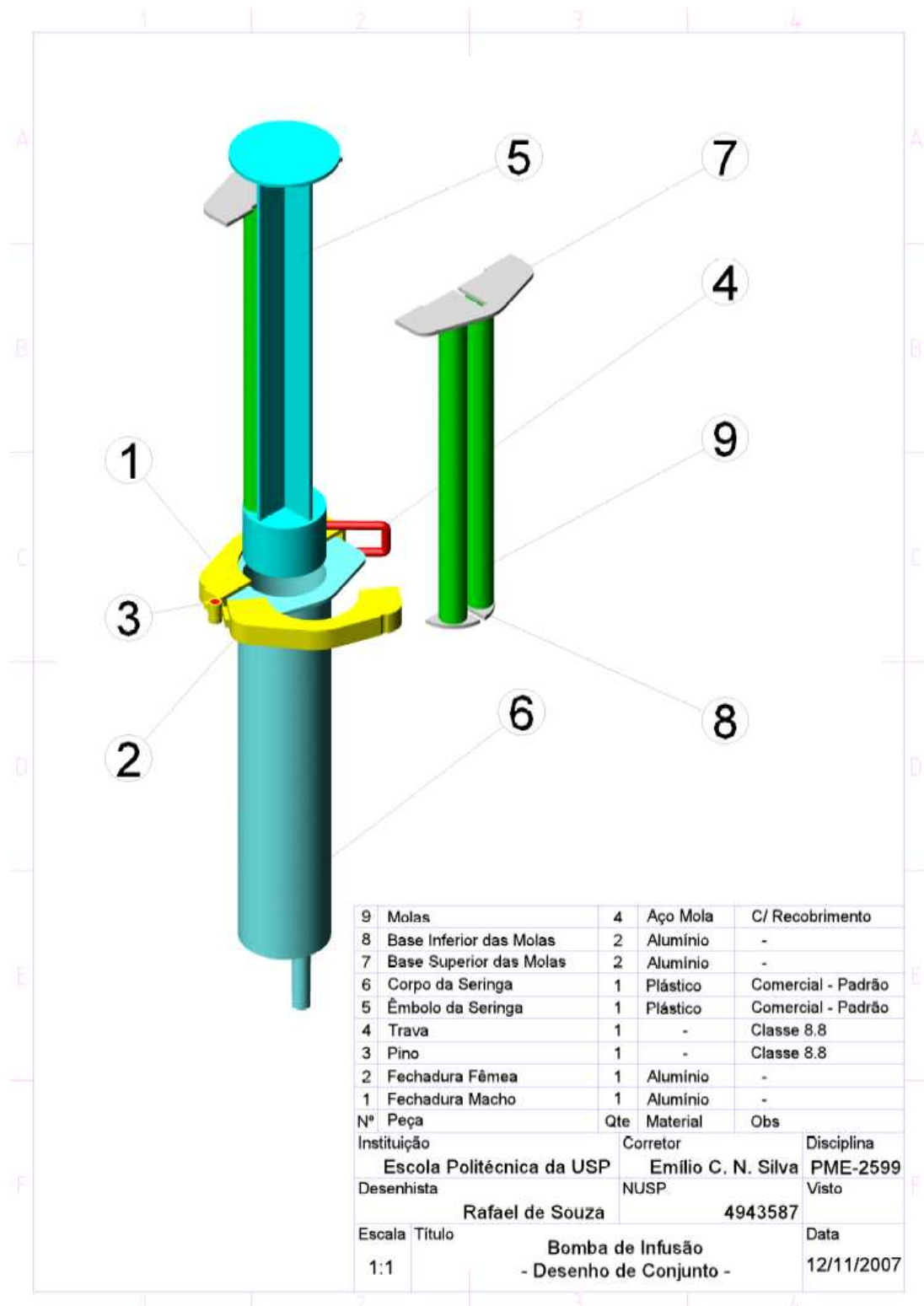
Ao término deste trabalho, os objetivos iniciais foram atingidos e chegou-se a uma solução inovadora e que atende as necessidades do paciente brasileiro com anemia falciforme

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Berenice A. Kikuchi, Anemia Falciforme – Manual para trabalhadores da saúde e educadores nas Américas
- [2] Sims Deltec: <http://www.deltec.com>, acessado em 09/03/2007
- [3] Graseby Medical Limited: <http://www.graseby.co.uk>, acessado em 12/03/2007
- [4] Medis: <http://www.medis.it>, acessado em 15/03/2007
- [5] Newscale: <http://www.newscaletech.com>, acessado em 18/03/2007
- [6] Shigley, Joseph Edward – Elementos de máquinas
- [7] Provenza, Francesco – Projetista de máquinas
- [8] Kaminski, Paulo Carlos – Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade
- [9] AAFESP – Vídeo: Os Objetivos do Desenvolvimento do Milênio Sem Racismo, 2006
- [10] AAFESP – Vídeo 4: Manejo da Bomba de Infusão para quelação de ferro, 2006
- [11] AAFESP – Anemia Falciforme
- [12] Site de Eng. Elétrica: http://www.mrshp.hpg.ig.com.br/rob/m_passo.htm acessado em 12/05/2007
- [13] Site de fornecedores: <http://www.globalspec.com> acessado em 13/05/2007
- [14] Site do Ministério da saúde: <http://www.saude.gov.br> acessado em 05/03/2007.
- [15] Iflow Corporation: www.iflo.com, acessado em 05/08/2007
- [16] BMR Medical: www.bmrmedical.com.br, acessado em 15/08/2007
- [17] CPH Automação: www.cphautomacao.com.br, acessado em 20/08/2007
- [18] ARTOBOLEVSKI, Ivan I. – Mechanism Modern Engineering Design. Moscou: MIR, 1980

9 ANEXOS

9.1 Desenho de Conjunto



10.2 Cerimônia de entrega de bombas de Infusão no Brasil em 19/11/2005

Texto extraído do site:

http://intranet.hemominas.mg.gov.br/noticia_bombainfusao.htm

Ministério da Saúde Faz Entrega de Bombas de Infusão.



A Fundação Hemominas recebeu do Ministério da Saúde neste sábado, dia 19, 50 micro-bombas de infusão em solenidade com a presença do Ministro da Saúde Antônio Saraiva Felipe, a Presidente da Fundação Hemominas, Anna Bárbara Proietti, e do representante dos pacientes de anemia falciforme, João Batista Conceição de Paula. Para Anna Bárbara, ‘as bombas, somadas às já disponibilizadas pela Secretaria de Estado da Saúde em 2003, trarão melhores condições para o tratamento domiciliar e conforto para o paciente “. A Fundação Hemominas é a referência, no estado de Minas Gerais, no atendimento pelo SUS – Sistema Único de Saúde - aos pacientes de hemoglobinopatias como a anemia falciforme”.

Segundo o Ministro Antônio Saraiva Felipe, foram importadas da Itália, pelo Ministério da Saúde, 500 micro-bombas de infusão, ao custo de 6, 4 milhões de reais, que estão sendo distribuídas para os hemocentros públicos brasileiros. Para ele “as bombas vão ajudar na média de sobrevivência dos pacientes”. O Ministério da Saúde instituiu a Portaria nº 1.391, de 16 de agosto de 2005 no âmbito do Sistema Único de Saúde, as diretrizes para a Política Nacional de Atenção Integral às Pessoas com Doença Falciforme e outras Hemoglobinopatias. Para Coordenadora de Política Nacional de Sangue do Ministério da Saúde, Eliana Cardoso Vieira, “a portaria sobre a anemia falciforme está coordenando as políticas federais, estadual e municipal uniformizando estas políticas de apoio ao paciente de anemia falciforme”.

A anemia falciforme, ou drepanocitose é uma doença hereditária que atinge principalmente as pessoas negras e seus descendentes. Por causa das constantes transfusões de sangue ao longo da vida, alguns pacientes drepanocíticos apresentam

excesso de ferro no organismo que podem atingir órgãos como coração, pulmões e fígado, comprometendo seu funcionamento. Quando a quantidade de ferro atinge níveis considerados altos, é preciso eliminar o excesso, num processo chamado quelação. As bombas de infusão auxiliam nesse processo, podendo o paciente fazê-lo à noite em sua própria casa.

Para João Batista, portador de anemia falciforme e representante dos pacientes da Fundação Hemominas, “a entrega das bombas vai ajudar muito aqueles pacientes que precisam fazer o processo de hipertransfusão de 15 em 15 dias. Eliane Santos, também portadora de anemia falciforme, ressalta que” muitos pacientes não têm condições de adquirir as bombas “, o que se torna um problema para os portadores da deficiência genética”.

Angelita Pires é mãe de um menino, de 5 anos, portador de anemia falciforme, segundo ela as bombas “vão ser importantes para o atendimento futuro de pacientes”.

Por meio de um protocolo entre a instituição e o paciente, a Fundação Hemominas cede o aparelho e orienta o paciente sobre o seu uso. Hoje a Fundação atende cerca de 3.000 portadores de doença falciforme em todo o estado de Minas Gerais.