



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA

DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO

LICENCIATURA EM COMPUTAÇÃO

JOSÉ IZAAC LEITE DE AMORIM

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO:
SISTEMA DE ACIONAMENTO PARA BOMBA DE
INFUSÃO SERINGA**

CAMPINA GRANDE – PB

2014

Desenvolvimento de Protótipo:
Sistema de Acionamento para Bomba de Infusão
Seringa

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, como um dos requisitos para a obtenção do título de Licenciatura em Computação.

Orientador: Prof. Paulo Eduardo S. Barbosa

CAMPINA GRANDE – PB

2014

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

A524d Amorim, José Izaac Leite de.

Desenvolvimento de protótipo [manuscrito] : sistema de acionamento para bomba de infusão seringa / Jose Izaac Leite de Amorim. - 2014.
34 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Computação) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2014.

"Orientação: Prof. Dr. Paulo Eduardo S. Barbosa, Departamento de Computação".

"Co-Orientação: Prof. Dr. Frederico Moreira Bublitz, Departamento de Computação".

1. Dispositivos médicos. 2. Bomba de infusão. 3. Microcontrolador. 4. Arduino. I. Título.

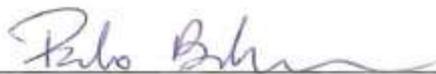
21. ed. CDD 005.3

JOSÉ IZAAC LEITE DE AMORIM

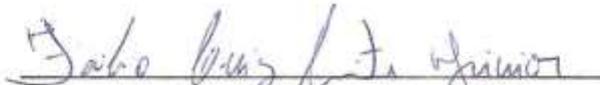
Desenvolvimento de Protótipo: Sistema de Acionamento para Bomba de Infusão Seringa

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de
Ciência da Computação da Universidade Estadual da Paraíba –
UEPB, como um dos requisitos para a obtenção do título de
Licenciatura em Computação.

Aprovada em 22/07/2014.



Prof. Dr. Paulo Eduardo S. Barbosa / UEPB
(Presidente-Orientador)



Prof. Me. Fábio Leite Júnior / UEPB
(1º Examinador)



Prof. Dr. Frederico Moreira Bublitz / UEPB
(2º Examinador)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, autor de meu destino, meu guia socorro presente na hora da angústia, ao meu pai Antônio, minha mãe Cilene, aos meus irmãos, minha noiva Ohara, a Sidney e ao professor Paulo pela paciência na orientação e incentivo que tornaram possível a conclusão deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Paulo Eduardo S. Barbosa, pelas indicações de textos, pela orientação, pelo seu grande desprendimento em ajudar-nos e amizade sincera.

Ao companheiro Sidney Aciole, pela parceria no desenvolvimento do protótipo, pela orientação da literatura e amizade sincera.

Ao Núcleo de Tecnologia e Saúde, ao Departamento de Computação da UEPB, pela orientação e material fornecido.

Ao amigo Thiago Lira e pai Antônio Lopes pelo incentivo e grande ajuda com o fornecimento de material para a realização deste trabalho.

Á todos vocês, o meu muito obrigado.

José Izaac Leite de Amorim

Desenvolvimento de Protótipo: Sistema de Acionamento para Bomba de Infusão Seringa

José Izaac Leite de Amorim*

RESUMO

Com o aumento da expectativa de vida e o foco com as questões de saúde bem evidentes, destaca-se no mercado as pesquisas, desenvolvimento e inovações (PD&I) voltadas para melhorias dos equipamentos e dispositivos médicos, principalmente nos processos de diagnósticos e terapias. O comportamento pulsativo do tratamento médico convencional influencia a recuperação do paciente. Diferentemente das bombas de infusão inteligentes que administram a introdução dos medicamentos, equalizando os pulsos gerados na terapia convencional, e com isto reduzem o tempo e aumentam a eficiência do tratamento terapêutico.

O projeto propõe o desenvolvimento de um sistema embarcado para suprir a necessidade do controle de fluxo de medicamentos visando a melhoraria dos resultados obtidos no tratamento convencional. Através da montagem de um mecanismo da bomba de infusão tipo seringa integrada a uma plataforma de programação microcontrolada Arduino, com alguns periféricos: sensores, motor de passo, shield de comunicação bluetooth, botões atuadores e alarmes. O aplicativo Android desenvolvido se comunica via bluetooth, e é definido a partir dos requisitos de controle e supervisão dos parâmetros médicos prescritos.

Palavras-chave: Bomba de infusão, microcontrolador, tratamento terapêutico, Android.

*Graduando em Licenciatura em Computação Universidade Estadual da Paraíba. Técnico em Eletroeletrônica. E-mail: izaac.amorim@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

É de conhecimento geral que as novas tecnologias e a medicina se integram cada vez mais, levando precisão e qualidade as novas atividades. Portanto, cresce a inclusão de profissionais de engenharia biomédica em laboratórios e hospitais que empregam tecnologia de ponta no diagnóstico e nas terapias.

Em conformidade com BOHOMOLA, a Unidade de Terapia Intensiva Pediátrica (UTIP) identificou erros de medicação no hospital universitário pediátrico. O tipo de erro relacionado à velocidade de infusão errada equivale a 25% das notificações analisadas, a dimensão fator humano na categoria desempenho deficiente equivale a 54% das notificações, os demais erros estão relacionados à faixa etária escolar. Diante disto, medidas de melhoria estão sendo adotadas para reduzir os danos desnecessários ao paciente, como exemplo: a revisão técnica dos dispositivos de infusão e o desenvolvimento de um aplicativo para dispositivos móveis que monitoraram e controlam o funcionamento da bomba de infusão seringa, agregando valores como comodidade aos profissionais de saúde envolvidos, segurança aos medicamentos infusos no paciente, eficiência no tratamento terapêutico e controle de algumas variáveis do processo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Sistema Circulatório

Os órgãos vitais e a saúde humana dependem de oxigenação e expulsão do dióxido de carbono armazenado em nossas células, assim como da nutrição adequada. E o sistema circulatório é o responsável por movimentar todo sangue do corpo humano em apenas 60 segundos, considerando um adulto saudável. A falta ou diminuição da vazão de sangue sob o órgão citado pode gerar um estado de dormência no corpo pela redução da pressão, tal movimentação do sangue só é possível devido ao trabalho realizado pelo músculo cardiovascular chamado coração.

Os medicamentos, os nutrientes e os líquidos percorrem rotas de acesso que podemos definir como acesso **intravenoso**, referente ao transporte através de veias e o **intra-arterial** que movimentam os nutrientes pelas artérias, sendo esta pressão medida em *arterial sistólica* com níveis de 120 a 140mmHg e *pressão diastólica* conhecida como pressão arterial mínima em níveis de 80mmHg. A introdução do líquido por um vaso sanguíneo chamou de **infusão** que faz parte da recuperação de cerca de 80% dos pacientes hospitalizados e que exige uma diferença superior de pressão para fluir o líquido com segurança e controle.

2.2 Dispositivos de infusão

Com objetivo de administrar o tratamento terapêutico foi desenvolvido um dispositivo de infusão, que controla o fluxo da droga introduzida no paciente, a partir de um aumento da pressão externa, gerado pela força de um motor ou da força gravitacional do desnível do reservatório. Este equipamento eletromédico minimiza o tempo de recuperação do paciente porque o tratamento é contínuo e intensivo, sendo assim bem utilizado nos estabelecimentos assistenciais de saúde (AES). É composto principalmente de reservatório, tubo, sensores, atuadores, motor elétrico e placa controladora sinais, que agrega valor com a redução de problemas associados ao equipamento manual de infusão, que não tem o controle de interromper as infusões secas no momento que reservatório ficar vazio. Além do mais, também auxilia o profissional de saúde gerando uma série de alarmes como: fim de infusão, entrada de ar na linha, oclusão, frasco vazio e erro de fluxo sendo observados em tempo real ou posteriormente, na emissão do relatório final do tratamento.

2.3 Histórico dos dispositivos de infusão

Os desenvolvimentos de mecanismos de infusão surgiram em 1950 através de pioneiro Rochester com uma agulha para infusão intravenosa mediante a necessidade de precisão e confiabilidade da injeção de medicamentos. No início da década de 60, onde 40% das drogas eram aplicadas de forma intravenosa, e identificaram a necessidade de precisão (BUTTON, 2002). Quando

posteriormente, em 1963, o Alemão Watkins desenvolveu o primeiro equipamento automático eletromecânico para infusão de drogas denominada “chornorfuser”, em uma época que não se conhecia a eletrônica digital, os dispositivos microcontrolados e muito menos os dispositivos de indução mecânica alto grau de controle de velocidade, torque e outros parâmetros. Mas, o infusor cronométrico de Waltkins consistia de um mecanismo de relógio que movimentava um cabeçote com roletes, que comprimia um cateter que gerava o deslocamento do líquido (BUTTON, 2002).

Em meados da década de 80, o avanço da eletrônica digital e dos motores de passo contribui para a inovação dos dispositivos médicos (BUTTON, 2002). A década de 90 é conhecida como o início da automatização dos equipamentos, aliada à inserção dos sensores e atuadores das mais diversas grandezas físicas. Trazendo para o mercado vários sistemas integrados de controladores com algoritmos de correção e entradas e saídas digitais e analógicas visando uma redução de erros e monitoramento preciso dos dados (BUTTON, 2002).

2.4 Aplicações

Segundo Button, os dispositivos de infusão são usados para introduzir drogas líquidas e agentes farmacológicos, principalmente nas rotas intravenosas e epidurais, e com pouca frequência em terapias intra-arteriais, com atividade finalística a manutenção dos fluidos de um paciente pós-cirurgia; nutrição parenteral; manter o vaso aberto facilitando a introdução de medicamentos posteriormente e manter uma infusão contínua não ultrapassando para região tóxica e região não efetiva, assim ressalva Button.

Tradicionalmente, a introdução de medicamentos se dá através de pílulas, por razões de baixo custo e falta de equipamento adequado, problema este identificado pelo gráfico da concentração de drogas por intervalo de tempo, na Figura 1. Desenvolvido por Silveira a terapia convencional, através de pílulas, se comporta em fase pulsativas e rompendo a região terapêutica por vários instantes e intensidades diferentes para região tóxica prejudicando a recuperação do

paciente, em comparação com a terapia ideal que se comporta de forma logarítmica com a concentração ideal por intervalo de tempo e principalmente mantendo-se na região terapêutica, com constância.

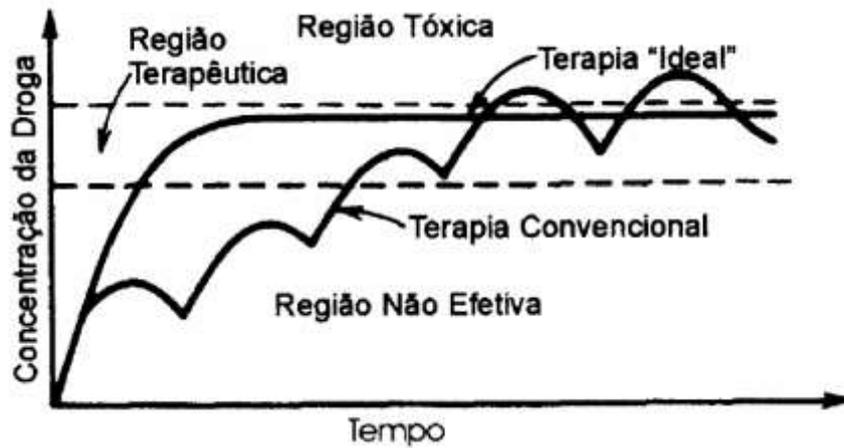


Figura 1. Comparação da evolução da concentração da droga x tempo.

2.5 Tipos de dispositivos de infusão

Os dispositivos médicos de infusão alternam de acordo com a aplicação, simplicidade e custo. O **controlador de infusão manual** tem custo reduzido devido a tecnologia usada na fabricação e pouca precisão de infusão, embora é bem aceito nos ambientes assistenciais de saúde; o **controlador semiautomático** introduz os medicamentos no paciente por gravidade, porém permite um controle da vazão por sensores de gotejamento; e as **bombas de infusão** permitem uma administração contínua da droga, através de um controle microprocessado do motor elétrico e alguns sensores que monitoram o tratamento.

2.5.1 Infusão com controle de fluxo manual

O sistema por infusão manual é simples e funciona através da diferença existente da pressão hidrostática e da pressão venosa, gerando um fluxo de medicamento no sentido de reservatório passando pelo equipo que é composto

pelo tubo, uma câmara de gotejamento e uma pinça para comprimir o tubo até o paciente. O controle é feito visualmente pelo profissional de saúde na contagem das gotas observadas na câmara de gotejamento que nem sempre mantém com a mesma intensidade devido às variações de pressão venosa, esmagamento do tubo em um momento imprevisto, variação na temperatura do líquido ou outros fatores. Todavia o mercado oferece um produto de baixo custo e de fácil operação podendo ser utilizado nos tratamentos de doenças não críticas em hospitais.

2.5.2 Controlador semiautomático de infusão

O controlador semiautomático de infusão se aproxima do ideal, pois é composto de um circuito integrado associado a sensores e alarmes que proporcionam um comportamento logarítmico no gráfico de concentração de droga em função do tempo, com aumento gradativo da infusão no intervalo inicial e constância de intensidade da concentração droga no tempo posterior, mantendo a tratamento na região terapêutica.

De acordo com a NBR IEC 60601 controlador de infusão é um equipamento destinado a regular a vazão do líquido, que sob pressão positiva gerada pela diferença da pressão hidrostática e pressão venosa monitora e controla o fluxo pela contagem das gotas (JUNIOR, 2004).

Através de um diodo emissor de luz (LED) direcionado para a rota das gotas na câmara de gotejamento e um fototransistor acoplado por trás do fluxo de gotas recebe o sinal do LED e converte para o microprocessador em pulsos elétricos que analisados pelo algoritmo, identificam a quantidade e intensidade das gotas, que no momento fora dos padrões estabelecidos pelo operador, envia um alarme para o profissional de saúde intervir na terapia. Desta forma, o controlador semiautomático de infusão exige um operador qualificado para seu perfeito funcionamento agregando valor na sensibilidade dos problemas mais frequentes como oclusão do equipo, deslocamento de agulha, reservatório vazio, esmagamento e outras situações, todavia são limitados pela baixa pressão de infusão.

2.5.3 Bomba de infusão

O uso das bombas de infusão nos tratamentos médicos hospitalares se dá principalmente quando necessitam de maior precisão ou maiores níveis de fluxo, do que os obtidos com sistemas gravitacionais. Aplicado por exemplo em UTI, processos de quimioterapia, durante e após cirurgias, tratamento de pacientes desidratados, e outras terapias que exigem uma gestão controlada dos medicamentos introduzidos no paciente. De acordo com Junior as bombas de infusão atuam neste contexto. “Bomba de infusão é um equipamento eletromédico muito utilizado nos estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS) um equipamento destinado a regular o fluxo de líquidos administrados ao paciente sob pressão positiva gerada pela bomba” (JUNIOR, 2004)

O desenvolvimento deste equipamento foi justificado pelos diversos problemas associados a **vazões incorretas** que em pequenas proporções resultam em respostas retardadas e em grandes proporções em “over dose”. Além de poder causar necrose, problemas metabólicos, embolia pulmonar e outras doenças.

- **Mecanismos de direcionamentos**

Para um controle efetivo do fluxo de medicamento, é necessário um direcionador elétrico que será comandado pelo micro controlador da bomba de infusão, acoplado a este motor temos mecanismos preferencialmente de silicone que farão o contato com o tubo para movimentar o líquido os quais são classificados em: **peristáltico rotativo**, **peristáltico linear**, **seringa**. Segundo Alves, “O mecanismo de direcionamento das bombas de infusão pode ser peristáltico ou pode usar uma pequena seringa com válvula associada a um pistão convencional ou a uma rosca sem fim que movimenta o êmbolo da seringa”.

- **Peristáltico rotativo:** é composto por pequenos rolos de silicone que se movimentam em função do motor, e pressionam o tubo através de um batente fixo do equipo que conta com um alto grau de esmagamento e conseqüentemente

mais confiável. Por outro lado temos o peristáltico rotativo sem batente que esticam e esmagam o tubo no movimento que é mais fácil de construir embora exija um torque maior do motor.

➤ **Peristáltico linear:** o mecanismo linear tem a presença de um batente em contato, através do tubo, com um conjunto de engrenagens que se movimentam em posições consecutivas, com um alto grau de precisão (erro menor 2%) sem pulsos, e com volume limitado.

➤ **Seringa:** utilizam de fato uma seringa como reservatório, sem a agulha a ponta é conectada ao tubo que transporta o medicamento até o paciente e o motor de passo controla o movimento do embolo da seringa em função dos sensores.

Desta forma podemos classificar as bombas de infusão com controle de fluxo **volumétricos** expressa em volume por tempo(ml/h); como controle de fluxo **não-volumétrico** expressa em gotas por tempo(gotas/min) e as bombas de **seringa** em volume por tempo(ml/h)

2.6 Bomba de infusão de seringa

A bomba infusora de seringa, ou bombas de perfusão, ejeta o fluido da seringa através do avanço do êmbolo com uma velocidade controlada por um motor de passo, cuja velocidade é variável em função da vazão pré-determinada pelo profissional de saúde. Tais bombas são indicadas para situações que exigem um alto grau de precisão e um fluxo contínuo, limitado apenas à capacidade de armazenamento de medicamento da seringa (menores 100ml). Ou seja, são adequadas para fins pediátricos e terapia intensiva com um período elevado e volumes pequenos de droga (JORGE, 2002).

A bomba ambulatorial eletrônica tipo seringa utiliza um importante e preciso componente elétrico, motor de passo, que permiti ajustes finos dos graus formados pela alimentação em seus terminais resultando em rotação de seu eixo com a precisão necessária, que acoplado a um varão roscado sem fim, transfere o acionamento elétrico em movimento linear de uma porca acoplada no embolo da seringa, como ilustra a Figura 2, isto possibilita uma variação da pressão

interna na seringa e uma expulsão do medicamento pela ponta da seringa, gerando o fluxo contínuo, em um tubo fino (equipo de seringa) que conduz o líquido da seringa para dentro do corpo, que pode ser por uma agulha de injeção ou cateter.

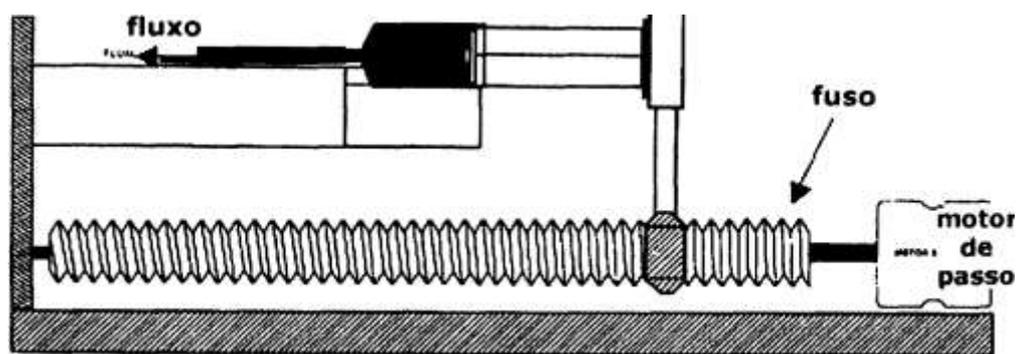


Figura 2 – Ilustração do mecanismo de infusão tipo seringa.

2.7 Rotinas de testes e calibrações

A maioria dos equipamentos eletrônicos que trabalham com riscos iminentes à saúde física e mental das pessoas deve, obrigatoriamente, incluir em seu processo de fabricação, rigorosos testes e calibrações com finalidade de minimizar a taxa de erro dos equipamentos, agregando valor comercial e confiabilidade ao usuário. Tais procedimentos devem ser feitos antes da comercialização e após um período pré-definido pelos órgãos responsáveis, através dos técnicos especialistas, as manutenções preventivas estabelece procedimentos de ensaios e apresenta valores corretos com suas tolerâncias.

Os ensaios e testes são derivados de associações e comparações com equipamentos que possuem tecnologia de ponta, que são calibrados por órgãos nacionais e internacionais garantindo confiabilidade e rastreabilidade. A utilização de equipamentos, principalmente eletromédicos (EEM), não certificados pode comprometer a saúde dos pacientes, ou até mesmo ser fatal.

3. Proposta de desenvolvimento do Sistema integrado de infusão

3.1 Objetivo

Desenvolver um sistema integrado composto de hardware e software que permita ao profissional de saúde um acionamento manual (na bomba de infusão) ou semi-automático (via smartphone); possibilitando um controle da programação do medicamento conforme prescrição médica; um monitoramento e administração do tratamento de infusão, no qual as informações dos pacientes são acessíveis, para os autorizados, através do sistema de consulta online ou da geração de relatórios técnicos. O sistema prioriza sempre a segurança do paciente, minimizando a taxa de erros e armazenando as informações no banco de dados.

3.2 Diagrama em blocos

O sistema de acionamento e controle da bomba de infusão se comporta de forma geral e simplificada conforme o diagrama em blocos da Figura 9, mostrando os principais componentes do protótipo e o fluxo dos dados. O Arduino Mega como principal componente do projeto, se comunicando por fios com os demais shields, sensores e alarmes. Os sensores são alimentados por tensão contínua e enviam sinais quando ativados para as entradas digitais do microcontrolador. O alarme simbolizado no bloco se resume em mini-buzina e led bicolor indicativo de status da bomba de infusão, que atuam na presença do sinal enviado pelo Arduino em função dos sensores. O drive do motor de passo recebe do PIC a sequência de bits necessária para posicionar o eixo do motor no ângulo resultando em um movimento rotacional controlado. A fonte de alimentação por sua vez mantém o funcionamento de todos os blocos, regulando a tensão e corrente de acordo com o uso de cada periférico. E o módulo bluetooth interligado por fios no microcontrolador tem sentido de comunicação bidirecional, proporcionando a interação do usuário do sistema do smartphone com as funcionalidades da bomba de infusão desenvolvida neste projeto.

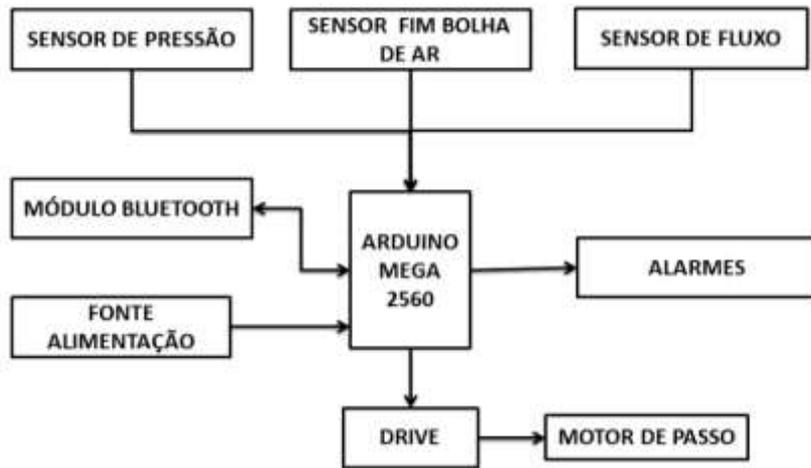


Figura 4 – Diagrama em blocos dos componentes

3.3 Diagrama de máquinas de estados

Para iniciar o tratamento terapêutico o operador da bomba de infusão acopla a seringa com o medicamento injetado, conforme indicação do no formulário farmacêutico, e digita os dados como fluxo, pressão e tempo de operação na interface do smartphone ou no console da máquina, sendo possível visualizar no display disponível na bomba de infusão. Após habilitar o comando iniciar, o motor de passo é acionando, e os sensores monitoram os parâmetros definidos.

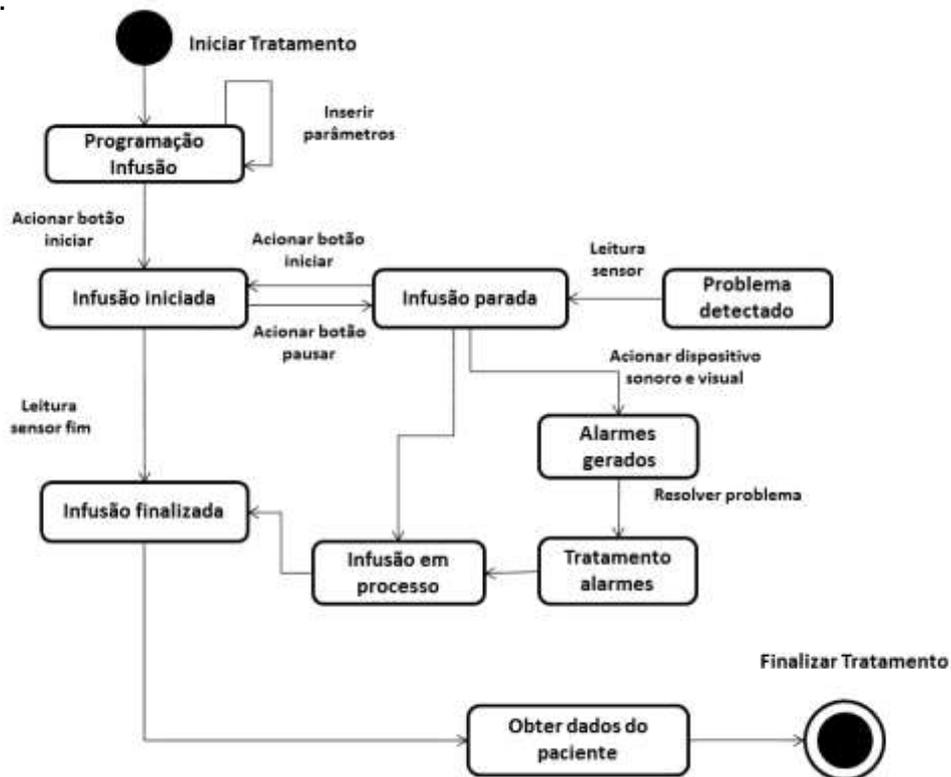


Figura 5 – Diagrama de máquinas de estados dos comportamentos.

Caso os processos não tenha nenhuma intervenção, o funcionamento do dispositivo dependerá apenas dos sensores e atuadores, que por sua vez libera acesso aos dados do paciente e acompanhamento médico como mostra o diagrama de máquinas da Figura 5. Ressaltando a necessidade de parada imediata ou emergência da bomba durante o processo de infusão, foi pensado na instalação de botões para ligar e pausar o sistema ao tempo e quantidade necessária. Trazendo ainda conforto e segurança ao profissional de saúde, o projeto contempla um acompanhamento dos parâmetros em tempo real, como por exemplo, durante o tratamento por algum motivo, o tubo dobra e pressão aumenta ultrapassando os níveis pré-definidos, imediatamente o sistema de segurança desativa o motor e aguarda intervenção humana para reabilitar o processo com a correção do problema. Lembrando que toda intervenção e a própria supervisão serão armazenados no banco de dados do produto, que são acessíveis ao tempo necessário.

3.4 Componentes de Hardware

- **Mecanismo infusão**

O primeiro protótipo de simulação do mecanismo de infusão tipo seringa é feito à base de acrílico, uma seringa 10ml e alguns acoplamentos de alumínio para sustentar a base da seringa. Com auxílio de dois pilares de acrílico sustentamos a seringa horizontalmente presa por dois anéis de alumínio removíveis para troca da seringa; um dos pilares tem dois furos vazantes que servem para sustentar o varão roscado que por sua vez é acoplado no eixo do motor de passo, e para direcionar a base de metal soldada numa porca em seu movimento no sentido horizontal, na parte superior da base que se movimenta pela rotação do eixo, temos um encache para o êmbolo da seringa. O movimento rotativo do motor de passo obedece ao algoritmo programado no microcontrolador, transfere a energia mecânica do eixo para o um acoplamento mecânico para um varão roscado sem-fim, que por sua vez movimenta a base roscada com o êmbolo da seringa, elevando a pressão interna na seringa e expulsando o medicamento pelo orifício principal, o fluxo de medicamentos é ajustado em função dos graus de movimento do motor de passo.



Figura 6 – Protótipo de mecanismo de infusão tipo seringa

- **Microcontrolador (Arduino MEGA 2560)**

O microcontrolador é um chip(circuito integrado) composto de memórias, processador (CPU–Central Processing Unit), portas de entradas/saídas e interface serial de dados. Com a função, dentre outras, de controlar as entradas e saídas de acordo com o algoritmo armazenado na memória. Como afirma MONK “O coração - ou talvez mais apropriadamente o cérebro – do dispositivo é a unidade central de processamento (CPU). Ela controla tudo que acontece dentro do dispositivo, buscando instruções do programa armazenado na memória flash e executando-as”. As entradas e saídas podem ser analógicas ou digitais. As entradas digitais leem vários níveis de tensão, mas operam apenas com nível alto (corresponde a valor lógico 1 ou valor real aproximado a 5V) ou nível baixo (corresponde a valor lógico 0 ou valor real próximo de 0V). As entradas analógicas por sua vez leem vários níveis de tensão, possibilitando conexão com sensores de temperatura, pressão, fluxo, corrente elétrica, entre outros. As saídas digitais permitem o chaveamento de liga/desliga das cargas com diferentes potências, como por exemplo um led, uma buzina, um motor, etc. Já as saídas analógicas tem um controle dos níveis de tensão, dando opção de regular a velocidade de um motor, a intensidade de lúmens de uma lâmpada, etc. Os dados programados são armazenados na memória não-volátil(memória flash) que não apagam os dados na ausência de alimentação elétrica; e durante a execução os dados são armazenados na memória de trabalho, chamada RAM(Random Access Memory) que tem a capacidade pequena embora uma velocidade de transferência dados alta, comparada a uma não-volátil.

O chip (microcontrolador) citado anteriormente é integrado numa placa de circuitos impresso com outros componentes eletrônicos como o cristal oscilador, capacitores SMD(dispositivos de montagem superficial), chaves, resistores, reguladores de tensão, diodos e pinos para a conexão da alimentação, das entradas/saídas e comunicação serial. Esta placa chama-se Arduino, ou plataforma de programação microcontrolada, cujo projeto é independente e hardware aberto(open source). Devido à portabilidade e a comunicação para programação ser via cabo USB, foi adotado como componente de controle do motor de passa e dos sensores e atuadores desta pesquisa.

Existem vários modelos desta plataforma, com extensão memória interna, quantidade de entradas analógicas, digitais, e comunicação serial (RX/TX). O projeto proposto necessita de 4 entradas analógicas para realizar a leitura dos sensores de fluxo, pressão, início de infusão e falta de liquido, e várias entradas/saídas digitais para o acionamento das cargas, controle do motor de passo, display e comunicação serial. Especificamente o Arduino Mega 2560 citado na Figura 4, apresenta o melhor custo x benefício para esta aplicação, pela quantidade de entradas/saídas digitais(54 pinos), comunicação Tx/Rx e capacidade de memória interna(Flash 132KB), em comparação ao Arduino UNO (Flash 32KB).



Figura 7. Arduino Mega 2560.

- **Motor de passo**

Classificado como motor elétrico de precisão, os motores de passo permitem um controle efetivo da rotação em um ângulo exato e precisão de posicionamento do eixo. Tal controle é feito pela ação eletromagnética de acionamento e desacionamento elétrico no balancete, e possuem um número fixo de polos magnéticos que determinam o número de passos por revolução, comumente temos 200 passos/revolução para completar uma volta, caracterizando a precisão que o mesmo pode oferecer.

O tipo construtivo do motor de passo permite no modelo relutância variável um controle unicamente pela ordem de energização das bobinas, já os com ímã permanente tem a característica de torque de detenção, ou seja, mantém a última posição mesmo que não energizada. Dentre as várias aplicações, citamos a injeção eletrônica nos automóveis e os periféricos de computadores com os mais usados, e atualmente em equipamentos Eletromédicos. Outra classificação importante dos motores é em relação à quantidade de polos, sendo **motores de passo unipolar** o que utiliza dois enrolamentos por fase e um contato em comum facilitando a ligação reversa nos polos na ordem endereçada pelo circuito de controle, já o **motor de passo bipolar** é identificado pelo número de polos pares e necessitam que o circuito de controle (ponte H) para direcionar o sentido da corrente de acionamento das bobinas de forma correta, podendo também aumentar seu torque através da alimentação simultânea de mais de uma bobina.

Durante os testes do protótipo identificamos a necessidade de utilizar motores de passo bipolar, motivado pela limitação de torque do motor unipolar e pela sua disponibilidade no mercado, desta forma fiz as devidas alterações no algoritmo do microcontrolador e substituí o drive de controle feito no protoboard com transistores mosfets, resistores e outros componentes, pelo drive encapsulado próprio para motor bipolar (ponte H).

- **Interface Motor de passo (Ponte H)**

Muito utilizado em robótica, o circuito eletrônico ponte H funciona através de acionamento alternado de 4 chave, que permite ao microcontrolador o acionamento de motores corrente contínua de altas potência e a inversão de rotação do motor. As chaves assumem um papel de orientador do sentido da

corrente até alimentar a bobina específica do motor, essas chaves podem ser transistores, reles ou drives encapsulados e soldados junto aos conectores em uma placa de circuito impresso, como é o caso do módulo L298, no qual estamos utilizando no desenvolvimento desta proposta.

Para cada configuração de acionamento das chaves o motor gira com sentido e velocidades diferentes. As chaves se encontram em uma sequência numérica, e tanto as chaves S1 e S2 quanto as chaves S3 e S4 *nunca* o podem ser ligadas ao mesmo tempo, pois podem gerar um curto circuito interno impossibilitando seu uso. Por isto, o algoritmo deve prever tais situações para liberar os bits alternados nas bobinas corretas, do sinal positivo vindo do microcontrolador para as entradas do drive que movimenta o eixo, e para atuação em menor torque é atribuído um bit 1 por bobina no presente instante, porém, caso queira aumentar a velocidade e torque do motor bipolar, deve-se alterar o código para liberar mais de uma bobina por vez.

- **Módulo Bluetooth**

Trata-se de uma interface entre o Arduino e um dispositivo eletrônico com tecnologia bluetooth como smartphone, notebook, tablete, que possibilitem a transferência de dados sem fio e conectado via porta serial RX e TX nos pinos digitais do microcontrolador. Proporcionando o controle, supervisão e gerenciamento dos parâmetros técnicos da plataforma Arduino, com alimentação vinda da própria plataforma Arduino podemos funcionar como modo Slave(Escravo) ou modo Master(Mestre).

- **Sensores e atuadores**

Interligado ao microcontrolador da plataforma Arduino temos um conjunto de sensores responsáveis pela leitura e interpretação das várias ações que a bomba de infusão pretende desempenhar, há princípio o um dos sensores ópticos identifica o acoplamento da seringa na bomba de infusão acionando um LED verde, que indica status operacional (pronto para início do tratamento). Em sequência, outros sensores são encarregados de acompanhar todo processo de infusão de forma segura e precisa, monitorando o fluxo e a pressão interna do

medicamento de acordo com a prescrição médica, interrompendo o funcionamento do sistema, na ocorrência de algum procedimento fora padrão e no fim do tratamento. Todos os sensores são interligados ao arduino para comunicação e alimentação dos componentes internos.

O motor pode ser acionado mediante duas possibilidades: acionamento manual através de botões externos com intenção de ajustar o posicionamento do embolo da seringa; e o acionamento automático que propõem garantir o início do processo de infusão mediante a condição do **sensor óptico de inicialização** que envia um sinal para o microcontrolador quando a seringa está completamente acoplada, por sua vez este sinal digital é interpretado como pronto para operação e libera o acionamento remoto para o profissional de saúde, mediante o acesso por senha.

O **sensor de vazão** é ligado na saída do tubo da seringa com a função de acompanhar o fluxo de medicamento infundido no paciente na unidade de ml/h, o mesmo envia um conjunto de bits para o microcontrolador, que por sua vez interpreta e converte em números decimais disponíveis em tempo real no display da bomba de infusão, além de encaminhar um cartão de memória o histórico das últimas infusões. O monitoramento de fluxo visa reduzir problemas como: resposta retardada (fluxo baixo); resposta tóxica (fluxo alto) ao paciente; aumento da possibilidade de ocorrência de flebite e tromboflebite (infecção e entupimento de vasos); infiltrações e extravasamentos no local de aplicação, podendo causar necrose e edema pulmonar, afetando função renal e cardíaca(BUTTON, 2002).

Acompanhado ao sensor de vazão se faz necessário o **sensor de pressão** que monitora durante todo o processo de infusão a pressão interna do tubo.

“Os ensaios relacionados à pressão de oclusão são de vital importância. Como os equipamentos geram pressão positiva para a administração do fluido, é necessária sua constante monitoração...” (JUNIOR, 2004)

Sendo elevada em taxas consideráveis no início da infusão quando o motor de passo força o medicamento na direção do paciente, caso ocorra uma dobra no tubo ou entupimento em algum ponto da bomba de infusão automaticamente a

pressão aumenta devido ao funcionamento do motor, e o sensor identifica como fora dos limites, desabilita o motor imediatamente e gera alarme visual e sinal sonoro ao paciente e ao profissional de saúde remotamente.

Na condição de funcionamento correto, a bomba de infusão integra dois **sensores de finalização** interligados em paralelo, com o objetivo de indicar que a seringa está vazia. Como garantia que o motor não funcionará quando o embolo chegar à sua posição final, os sensores enviam um sinal digital para o microcontrolador que desabilita imediatamente o motor de passo e indica o fim do tratamento ou a reposição de medicamento a ser infundido.

Acompanhado aos sensores, o sistema fornece atuadores manuais tipo botões, responsáveis pelo acionamento do motor de passo no sentido horário, **botão frente**, e no sentido anti-horário, **botão reversão**. Os dois botões são justificados da etapa de acoplamento da seringa na bomba de infusão, pois os dois botões movimentam o suporte do embolo para posição adequada conforme a quantidade de medicamento a ser infundido de 1 a 10 ml, conforme indicação médica, ressaltando a importância dos sensores nesta etapa de posicionamento, pois o acionamento manual é permitido, exclusivamente, mediante a leitura dos dois sensores ópticos encarregados de identificar a presença ou não da seringa na posição de infusão. O processo de acionamento manual é importante primeiro para agilizar o acoplamento da seringa na bomba e mais importante ainda neste processo é a presença dos sensores ligados em paralelo com mesma função de evitar refluxo de medicamento no paciente quando o motor girar no sentido de reversão.

- **Alarmes**

Os alarmes indicam de forma clara e objetiva alguma situação fora dos padrões de trabalho da bomba através de indicação sonora e visual. O sinal sonoro comunica ao paciente e ao enfermeiro, através de uma mini-buzina, o problema ocorrido de imediato, podendo alterar o nível de volume até o mínimo auditivo, e desativa por um curto período de tempo para resolver o problema, como afirma (BUTTON, 2002). O disparo do alarme visual é indicado no display da bomba, no display do smartphone que está comunicando com o microcontrolador e no led vermelho status falha, de acordo com o problema

associado. Caso o sensor de pressão, por exemplo, verifique medições acima do estabelecido, o sistema de controle dispara o alarme visual nas saídas citadas.

Na Figura 8 é possível visualizar a simulação no Software Proteus da composição do projeto eletrônico e todos os seus componentes com o código do Arduino inserido via simulador.

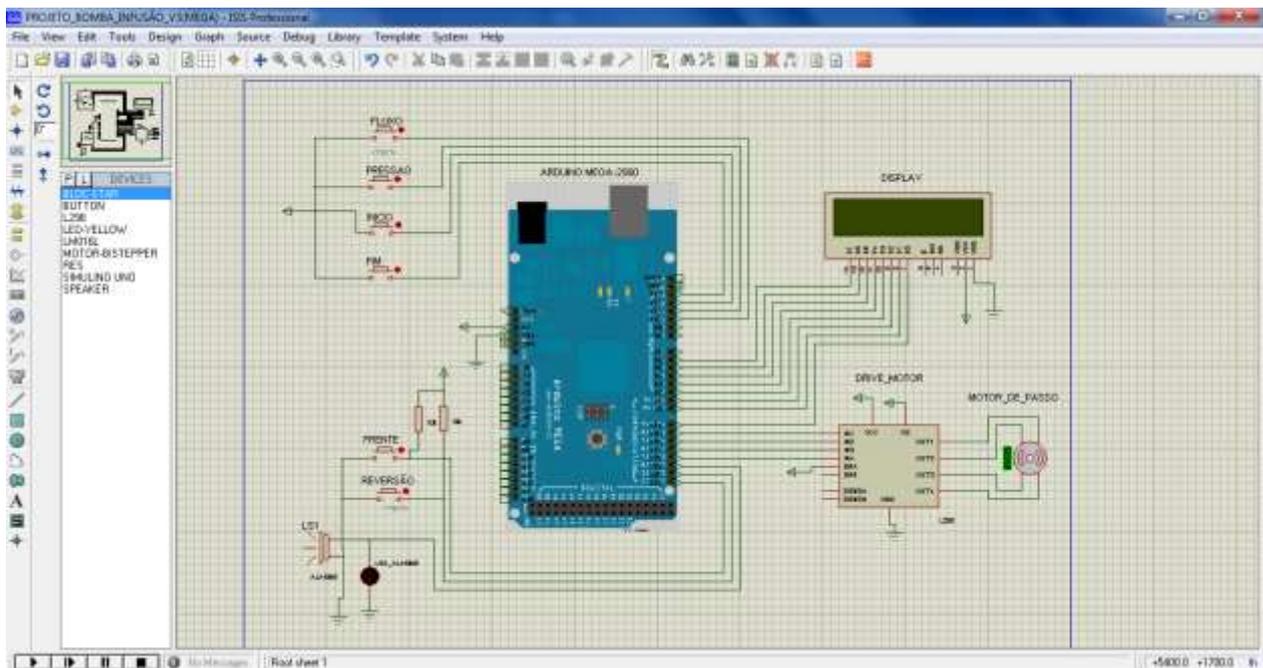


Figura 8. Esquema de ligação do sistema de acionamento da bomba de infusão.

Os simuladores de circuito elétrico atuais possibilita uma aplicação virtual da teoria conceituada agregando valor com redução dos custos físicos na montagem dos componentes eletrônicos no protoboard e reduzindo o tempo elaboração e testes, além de documentar todo processo desenvolvido. Neste sentido, o trabalho proposto foi primeiramente elaborado no simulador virtual, conforme mostra na Figura 5. O Arduino Mega citado anteriormente, seção 3.4, recebe a função de ler as entradas, processar de acordo com o código armazenado na memória e controlar todas as saídas. O circuito eletrônico mostra o símbolo da alimentação elétrica conectado ao lado esquerdo do Arduino Mega, e ao lado direito as entradas digitais usadas para esta aplicação, como os pinos de D10 a D13, conectados nos 4 botões (Fim, Início, Pressão, Fluxo) simulando o acionamento ou não dos sensores da bomba de infusão; e os pinos D20 e D21

conectados nos 2 botões(Frente, Reversão) simulando os atuadores manuais para movimentação do motor de passo. Em relação a saídas digitais o projeto usou os pinos D14, D15, D16 e D17 para conexão com a interface de potência do motor de passo, que amplifica os níveis de corrente e tensão direcionadas para o motor de passo e por sua vez interligam no motor de passo bipolar simulado no software da Figura 8. Para um acompanhamento na sala do tratamento terapêutico o projeto especifica um display com função de atualizar o status do processo e os valores de fluxo em tempo real, que por sua vez está interligado na plataforma Arduino Mega nos pinos D6 a D14 declarados com saída digital. No teste da simulação eletrônica é necessário inserir o código desenvolvido no compilador Arduino, de acordo com a Figura 10, possibilitando o funcionamento do motor de passo conforme algoritmo desenvolvido.

3.3 Componentes de Software

- **Aplicativo Smartphone Android**

Nos dias atuais os aplicativos dos smartphones vêm tomando espaço devido sua diversidade, interatividade e usabilidade. Visto que, os requisitos do aplicativo são definidos por quem mais conhece que são os próprios usuários. O sistema operacional Android desenvolvido principalmente para dispositivos móveis oportuniza os interessados a desenvolver aplicativos, pois é disponível em código aberto diferente de vários outros sistemas operacionais do mercado.

Baseado nesta oportunidade de negócio e na situação problema que os profissionais de saúde tem de acompanhar o tratamento médico, que o projeto justifica o desenvolvimento de um aplicativo interativo e prático para comunicação como microcontrolador da bomba de infusão.

Como afirma Moreira, em artigo publicado na revista Info (2014) “Os passos para o desenvolvimento rápido e seguro dos aplicativos são os problemas cotidianos”. E a proposta deste projeto do acionamento da bomba de infusão requisita primeiramente o controle remoto dos processos, logo justifica o uso do shield bluetooth interligado a plataforma Arduino MEGA. A especificação dos

requisitos do software indica primeiramente a parametrização dos dados prescritos pelo médico, como a taxa de fluxo, o volume total do medicamento e os dados do paciente. O aplicativo desenvolvido prevê utilização de mais de uma bomba de infusão seringa no hospital, sendo necessário identificar através de código de segurança o dispositivo correto a se comunicar, dando a opção de selecionar o módulo bluetooth correspondente. Ao inserir os parâmetros médicos citados anteriormente o aplicativo calcula automaticamente o fluxo, emite o status na tela, e habilita o botão iniciar para começar o processo de infusão. Ao pressionar o botão iniciar o aplicativo envia uma sequência de bits para o módulo bluetooth do Arduino MEGA que associa com a lógica programada para controlar o motor de passo na velocidade calibrada para vazão correspondente. De acordo com os diferentes níveis de vazão de medicamento programado na biblioteca, implicará em condições diferentes de acionamento do motor com velocidade variável.

Na definição dos requisitos do software o projeto valoriza a interface interativa e funcional que permita ao profissional de saúde o controle e a supervisão total do tratamento terapêutico. De acordo com a Figura 6 o aplicativo permite parar momentaneamente o processo através do botão pause, caso detecte alguma discordância funcional, ou parar definitivamente o processo indicando fim do tratamento, sendo necessária nova programação para acionar o motor. Enfim, o aplicativo exibe o status atual do processo, inclusive na atuação dos sensores indicando o início e o fim da infusão, e a possível diferença de pressão e fluxo do programado/calculado no início da terapia.

Em segundo plano é possível utilizar um aplicativo genérico para o acionamento ou não do motor. Por exemplo o aplicativo S2 Terminal Bluetooth, sendo necessário primeiramente conectar a comunicação bluetooth do smartphone com o shield bluetooth do arduino e enviar um sinal digital do smartphone para o Arduino MEGA, que vai interpretar de acordo com o algoritmo programado acionar o motor de passo, o display e os alarmes quando necessário.

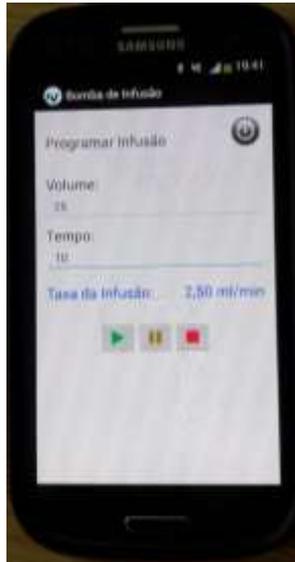


Figura 9. Proposta de interface gráfica App Smartphone Android

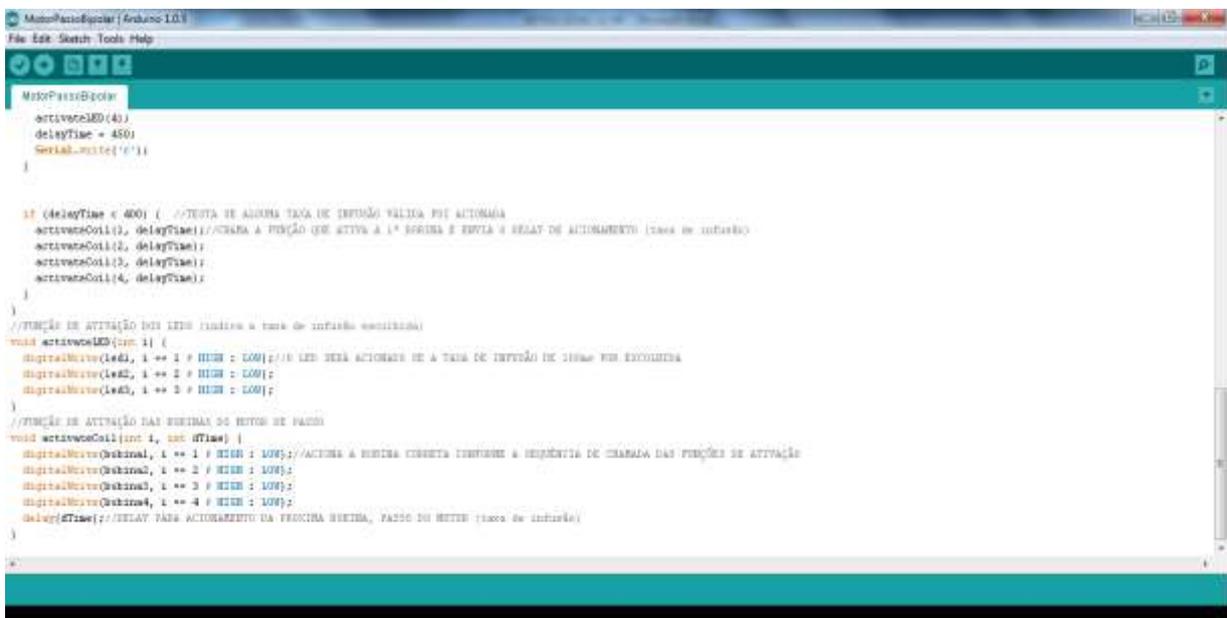
- **Aplicativo Arduino**

Armazenado na memória interna do PIC do Arduino Mega, o algoritmo desenvolvido controla todas as ações que o sistema de acionamento para bomba de infusão tipo seringa propõem executar, desde do controle da velocidade do motor de passo até o acionamento de um LED indicando status em operação. O código foi desenvolvido na linguagem C no compilador Arduino 1.0.5 e gravado do PIC via porta USB. E parti da inicialização das variáveis como: as 4 bobinas do motor de passo bipolar, os sensores, os atuadores, alarmes e display como entradas e saídas digitais do microcontrolador, além de inicializar o módulo serial Rx e Tx, para comunicação do módulo bluetooth com o smartphone, conforme expresso na Figura 8.

Os sensores são declarados como entradas digitais, no qual monitoram o estado do sistema e enviam sinais para a unidade de controle após sua ativação agregando segurança e qualidade no funcionamento da bomba de infusão. Os sensores de fluxo e pressão são ativados durante o tratamento, e enviam conjuntos de bits ao microcontrolador que interpretam e converte em valores decimais de ml/h de vazão e mmHg de pressão interna impressos no display e na tela do smatphone, e sob condições lógicas estabelecidas pelos médicos permitem o acompanhamento do tratamento de forma criteriosa e confiável. Já os sensores de inicialização e fim determinam a operação ou não da bomba de infusão quando detectam a seringa acoplada no suporte ou quando o embolo

chega ponto final da infusão do medicamento. O acionamento é orientado pelos botões físicos no protótipo ou pelo controle remoto do aplicativo desenvolvido para dispositivos móveis com S.O.¹ Android.

O motor de passo bipolar funciona pela alimentação simultânea e ordenada de suas bobinas, em níveis de tensão e corrente elétrica acima do suportado pelo arduino, sendo necessário um drive do motor que converte os pulsos digitais enviados pelo microcontrolador em passos do rotor com ângulos estabelecidos de fábrica resultando na rotação completa do rotor. A partir deste princípio é estabelecida a vazão do medicamento, relacionando a velocidade do rotor pelo fator tempo de acionamento das bobinas, no qual é declarado sobre condições lógicas, o tempo de acionamento das bobinas em 100ms para a primeira velocidade de infusão, atuando em um loop fechado dando sequencia a alimentação das bobinas, até que seja interrompida pela leitura de outro valor na variável C, diminuindo o tempo de acionamento e aumentando a velocidade e o fluxo do medicamento. Ou em condições de parada onde o valor de C direcione o tempo de 450ms, ultrapassando o mínimo estabelecido de 400ms, cessando o envio de bits ao drive e parando o motor.



```
Arduino IDE (Arduino 1.0.1)
File Edit Sketch Tools Help

MotorPassoBipolar

MotorPassoBipolar
  activateLED(4);
  delayTime = 450;
  Serial.write('0');
}

if (delayTime < 400) { //TESTA SE ALGUMA TAXA DE INFUSÃO VALIDA FOI ACOMODADA
  activateCoil(2, delayTime); //CHAMA A FUNÇÃO QUE ATIVA A 1ª BOBINA E ENVIA O RELAZ DE ACOMODAMENTO (taxa de infusão)
  activateCoil(2, delayTime);
  activateCoil(3, delayTime);
  activateCoil(4, delayTime);
}

//FUNÇÃO DE ATIVAÇÃO DOS LEDs INDICIA A taxa de infusão escolhida
void activateLED(int i) {
  digitalWrite(LED1, i == 1 ? HIGH : LOW); //O LED SERÁ ACIONADO DE A TAXA DE INFUSÃO DE 300ms POR ESCOLHIDA
  digitalWrite(LED2, i == 2 ? HIGH : LOW);
  digitalWrite(LED3, i == 3 ? HIGH : LOW);
}

//FUNÇÃO DE ATIVAÇÃO DAS BOBINAS DO MOTOR DE PASSO
void activateCoil(int i, int delayTime) {
  digitalWrite(Bobina1, i == 1 ? HIGH : LOW); //ACIONA A BOBINA CORRETA INFORME O SEQUÊNCIA DE CHAMADA DAS FUNÇÕES DE ATIVAÇÃO
  digitalWrite(Bobina2, i == 2 ? HIGH : LOW);
  digitalWrite(Bobina3, i == 3 ? HIGH : LOW);
  digitalWrite(Bobina4, i == 4 ? HIGH : LOW);
  delay(delayTime); //DELAY PARA ACOMODAMENTO DA FREQUENCIA DEBIDA, PASSO DO MOTOR (taxa de infusão)
}
```

Figura 10. Código Arduino de controle do motor bipolar.

¹Sistema Operacional – É uma coleção de programas que inicializam o hardware de um computador. Fornece rotinas básicas para controle de dispositivos.

4. Discussão dos Resultados

- **Etapa 1**

A maioria dos hospitais públicos ou privados não se tem a devida preocupação com o controle dos níveis de medicamentos infundidos, resultando muitas vezes em tratamentos ineficientes, com problemas de oclusão, bolha de ar no tubo, reservatório seco, agulha fora da veia, estando fora da região terapêutica. São raros os casos que encontramos bomba de infusão automática com controle de fluxo por motor de passo e alarmes atuados pelos sensores do sistema, somente em UTI ou quimioterapia e outros, pois se trata de equipamentos caros para sua aplicação.

Portanto, propomos o desenvolvimento do sistema integrado via plataforma arduino que atenda todos estes requisitos reduzindo o custo, tornando acessível às enfermarias de hospitais públicos. Em primeira mão os requisitos funcionais são definidos baseados nas situações problemas abordados anteriormente, com objetivo de atender esta demanda de forma prática, segura e principalmente com baixo custo. Uma pesquisa detalhada é realizada para identificação dos componentes, do histórico de evolução e os dispositivos de infusão mais vendidos atualmente com sua tecnologia. E com acompanhamento de um profissional de saúde foi definido os requisitos funcionais para elaboração do diagrama em blocos.

- **Etapa 2**

Posteriormente foram detalhados todos os blocos, identificado vários motores de passo, por exemplo, que permite o controle da velocidade, através da alimentação direcionada para suas bobinas. Todavia, como a proposta inicial era direcionada para o desenvolvimento de mecanismo peristáltico rotativo que é necessário motor de passo com torque elevado para movimentar o estrangulamento do tubo e controlar o fluxo. Até a identificação deste problema, o mecanismo desenvolvido na impressora 3D do NUTES, era o peristáltico rotativo, tendo que ser alterado para o mecanismo tipo seringa para viabilizar o motor de passo disponível.

- **Etapa 3**

Nesta etapa de desenvolvimento do mecanismo, os envolvidos no projeto investiram três semanas em pesquisa, desenvolvimento e aperfeiçoamento do produto. Com base de acrílico espessura 3 cm, foi acoplada o motor de passo bipolar EM-324 na base do mecanismo, que por sinal foi aproveitado de uma sucata de impressora, e o eixo do motor foi fixado através de um acoplamento metálico confeccionado em torno mecânico, em um parafuso roscado com 10cm de comprimento que movimenta em função do motor, deslocando assim o suporte do embolo da seringa no sentido horizontal, que por sua vez acopla a seringa com medicamento para iniciar o processo de infusão. É necessário um direcionador linear do suporte do embolo, que auxilie o deslocamento do embolo, para manter o motor em sua corrente nominal gerando precisão da pressão e da vazão do medicamento.

- **Etapa 4**

A ultima etapa deste projeto tem objetivo de desenvolver o algoritmo principal do microcontrolador, o aplicativo de controle para smartphone, e os testes funcionais para entrega do produto. O código principal, conforme descrito no item 3.2 deste trabalho, atende os requisitos solicitados em concordância com os componentes físicos disponíveis, na leitura dos sensores e atuadores, no funcionamento do motor e dos alarmes de acordo com a lógica desenvolvida prezando pela segurança e precisão. O controle e monitoramento do tratamento via dispositivo móvel otimiza o tempo do profissional de saúde e qualidade do serviço prestado, mas sua ausência não altera as funcionalidades do produto, visto que tem a presença de atuadores manuais na própria bomba. O aplicado é interativo e de fácil manuseio, codificado em linguagem JAVA, pode ser instalado em dispositivos móveis com S.O. Android, mas bloqueia o acesso a bomba de infusão a usuários não identificados através de senha, e com a comunicação *bluetooth* pretende mostrar todas as informações do tratamento disponíveis no display do dispositivo, como fluxo, status da seringa, pressão entre outros parâmetros citados no item 3.2 sobre aplicativo android.

Para entrega do produto o cronograma indica a execução de calibrações e testes de validação, agregando valor comercial na geração do relatório de calibrações e testes comparados a outros dispositivos disponíveis no mercado.

Viabilidade

Infelizmente, a qualidade da saúde no Brasil é limitada em equipamentos e profissionais, principalmente os órgãos públicos que falta o básico onde poderia ter o melhor. Aliado a esta situação encontra-se os altos custos dos equipamentos médicos hospitalares, dificuldade de importação e a incompatibilidade com as situações locais. Tais motivos justificam fortemente o desenvolvimento de tecnologia nacional na área de instrumentação médica com redução de custos, adequação a realidade local e oportunizando equipe técnica especialista.

5. Conclusão

O trabalho proposto tem importante contribuição para a engenharia biomédica no que tange o desenvolvimento equipamentos e softwares inovadores e tecnológicos, auxiliando com segurança os profissionais de saúde no tratamento de doenças que necessitam de precisão e supervisão dos medicamentos infusos. Enfim, o projeto elaborado integra várias áreas de atuação: eletrônica, computação, mecânica, enfermagem entre outras, que fazem deste projeto parte integrante de várias pesquisas realizadas pelo NUTES - Núcleo de Tecnologias Estratégicas em Saúde, da Universidade Estadual da Paraíba, no que se refere a bombas de infusão, propondo utilizar este protótipo para validações de cenários farmacêuticos, testes e calibrações e prototipagem de formulários. Além disto, o projeto prospecta estudos para aplicação de um sistema online com comunicação ethernet nos ambientes assistenciais de saúde, controlando múltiplos canais de seringas sincronizados, e com portabilidade para diversas taxas de volumes de medicamento.

REFERENCIAS

JORGE, Saide Calil. **EQUIPAMENTOS MÉDICO-HOSPITALARES E O GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO**. Série F. Comunicação e Educação em Saúde. Brasília DF, Capítulo 1. Gerenciamento de manutenção em equipamento hospitalares, 2002.

BUTTON, V.L.S.N. **EQUIPAMENTOS MÉDICO-HOSPITALARES E O GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO**. Série F. Comunicação e Educação em Saúde. Brasília DF, Capítulo 8. Dispositivos de Infusão, 2002.

RODRIGUES, Sidney Aciole. **SISTEMA DE ACIONAMENTO PARA BOMBAS DE INFUSÃO DE MULTIPLOS CANAIS**. 2013.

MOREIRA, Maria Isabel. **CRIE SEU PRÓPRIO APP**. Revista Infodicas – Construa seu App. Editora Abril. Pg. 22. Março, 2014

JUNIOR, Álvaro Martins da Silva. **SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DA FUNCIONALIDADE DE BOMBAS DE INFUSÃO**. Florianópolis. 2004.

MONK, Simon. **PROGRAMAÇÃO COM ARDUINO**. Série tekne, tradução: Anatólio Laschuk. Editora Bookman, Porto Alegre. 2013.

ALVES, Márcio Alexandre de Castro. **BOMBAS DE INFUSÃO; OPERAÇÃO, FUNCIONALIDADES E SEGURANÇA**. Florianópolis. 2002.

BOHOMOLA, Elena. **NOTIFICAÇÃO ESPONTÂNEA DE ERROS DE MEDICAÇÃO EM HOSPITAL UNIVERSITÁRIO PEDIÁTRICO**. São Paulo. 2011.

http://arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoMega2560_r2_front.jpg. Acessado em 11 de abril de 2014.