

**INSTITUTO
FEDERAL**

Pernambuco

Campus
Garanhuns

SISTEMA EMBARCADO PARA MONITORAMENTO DA FREQUÊNCIA CARDÍACA

**Prática Profissional Orientada
Curso Técnico em Informática Integrado**

Alunos: Anna Vitória de Araujo Moura

Thiago Cavalcanti Silva

Orientador: David Alain do Nascimento

**Instituto Federal de Educação, Ciência e Curso
Técnico em Informática Integrado**

**Anna Vitória de Araujo Moura
Thiago Cavalcanti Silva**

**SISTEMA EMBARCADO PARA
MONITORAMENTO DA FREQUÊNCIA
CARDÍACA**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do diploma de Técnico em Informática pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – IFPE.

Garanhuns, dezembro de 2016.

Agradecimentos

Agradecemos primeiramente a Deus pela saúde, inteligência, persistência e esperança para conseguir alcançar nossos objetivos.

Agradecemos aos familiares, que sempre nos incentivaram a estudar e por acreditar no nosso potencial.

Agradecemos ao orientador David Alain do Nascimento por nos guiar no processo de aprendizagem acadêmica e profissional e pela disponibilização de material para experimentos e protótipos, além de dicas e sugestões tanto para o projeto quanto para nossa carreira profissional.

E também aos outros professores, que sempre nos estimularam a buscar nossas metas e esclareceram nossas dúvidas.

Aos amigos, que sempre estiveram conosco durante nossa jornada, incentivando, dando apoio moral e compartilhando conhecimento.

E a todos que de alguma forma ajudaram ou desejaram o sucesso do projeto.

Resumo

A aferição constante da frequência cardíaca é necessária para grupos de risco ou portadores de doenças cardíacas, assim como forma de monitoramento da saúde por qualquer outra pessoa. Este trabalho tem como objetivo aliar duas tecnologias acessíveis, o SO Android e o microcontrolador AVR em uma plataforma Arduino, para criação de um sistema embarcado vestível capaz de armazenar e analisar tais dados de forma intuitiva e mais barata que as disponíveis no mercado.

Palavras-chave: Sistema embarcado, Frequência Cardíaca, Monitoramento, Arduino, Android, Eletrocardiograma, Batimentos cardíacos, Arritmia, Tecnologia vestível.

Sumário

Conteúdo

1. Introdução	6
2. Desenvolvimento	7
2.1. Metodologia	7
2.2. Sistemas Embarcados.....	7
2.3. Android.....	7
Dispositivos Utilizados.....	8
2.3.1. Sensor de pulso	8
2.3.2. Módulo Bluetooth	8
2.3.3. RTC.....	9
2.4. Protocolo de comunicação.....	9
Envio de pacotes pelo Arduino	9
Recebimento de pacotes no Android.....	10
Pacote de confirmação.....	10
3. Resultados	11
3.1. Tentativas que falharam	11
4. Conclusão e trabalhos futuros	12
Bibliografia	13
Anexos	14
Diagrama de casos de uso.....	14
Diagrama de classes do Arduino	14
Atributos e métodos do diagrama do aplicativo.....	15
Diagrama de classes do aplicativo.....	15
Circuito	16
Documento de requisitos.....	17
Tentativas que falharam – LDR	18
Tentativas que falharam – LED infravermelho.....	18

1. Introdução

A aferição da frequência cardíaca é necessária e importante como forma de checkup ou de controle sobre situações onde o risco de desenvolvimento de alguma doença é alto, quando o paciente é portador de alguma patologia crônica ou quando pequenas alterações nessa taxa são significantes em seu desempenho, como para atletas. Contudo, em certos casos, faz-se necessária a medição constante durante certo limite de tempo, seja como forma de teste físico (garantindo segurança, visto que o usuário verificará quando estará no nível de esforço adequado, para que não fique muito intenso ou muito fraco) ou como monitoramento para detectar possíveis arritmias, levando em consideração as variações esperadas, auxiliando o usuário para que não ultrapasse o nível de esforço suportado pelo seu organismo.

Entretanto, os monitores comumente disponíveis no mercado limitam-se a medição instantânea dos batimentos. Assim, desenvolvemos um dispositivo capaz de armazenar informações da frequência cardíaca e elaborar dados mais complexos em um gráfico, notificando o usuário caso esteja em uma possível arritmia. Em seguida, disponibilizamos o sistema para conscientizar as pessoas da importância de tal monitoramento, principalmente para aqueles que possuem patologias relacionadas a esse fator, assim como os atletas e os portadores de marcapasso.

Através deste, é almejado num âmbito geral a obtenção de uma melhor qualidade e velocidade na aferição de possíveis problemas cardíacos, tendo em vista que os problemas provindos do miocárdio matam mais que o câncer. No Brasil, cerca 30% das mortes são ocasionadas por acidentes cardiovasculares, como diz o estudo do Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia (São Paulo). De posse destes dados, têm-se uma demanda consideravelmente grande, assim ocasionando importância e urgência para este setor, não obstante também que seja necessário baratear a tecnologia para torná-la acessível e assim podendo atingir maior parcela da população que se encaixa no grupo dos que têm problema cardíaco. Assim, viabilizando a um grande contingente a possibilidade de monitoramento da sua frequência cardíaca com um custo relativamente barato, visto que com a grande difusão dos meios tecnológicos e da eclosão da globalização, grande parte da população porta alguma espécie de dispositivo que utilizam o sistema Android e os eletrocardiogramas não possuem preço tão acessível quanto o nosso aparelho.

Além de atender tais necessidades, o sistema utiliza o conceito de tecnologia vestível para não alterar a rotina do usuário, podendo ser portado durante várias horas, pois o circuito central estará em uma luva, que enviará as informações para um dispositivo móvel (smartphone, tablet, entre outros) via Bluetooth. Em suma, o acompanhamento aqui visado é mais acessível e mais eficaz do que se consegue com um aparelho de preço similar, porém, este sem a presença das funcionalidades que propomos.

Este documento está dividido em 4 capítulos, que estão organizados da seguinte forma: no Capítulo 2 detalhamos como o projeto foi desenvolvido. No Capítulo 3 serão abordados os resultados obtidos. E por fim, o Capítulo 4 mostra as conclusões obtidas acerca deste trabalho e as propostas de trabalhos futuros.

2. Desenvolvimento

2.1. Metodologia

Para obtermos informações, foi necessário uma pesquisa bibliográfica sobre frequência cardíaca para comparar com os valores obtidos durante o desenvolvimento do projeto. Ademais, fez-se necessário um estudo sobre as ferramentas utilizadas.

Por meio do sensor de pulso, é possível observar a frequência cardíaca. Os batimentos cardíacos são formados pelos movimentos de sístole e diástole, criando, assim, o fluxo sanguíneo. Através do uso desse sensor integrado a plataforma Arduino, torna-se possível quantificar e registrar os momentos em que o fluxo é maior e a repetição dos mesmos em determinado tempo.

Com a aplicação do conhecimento em sistemas embarcados, faz-se possível o monitoramento por meio de um dispositivo ou terminal, em um computador ou dispositivo móvel, facilitando e tornando mais intuitiva a medição.

Após uma análise de requisitos, as funcionalidades do sistema serão: Exibir a frequência cardíaca, armazenar dados, uma interface para o usuário (via aplicativo), indicar a frequência ideal, detectar possíveis arritmias e notificar o usuário caso esteja fora do ritmo ideal.

2.2. Sistemas Embarcados

Em uma breve definição, sistemas embarcados são sistemas que possuem os principais componentes de um computador, como periféricos de entrada e saída, processador e memórias (tanto para o processamento quanto para armazenamento), e se dedicam a um propósito específico visto que possuem tamanho reduzido, isso implica em menos recursos computacionais e menor custo.

Este tipo de sistema pode ser implementado utilizando uma unidade de processamento conhecida como microcontrolador. Em virtude da facilidade no desenvolvimento e dos recursos possibilitados, este tipo de unidade foi escolhido, visto que atendem às necessidades do projeto. Mais especificamente, no projeto foi utilizado um microcontrolador AVR em uma plataforma Arduino.

2.3. Android

Por caracterizar-se como um protótipo de tecnologia vestível, o projeto requeria uma aplicação voltada para dispositivos móveis. Devido a uma maior aproximação com o conhecimento obtido nas demais disciplinas, foi escolhida a IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado) Android Studio, baseada no IntelliJ IDEA.

O sistema de compilação e build padrão dessa ferramenta é o Gradle, que administra as dependências, o SDK e outras requisições mínimas do projeto, realiza build automático.

A comunicação bluetooth foi implementada com base no BluetoothChat-Example, disponibilizado na própria IDE e também pode ser acessado pelo GitHub (<https://github.com/googlesamples/android-BluetoothChat>). A biblioteca usada para ajudar na construção dos gráficos foi a AndroidCharts, desenvolvida pela HackPlan (<https://github.com/HackPlan/AndroidCharts>).

Dispositivos Utilizados

2.3.1. Sensor de pulso

O sensor de pulso foi utilizado para realizar a principal função do projeto, detectar a pulsação cardíaca através do fluxo sanguíneo durante o bombeamento do sangue pelo coração, obtendo-se assim, a frequência cardíaca do usuário através de uma leitura analógica, e quando em conjunto com o aplicativo, é possível fazer o processamento das informações obtidas.

Um LED do sensor emitirá uma luz verde que será refletida e uma parte absorvida (passará pelos tecidos capilares). Quando o coração está bombeando o sangue, a cada batida uma onda de pulso percorre todo o corpo através das artérias e veias, chegando até as extremidades do tecido capilar, que é o local onde o sensor de pulso está ligado; o sangue é comprimido para dentro dos tecidos aumentando o volume deles, que após outros batimentos, o volume diminuirá, estas mudanças no volume alteram a quantidade de luz que consegue atravessar o corpo, que quando amplificadas possibilitam a medição da frequência cardíaca. Este sensor trabalha com o princípio da reflectância, ou seja, conhecendo a quantidade de luz incidente, e descobrindo da quantidade de luz refletida, é possível saber a quantidade que foi absorvida.

Pelo fato de ser plug-and-play, basta conectar o sensor ao Arduino e ao dedo ou lóbulo da orelha para captar as pulsações. Apenas é necessário tomar alguns cuidados, como não pegar no sensor com muita força ou segurá-lo muito levemente. No primeiro caso, o sangue será espremido para fora da ponta do dedo, assim, não haverá sinal. Já na outra situação, a probabilidade de ocorrer ruídos aumenta. Além disso, é aconselhável testar o sensor em diferentes partes do corpo, desde que seja possível um fácil contato com o tecido capilar, por exemplo, a ponta do dedo e o lóbulo da orelha, já mencionados, a palma da mão, o meio da testa, o lábio inferior e o lado do nariz. A escolha do local no usuário, deverá ser o que haja melhor detecção de sinal, visto que todas as pessoas são diferentes.

2.3.2. Módulo Bluetooth

O módulo Bluetooth JY-MCU HC-06 foi utilizado para estabelecer a comunicação com o aplicativo, para enviar pacotes da frequência cardíaca e receber pacotes de confirmação para assegurar que não houve perda de dados.

Os motivos para ser escolhido a comunicação via Bluetooth e não via internet (por Wi-Fi), são principalmente com relação aos gastos. Primeiramente, o usuário não teria outros gastos (uso diário da internet), basta ativar o Bluetooth do dispositivo móvel. Além disso, já estava disponível no *campus*, para serem realizados protótipos e testes.

Em vez de estarem nas portas padrão de RX E TX (0 e 1, respectivamente), os jumpers estão nas portas 10 e 11 (para representar RX e TX), pois ao tentar carregar o código para a placa Arduino quando a conexão era na porta padrão, dava erro e era necessário remover estes jumpers para poder efetuar o carregamento. Era como se a informação passasse direto para o outro lado da comunicação, como se estivesse tentando configurá-lo com o código que estava sendo carregado.

2.3.3. RTC

O contador de tempo do próprio Arduino perde a precisão depois de algum tempo, pois os milissegundos atrasados quando se acumulam podem tornar uma diferença notável no controle de tempo.

Em virtude disso, foi utilizado no projeto o RTC (Real-time clock), cujo modelo foi o DS1302, para informar o horário (dia, mês, ano, hora, minuto e segundos) da medição, a fim de formar o gráfico de acordo com a ordem em que as medições foram feitas. Além disso, ele possui uma bateria para preservar as informações mesmo que o Arduino esteja desligado, ou seja, quando ele detectar falhas de energia, ela é acionada, mas, mesmo assim, o dispositivo tem baixo consumo de energia.

2.4. Protocolo de comunicação

Para estabelecer a comunicação de forma padronizada, um protocolo foi criado para enviar pacotes de dados e receber, tanto na parte do Arduino quanto na parte do aplicativo. Os pacotes podem ser de dois tipos, ou de dados sobre a frequência cardíaca e o horário ou de confirmação do recebimento.

Envio de pacotes pelo Arduino

O pacote enviado pelo Arduino é o “pacoteBPM”, ele é formado por 9 bytes que contém dados sobre a frequência cardíaca e sobre o horário em que ela foi detectada. Para garantir que envio será feito, uma máquina de estados foi criada, onde tem o estado de medição, para medir a frequência, o estado de envio, que ficará responsável por enviar o pacote via Bluetooth e o estado de esperar a confirmação do recebimento, para garantir que o pacote foi entregue.

Para dar mais confiabilidade ao sistema, implementamos um buffer circular para armazenar temporariamente os pacotes antes de serem enviados para o aplicativo, pois caso aconteça alguma falha na comunicação, os dados estarão seguros para que sejam enviados

assim que estabeleça a comunicação novamente. Ou seja, assim que o pacote for formado, ele é adicionado no buffer circular para poder ser enviado e logo após receber a confirmação do recebimento, ele é apagado do buffer.

Recebimento de pacotes no Android

No projeto Android, há o pacote `protocoloComunicação` que contém as classes `PacoteConfirmação.java` e `PacoteDadosBPM.java`, ambas com structs equivalentes no código fonte do Arduino

O pacote de confirmação só é enviado com o código 0 (zero) via Bluetooth quando todos os campos do `PacoteDadosBPM` estiverem preenchidos. Caso contrário, essa variável será enviada com valor 1, requisitando ao Arduino que o mesmo envie novamente.

Pacote de confirmação

O pacote de confirmação contém dois bytes, ele é formado pelo identificador do seu respectivo pacoteBPM e um código para assegurar o recebimento dos dados, ou seja, se o Arduino receber do aplicativo um pacote com código 0, indica que o pacote de dados sobre a frequência foi recebido com sucesso, caso seja 1, houve perda de informações.

3. Resultados

Após os estudos realizados, pode-se afirmar que é possível construir uma tecnologia eficiente e de forma barata para solucionar o problema da falta de monitoramento da frequência cardíaca. Assim, o custo-benefício do projeto é ótimo quando comparado a outros aparelhos similares disponíveis no mercado, pois o sistema traz novas funcionalidades e o custo com os materiais para o desenvolvimento do projeto é menor.

3.1. Tentativas que falharam

Em uma primeira tentativa, utilizamos um LED vermelho que ficava em cima do dedo e um resistor dependente de luz (LDR), que quando havia uma quantidade considerável de sangue, a luz não passava totalmente, já quando não havia, a luz conseguia atravessar em maior quantidade, assim, alterando o valor da fotoresistência, que através de cálculos, é possível obter a frequência cardíaca. Porém, quando o LED incide sobre o LDR, ele aquece o dedo e altera o fluxo sanguíneo no dedo, fazendo com que o valor obtido seja diferente da frequência real. Além disso, o potenciômetro tinha que estar regulado (na posição correta da resistência que possibilitasse uma leitura analógica com variações mais amplas), entretanto, não conseguimos identificar a posição certa. Este protótipo utilizava o princípio da transmitância, ou seja, conhecendo a quantidade de luz que foi emitida e detectando a quantidade que foi recebida pelo outro sensor (que conseguiu passar pelos tecidos capilares).

Numa outra tentativa, foram utilizados dois LEDs infravermelhos, onde um era emissor e outro receptor. O emissor enviaria um sinal, se não chegasse o feixe de luz infravermelha no receptor, significaria que o sinal foi bloqueado pelo sangue (foi refletido para outra direção), caso contrário, o fluxo sanguíneo era baixo, e assim, realizando cálculos, seria possível calcular saber a frequência cardíaca. Este protótipo também utilizava o princípio da reflectância, explicado anteriormente.

Outro problema encontrado foi a imprecisão dos valores obtidos, os circuitos foram soldados para evitar ruídos, mas mesmo assim, a variação da frequência cardíaca era muito grande, chegando a ser facilmente percebida como irreal. Através de pesquisas identificamos o mesmo problema em outros projetos semelhantes, os valores obtidos não demonstravam aparência de serem reais (variações exorbitantes). Isto, pode ter sido ocasionado também por causa da posição dos LEDs no dedo. Em virtude disso, decidimos migrar para o sensor de pulso para dar mais precisão na leitura e confiabilidade no sistema.

Mais uma dificuldade encontrada foi a elaboração do cronograma, pois era preciso estabelecer tempo para realizar as atividades, entretanto, não sabíamos das suas respectivas complexidades, então tínhamos que colocar prazos que não fossem curtos, mas também não poderíamos superdimensioná-los, logo, o cronograma se alterava a cada tarefa realizada ou atrasada.

Assim como o uso de qualquer outra ferramenta ou tecnologia, a programação no Android Studio possui uma curva de aprendizado, pois, além de ser em Java, possui a API exclusiva do Android. A organização entre *Activities*, *Fragments*, a organização em pacotes e a configuração do *App* requerem intensa dedicação antes de começar o projeto.

Embora tenha o intuito de facilitar a programação, a IDE pode ser a origem dos primeiros problemas no desenvolvimento. A instalação, muitas vezes é realizada de forma incompleta, necessitando realiza-la novamente. Não há estabilidade quando são realizadas atualizações (updates), tanto na ferramenta quanto do SDK. Ela requer muita memória RAM, o que pode impossibilitar o uso de outras aplicações no mesmo computador ou mesmo testar o projeto no emulador.

4. Conclusão e trabalhos futuros

Após os estudos realizados nesse trabalho, pode-se concluir que este projeto demonstra que com materiais de preço acessível, é possível desenvolver aparelhos para monitoramento da frequência cardíaca.

Em uma perspectiva futura, mapearemos a frequência cardíaca por atividade física, para possibilitar um monitoramento mais amplo, visto que ela mudará de acordo com as atividades que estejam sendo realizadas pelo usuário, isto é, se ele estiver correndo, sua faixa ideal de frequência cardíaca será diferente da faixa ideal de quando ele está em repouso.

Além disso, fornecer a possibilidade de utilizar o sistema com internet, para poder enviar uma notificação para o cardiologista e familiares do usuário ou até mesmo disponibilizar o acesso a essas informações para eles. Assim, o projeto transforma-se em uma tecnologia com suporte para E-health (aplicações que auxiliam no atendimento e diagnóstico em processos clínicos, ou seja, não precisa que o médico esteja no mesmo ambiente físico que o paciente).

Outra funcionalidade a ser adicionada é a de se comunicar com um medidor de pressão digital, visto que é de fundamental importância informá-la ao profissional de saúde para evitar/combater possíveis doenças. A pressão arterial é diretamente proporcional a frequência cardíaca, ou seja, se a frequência cardíaca aumenta, a pressão arterial também aumentará, ou ambas diminuirão. Após estabelecer a comunicação, o profissional de saúde estabelecerá horários para a aferição da pressão arterial do usuário, pois seria um grande incômodo portar o medidor durante todo o dia.

Bibliografia

<http://docediet.com/dicas-de-treino/7-respostas-rapidas-para-novatos-em-monitores-cardiacos/>

<http://www.minhavidade.com.br/saude/temas/arritmia>

<http://diyhacking.com/arduino-ldr-sensor/>

<http://mundoestranho.abril.com.br/saude/qual-e-o-limite-maximo-e-o-minimo-para-os-batimentos-cardiacos/>

<http://www.instructables.com/id/Homebrew-Arduino-Pulse-Monitor-Visualize-Your-Hear/?ALLSTEPS>

[JENKINS, PEGGY: Interpretação do Eletrocardiograma em Enfermagem: Coleção Nurse to Nurse – 2011](#)

<http://pulsesensor.com/pages/pulse-sensor-amped-arduino-v1dot1>

<https://docs.google.com/document/d/1FVFffuKD9OnkTOwxs3dVaxp5LYb4S1aj65MS6lvIZbA/edit>

https://pt.wikipedia.org/wiki/Rel%C3%B3gio_de_tempo_real

<http://eportuguese.blogspot.com.br/2009/11/o-que-e-ehealth-voce-sabe.html>

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Cibermedicina>

<http://www.sbh.org.br/geral/faq.asp>

<http://www.discombobulate.me/workshop/arquetipos/plano-de-aula-arquetipos/sensores/pulse-sensor/>

<http://embedded-lab.com/blog/introducing-easy-pulse-a-diy-photoplethysmographic-sensor-for-measuring-heart-rate/>

<https://github.com/googlesamples/android-BluetoothChat>

<https://github.com/HackPlan/AndroidCharts>

Anexos

Diagrama de casos de uso

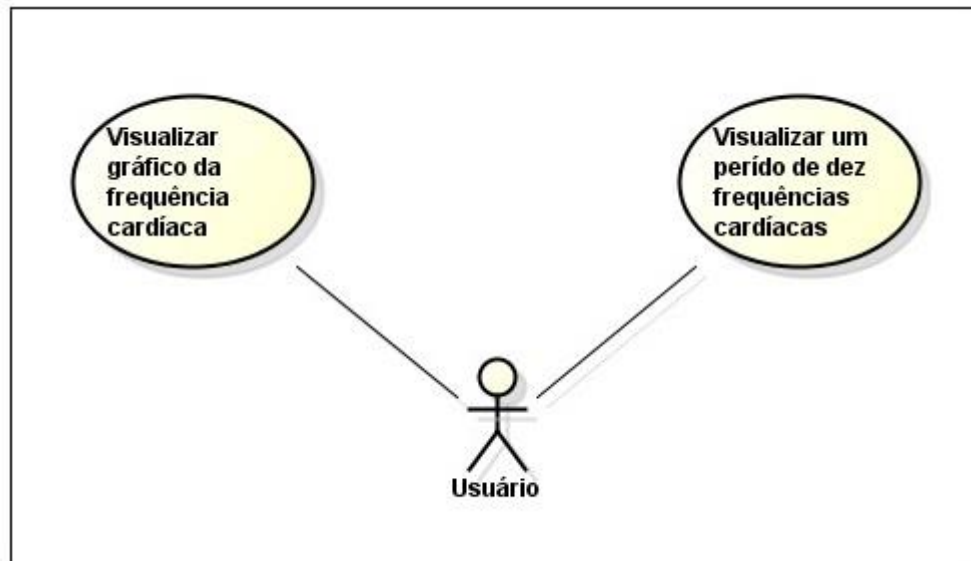
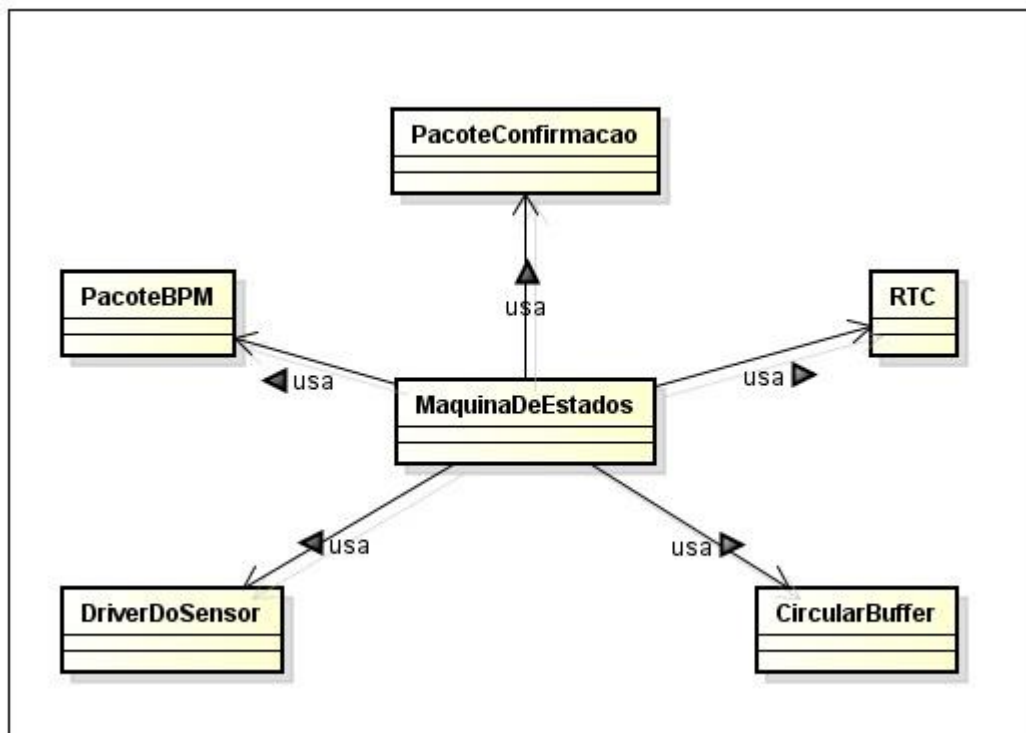


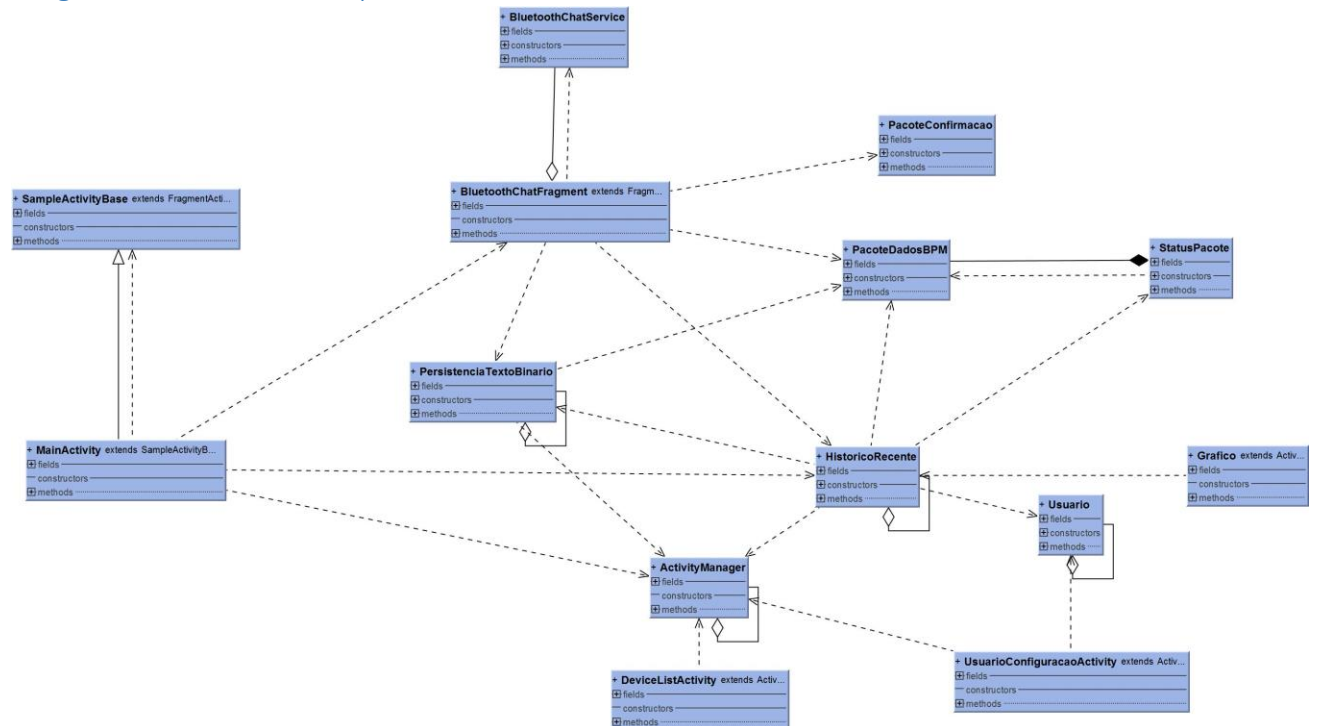
Diagrama de classes do Arduino



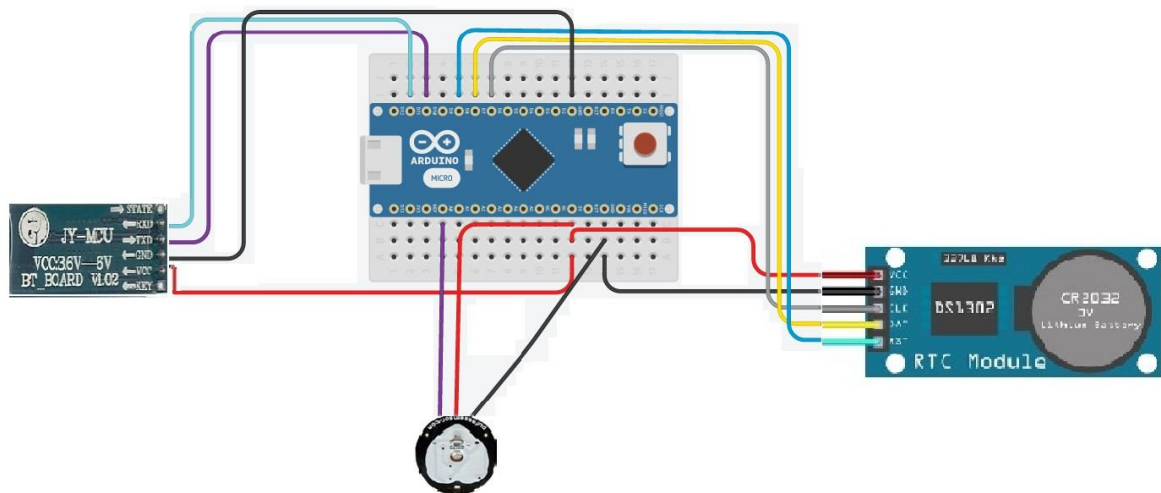
Atributos e métodos do diagrama do aplicativo



Diagrama de classes do aplicativo



Circuito



Pino do módulo Bluetooth JY-MCU	Porta de saída do Arduino
RX	11 (digital)
TX	10 (digital)
GND	GND
VCC	5V

Pino do Pulse sensor	Porta de saída do Arduino
(+)	3,3V ou 5V
(-)	GND
S	A0 (analógica)

Pinos do RTC	Porta de saída do Arduino
VCC	5V
GND	GND
RST	8 (digital)
DAT	7 (digital)
CLK	6 (digital)

Documento de requisitos

1. Descrição do problema

A aferição dos batimentos cardíacos/frequência cardíaca é necessária e importante como forma de *check-up* ou de controle sobre situações onde o risco de desenvolvimento de alguma doença é alto, quando o paciente é portador de alguma patologia crônica ou quando pequenas alterações nessa taxa são significantes em seu desempenho, como para atletas. Nesses casos o monitoramento constante é preferível, o que pode atrapalhar a rotina ou mesmo requisitar algum conhecimento técnico, além da necessidade de armazenamento desses dados.

O sistema construído atende tais necessidades, além da análise gráfica dos dados obtidos, informando quando os valores estão abaixo ou acima dos esperados, utilizando o conceito de tecnologia vestível para não alterar a rotina do usuário.

2. Priorização dos requisitos

Os requisitos serão priorizados através de numeração, eles podem ser classificados entre 0 e 5 (onde o 1 representa prioridade baixa, o 3 é normal e o 5 é alta).

3. Requisitos funcionais

Identificação	Descrição	Prioridade
RF01	Obter frequência cardíaca em um período regular.	5
RF02	Enviar/receber dados via Bluetooth.	5
RF03	Monitorar a frequência cardíaca.	5
RF04	Exibir os dados obtidos em um aplicativo Android.	5
RF05	Armazenar os dados obtidos no dispositivo móvel.	5
RF06	Armazenar temporariamente os dados obtidos no Arduino, antes de enviar para o dispositivo móvel	5
RF07	Notificar o usuário quando ele estiver fora da faixa de frequência ideal.	5

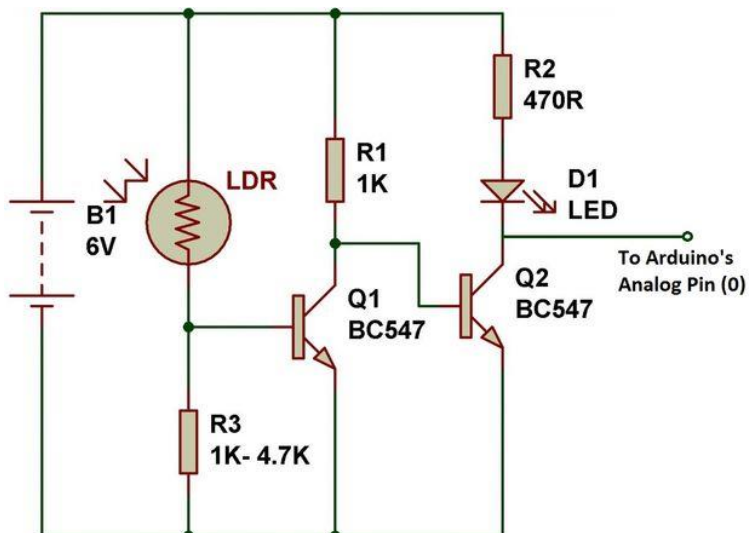
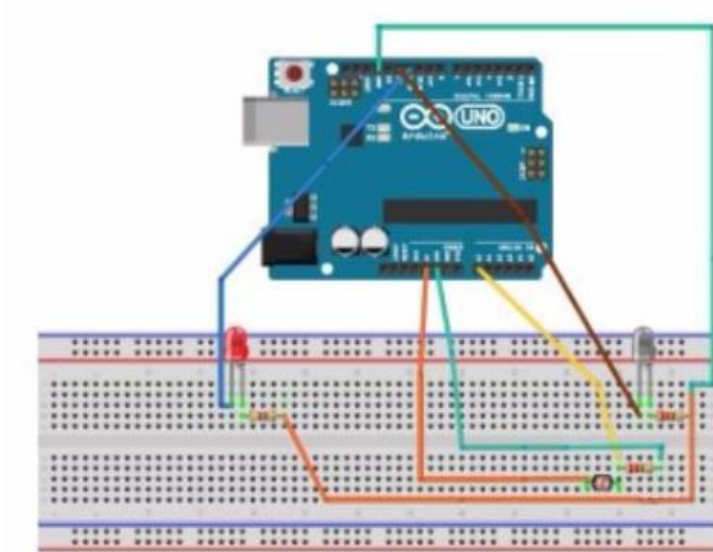
4. Requisitos não funcionais

RNF01 – As informações devem estar organizadas por data de envio do pacote;

5. Requisitos de negócio

RN01 – A faixa ideal de batimentos cardíacos deve ser indicada por um cardiologista.

Tentativas que falharam – LDR



Tentativas que falharam – LED infravermelho

