

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DAELN - DEPARTAMENTO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA

LILIAN CAROLINE CAVA E LUCIANA GONÇALVES DE MELLO

**DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO DE DESEMPENHO DE ATLETAS
NO TREINO DE FUTEBOL AMERICANO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2018

LILIAN CAROLINE CAVA E LUCIANA GONÇALVES DE MELLO

**DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO DE DESEMPENHO DE ATLETAS
NO TREINO DE FUTEBOL AMERICANO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Daniel Rossato de Oliveira
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CURITIBA
2018

LILIAN CAROLINE CAVA
LUCIANA GONÇALVES DE MELLO

DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO DE DESEMPENHO DE ATLETAS NO TREINO DE FUTEBOL AMERICANO

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletrônico, do curso de Engenharia Eletrônica do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN) outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). As alunas Lilian Caroline Cava e Luciana Gonçalves de Mello foram arguidas pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Curitiba, 23 de Novembro de 2018.

Prof. Dr. Robinson Vida Noronha
Coordenador de Curso
Engenharia Eletrônica

Prof^a. Dr^a. Carmen Caroline Rasera
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Eletrônica do DAELN

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Daniel Rossato de Oliveira
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

Prof. Dr. Bruno Sens Chang
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Luciano Scandelari
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Eletrônica.

Dedicamos este trabalho a nossas famílias e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todas as pessoas que contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho.

Ao nosso orientador Daniel Rossato de Oliveira por toda orientação e ajuda ao longo do desenvolvimento do trabalho.

A nossas famílias: Gerson Cava, Rosana Mara de Oliveira Cava, Lucas Eduardo Cava, Silvana Pereira, Arthur Muller Paludetto, familiares da aluna Lilian Caroline Cava; Luiz Ernesto Lima de Mello, Sonia Gonçalves de Mello, Maria Cristina Horst, Giovanni Crollantti de Mello, Fábio Milléo e Joshua Wroe, familiares da aluna Luciana Gonçalves de Mello, por todo apoio não só durante a realização deste trabalho, mas também ao longo do curso e da vida, em que não mediram esforços para que conseguíssemos alcançar nossos objetivos.

Ao Eric Hideo Yoshitome, João Vitor Rodrigues da Cruz, Klaus Both e Paulo Vitor Ludewig, por se tornarem grandes amigos, fazendo esses cinco anos bem melhores.

Ao professor Luciano Scandelari pelo fornecimento dos kits de desenvolvimento utilizado no projeto.

Ao amigo Marco Antônio Chiodi Junior pela indicação do projeto, bem como pela ajuda no desenvolvimento do mesmo.

À Lila, Jairo e Simba, pelo apoio moral durante todo o curso.

Ought not every woman, like every man, to follow the bent of her own talents? (STAËL, Anne Louise Germaine, 1807).

RESUMO

CAVA, Lilian C. e MELLO, Luciana G.. Dispositivo de Medição de Desempenho de Atletas no Treino de Futebol Americano. 2018. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Neste trabalho foi desenvolvido um dispositivo de baixo custo para medição automática de tempos de corrida de 40 jardas para treino de futebol americano. Para isso foi desenvolvido sistema contendo três módulos de medição, a serem colocados no início, no fim e em um ponto intermediário da trajetória do atleta, e um módulo de processamento. Este último é responsável por soar a buzina de início de corrida, receber os sinais de passagem do atleta nos módulos de medição por meio de ondas de rádio e marcar o tempo em que isto ocorre. A central de processamento também é responsável pela comunicação por Bluetooth com o aplicativo. O aplicativo, por sua vez, atua como interface de usuário do sistema possibilitando a inicialização e cancelamento da corrida, assim como a visualização organizada dos resultados do treino em forma de tabelas e gráficos.

Palavras-chave: Cronometro eletrônico. Alternativa nacional. Eletrônica no Esporte.

ABSTRACT

CAVA, Lilian C. e MELLO, Luciana G.. Football Practice Performance Measurement Device. 2018. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

This project consists of the development of a low cost automatic timing system for 40 yard sprints during american football practice. The system is formed by three measurement modules and one processing module. The measuring modules are placed at the start, the end and at an intermediate point along the athlete's trajectory. The processing module is responsible for sounding the initial buzzer that starts the sprint, receiving the radio signals from the measuring modules that the athlete has passed, and marking the timestamp of those signals. This module is also responsible for communication with the mobile app through Bluetooth. The app acts as a user interface that allows the user to start and stop the sprints, as well as displaying the results in tables and graphs.

Keywords: Automatic chronometer. National Alternative. Electronics in sport.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Países com a maior quantidade de torcedores da NFL fora dos Estados Unidos	13
Figura 2 – Diagrama do projeto	16
Figura 3 – Colete com a tecnologia Playertek	22
Figura 4 – Meia com equipamento Zepp	23
Figura 5 – Timing gates Dashr	24
Figura 6 – Medição por RFID e tapetes	25
Figura 7 – XD-FST e XD-RF-5V	31
Figura 8 – Resposta em Frequência da Antena	32
Figura 9 – Esquemático do módulo de medição	34
Figura 10 – PCB do módulo de medição	35
Figura 11 – Módulo de Medição	35
Figura 12 – Sensor E18-D80NK-N	36
Figura 13 – Diagrama do sensor E18-D80NK-N	37
Figura 14 – Tempo de comunicação entre módulos	38
Figura 15 – Esquemático do módulo de processamento	38
Figura 16 – PCB do módulo de processamento	39
Figura 17 – Módulo de Processamento	39
Figura 18 – STM32VLDISCOVERY	40
Figura 19 – Regulação de tensão da STM32VLDISCOVERY	40
Figura 20 – HC-05	41
Figura 21 – a) Tela de boas vindas, b) Tela de cadastros e c) Tela principal	43
Figura 22 – a) Tela de Tabelas e b) Tela de Gráficos	44
Figura 23 – Configuração Cube MX	46
Figura 24 – Fluxograma da Máquina de Estados	47
Figura 25 – Base sem Módulo de Medição	51
Figura 26 – Protótipo Desmontado	52
Figura 27 – Proteção Módulo de Medição	53
Figura 28 – Proteção Módulo Central	53
Figura 29 – Protótipos Finalizados	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação com o cronômetro	55
Tabela 2 – Custos de cada módulo de medição	58
Tabela 3 – Custos do módulo de processamento	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DAELN	Departamento de Eletrônica
CBFA	Confederação Brasileira de Futebol Americano
NFL	“National Football League” (Liga Nacional Americana de Futebol Americano)
SP	“Single Beam” (Feixe simples)
DP	“Double Beam” (Feixe duplo)
NR	“No-reflector” (Sem reflexão)
CI	Circuito Integrado
RF	Rádio Frequência
SQL	“Structured Query Language”
SPP	“Serial Port Protocol”
API	“Application Programming Interface”

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo Geral	15
1.1.2 Objetivos Específicos	15
1.2 METODOLOGIA RESUMIDA	15
2 – REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 COMPARAÇÃO DA MEDIÇÃO ELETRÔNICA COM A MEDIÇÃO MANUAL	17
2.2 COMPARAÇÃO ENTRE OS DIFERENTES MÉTODOS DE MEDIÇÃO ELETRÔNICA	18
3 – REVISÃO DO MERCADO	21
3.1 WEARABLES	21
3.2 TIMING GATES	23
3.3 TIMING MATS	25
4 – METODOLOGIA	26
4.1 ESTUDO DOS SENSORES	26
4.2 ESTUDO DOS MICROCONTROLADORES DISPONÍVEIS	26
4.3 ESTUDO DA TRANSMISSÃO SEM FIO	26
4.4 ESTUDO DO ARMAZENAMENTO DE DADOS	26
4.5 DIMENSIONAMENTO DO CONSUMO	26
4.6 REALIZAÇÃO DE TESTES EM PROTÓTIPO	26
4.7 DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE COM O USUÁRIO	27
4.8 INTEGRAÇÃO DAS GRANDES PARTES DO SISTEMA	27
5 – DESENVOLVIMENTO	28
5.1 HARDWARE	28
5.1.1 Fonte de alimentação	28
5.1.2 Regulagem de tensão	30
5.1.3 A comunicação RF	30
5.1.4 Antenas	31
5.1.5 Codificação e Decodificação	33
5.1.6 Módulo de medição	33
5.1.6.1 Sensor Infravermelho	34
5.1.6.2 Circuito de atraso de sinal	36
5.1.7 Módulo de processamento	37

5.1.7.1	Microprocessador	38
5.1.7.2	Módulo Bluetooth	40
5.1.7.3	Aviso Sonoro	41
5.2	SOFTWARE	42
5.2.1	Banco de Dados	42
5.2.2	Layouts e funcionamento	42
5.2.3	Bibliotecas Utilizadas	44
5.2.4	Handshake com o microcontrolador	45
5.3	FIRMWARE	45
5.3.1	Bibliotecas Utilizadas	45
5.3.2	Máquina de Estados	46
5.3.3	Handshake com o APP	49
5.4	PROTÓTIPO	50
5.4.1	Base	50
5.4.2	Proteção para as Placas	52
6	– ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	55
6.1	Comparação com Cronômetro Manual	55
6.2	Distâncias Máximas	56
6.2.1	Módulo de Medição e Central	56
6.2.2	Bluetooth e Central	57
6.3	Resposta à Luminosidade	57
6.4	Custo do projeto	57
7	– CONCLUSÃO	59
	Referências	61

1 INTRODUÇÃO

O futebol americano tem visto uma crescente popularidade no Brasil. Segundo dados do canal ESPN foi registrada uma média de 123 mil espectadores na temporada de 2013/14, o que representou um aumento de 132% em relação à temporada do ano anterior (CASTRO, 2014). A mesma emissora afirma que entre os anos de 2013 e 2016 a audiência no esporte aumentou 800% (MACEDO, 2017). O Brasil é o terceiro maior país em número de torcedores da competição americana Liga Nacional De Futebol Americano (NFL) fora dos Estados Unidos, como pode ser visto na Figura 1, gráfico da STATISTA (2015) com os dados obtidos pela GlobalWebIndex.

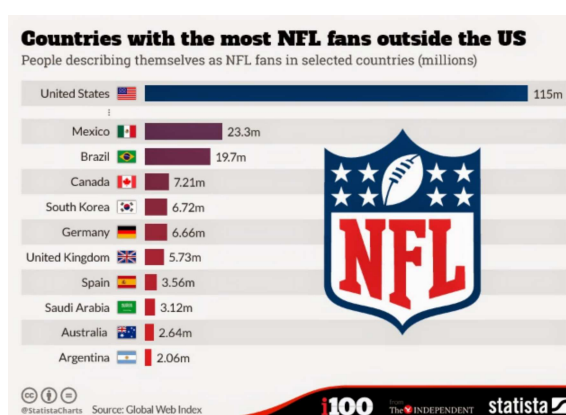


Figura 1 – Países com a maior quantidade de torcedores da NFL fora dos Estados Unidos

Fonte: STATISTA (2015)

Devido a esta crescente popularidade, novos times e campeonatos surgiram e uma maior organização e investimentos se tornaram necessários. No Brasil o esporte é gerido pela Confederação Brasileira de Futebol Americano (CBFA), existente desde 2013, que é reconhecida pela Federação Internacional de Futebol Americano (IFAF). Segundo este órgão, existem 279 times de futebol americano atualmente no Brasil (CBFA, 2018) mais a seleção brasileira.

O uso da tecnologia no esporte não é exclusividade do futebol americano, é cada vez mais presente nos esportes, principalmente em eventos oficiais. Recursos como o “desafio” no Voleibol, o “Hawk-eye” utilizado no tênis, críquete e rugby, e o VAR introduzido pela FIFA na última Copa do Mundo de Futebol são ferramentas que ajudaram a tornar as competições mais justas. Além destas técnicas de auxílio a arbitragem, a tecnologia é um aspecto importante na preparação física dos atletas e desempenho nos treinos e jogos em forma de vestuário mais avançado, equipamentos médicos, monitoramento anti-dopping, aquisição de dados do desempenho, entre outros (NEPTUNE; MCGOWAN; FIANDT, 2009). O uso de tecnologia nos treinos fornece ao treinador ou preparador físico mais dados com os quais são tomadas decisões importantes, o que por sua vez constitui em vantagem técnica e maior competitividade em

relação aos outros times que não utilizam estes recursos (MAGDALINSKI, 2008).

Porém, apesar deste constante crescimento de popularidade nos últimos anos, a estrutura e a tecnologia de apoio a este esporte não cresce no mesmo ritmo no país (FRONTELMO; RIBEIRO, 2006). Tecnologias já há muito tempo utilizadas no exterior são difíceis de encontrar no Brasil, precisam ser importadas e portanto tornam-se muito caras para os times brasileiros. A falta de patrocínio e retorno financeiro aos clubes faz com que grande parte deles não possam arcar com o custo alto das tecnologias utilizadas no exterior.

O método atual de marcação de tempo dos times brasileiros é o cronômetro manual, que apesar de ser barato e largamente disponível, apresenta vários problemas para o técnico e sua equipe. O cronômetro manual depende da rapidez do reflexo do usuário para marcar o tempo de largada e de chegada. Este equipamento também está propenso a erros humanos, o que não é o caso de um sistema eletrônico (HETZLER et al., 2008). A necessidade de acionar o cronômetro ainda tira a atenção do técnico de outros fatores que devem ser avaliados em uma corrida, como a passada e a postura do atleta. Um sistema de medição automático dá a possibilidade ao técnico de avaliar melhor estes outros aspectos da corrida, ou caso fosse desejado, pudesse focar sua atenção em outras atividades enquanto dados são coletados sobre seus atletas de forma automática.

Além da maior precisão e consistência (EBBEN; PETUSHEK; CLEWEIN, 2008), um sistema eletrônico tem uma grande vantagem na questão da armazenagem, organização e tratamento dos dados. Em uma partida, entram em campo 11 jogadores de cada time e as substituições são ilimitadas (NFL, 2018). Portanto é comum, quando o time está com a posse da bola, os 11 jogadores serem atacantes, e quando o adversário tem a posse de bola os 11 jogadores em campo serem defensores. Para ter esta opção, cada time deve ter muitos jogadores. Isso faz com que a quantidade de dados coletada em um treino possa ser muito grande e seu gerenciamento manual seja complicado e de difícil interpretação posterior, o que atrapalha a avaliação do progresso de cada jogador e a comparação entre eles.

Os “try-outs”, como são chamados os recrutamentos de novos atletas, as vezes envolvem mais de 60 atletas e a coleta dos dados de todos os exercícios atualmente são coletados a mão, por vezes simultaneamente por mais de uma pessoa, o que pode criar divergências nos critérios de medição e uma reduzida confiabilidade dos dados coletados. A quantidade de atletas e dados faz com que este processo seja cansativo para a equipe técnica do time, de difícil organização e muito propenso a erros. Em um sistema de aquisição de dados automático integrado a um processamento adequado pode fornecer esta organização que facilitaria a melhor avaliação do desempenho e o progresso ao longo do tempo da equipe.

A corrida de 40 jardas é o evento mais utilizado para os “try-outs” das equipes neste esporte. São avaliados a velocidade, a habilidade em correr uma rota em poucos segundos e a explosão de um local estático (Liga dos 32, 2016). No evento de avaliação de atletas para a NFL, o Combine, a corrida de 40 jardas é um dos eventos mais importantes, sendo utilizada para avaliar a condição física de jogadores novos e reavaliar os profissionais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema eletrônico para medição automática de tempos no treino de 40 jardas de atletas de futebol americano, de forma que seja de baixo custo e de simples montagem em campo.

O sistema identifica a passagem do atleta em certas partes do percurso e marca o momento em que isso acontece com uma precisão de ao menos um centésimo de segundo, precisão que é atualmente utilizada pelo técnico para tomar decisões. Estas marcações são então enviadas a uma central que os processa e os envia ao aplicativo. Este por sua vez, mostra ao operador de forma intuitiva os dados em forma de gráficos e tabelas, que possibilitam a comparação dos melhores tempos do atleta ao todo, melhores tempos do atleta em determinado período e uma classificação geral dos atletas por período.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Desenvolvimento de um aplicativo Android através do qual o usuário recebe as informações de tempos dos atletas no formato de gráficos e tabelas que facilitam a visualização e a tomada de decisões por parte do usuário em campo. Sendo possível a comparação dos melhores tempos entre todas as corridas do atleta, melhores tempos do atleta em um período específico (dia/semana/mês) e melhores tempos de todos os atletas por período.
- Desenvolvimento de hardware específico para as bases de medição que marcam a passagem do atleta e enviar dados de modo sem fio à central de processamento.
- Desenvolvimento de hardware de acoplamento da comunicação sem fio ao microcontrolador, servindo como central de processamento.
- Desenvolvimento de código para microcontrolador escolhido para efetuar as marcações corretas de tempo e fazer o interfaceamento com a comunicação sem fio com os módulos de medição e com o aparelho celular.

1.2 METODOLOGIA RESUMIDA

Como está apresentado no diagrama da Figura 2, o projeto pode ser dividido basicamente em dois tipos de módulos. Os módulos de medição são aqueles onde os sensores de presença estão colocados. Estes módulos são alocados ao longo da trajetória do atleta para verificar sua passagem. Para fins deste projeto, foram desenvolvidos três módulos de medição que são colocados no início, no fim e em um ponto intermediário da trajetória. Na passagem do atleta por um sensor, o módulo de medição correspondente envia um sinal para o módulo de processamento. Este é único e responsável pela marcação do tempo em si, assim como a comunicação com a interface de usuário. Para tal interfaceamento foi desenvolvido um aplicativo para Android que mostra os resultados adquiridos na forma de gráficos e tabelas e

classificação dos atletas. Um maior detalhamento da metodologia seguida está mostrado no Capítulo 4.

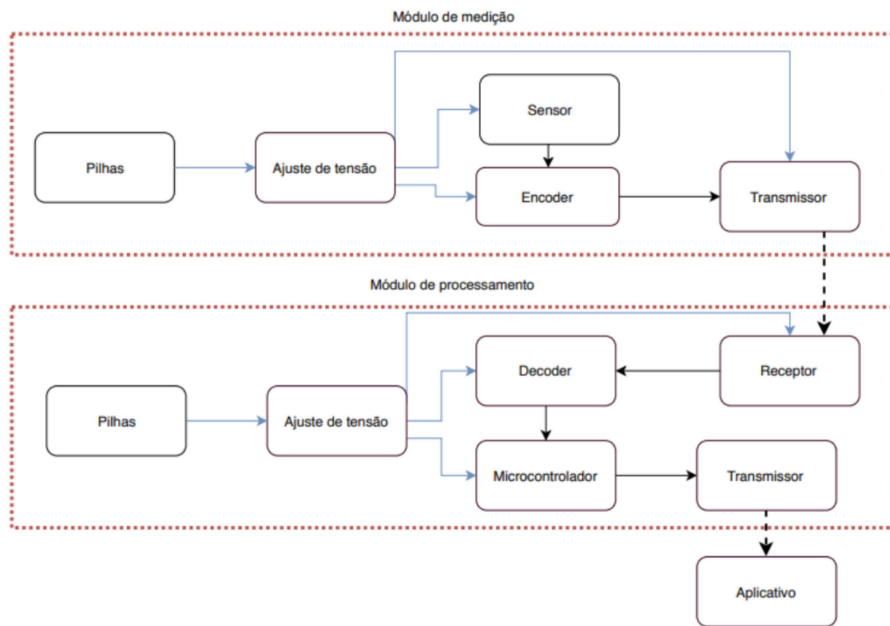


Figura 2 – Diagrama do projeto

Fonte: Autoria Própria

2 REVISÃO DE LITERATURA

Para o desenvolvimento deste trabalho foi feita pesquisa sobre o estado da arte de cronômetros automáticos e outros dispositivos similares para medição de velocidade e aceleração de atletas. Também foram pesquisados artigos científicos que fizeram a comparação de sistemas automáticos com a medição manual. Neste capítulo são apresentados resumidamente os resultados dos trabalhos encontrados.

2.1 COMPARAÇÃO DA MEDIÇÃO ELETRÔNICA COM A MEDIÇÃO MANUAL

Primeiramente foram pesquisados documentos que comparassem a medição eletrônica com a medição manual com uso de cronômetro a fim de verificar as principais vantagens e desvantagens de um método com relação ao outro, ajudar na justificativa de um sistema eletrônico de medição e auxiliar na decisão da metodologia a ser utilizada neste projeto.

A comparação da precisão e confiabilidade dos dados adquiridos eletronicamente com dados adquiridos de forma manual apresenta um desafio na literatura. Desde a primeira metade do século XX Speakman (1931) já buscava uma alternativa de medição que pudesse ser independente do tempo de reação humana ao estímulo inicial da corrida.

Tradicionalmente considera-se que os tempos medidos manualmente sejam de 0,22 a 0,24 segundos mais rápidos do que os tempos medidos eletronicamente (HETZLER et al., 2008). Em um estudo específico para corridas de 40 jardas foi encontrada uma diferença de 0,27 segundos sendo o tempo medido manualmente mais rápido para todos os 90 corredores testados, sem exceção (EBBEN; PETUSHEK; CLEWEIN, 2008). Porém os estudos atualmente encontram diferenças muito variáveis entre estes dois métodos, de 0,08 segundos até 0,31 segundos de diferença (MANN et al., 2015). Além destas discrepâncias entre estudos, Moore et al. (2007) concluem, contrários aos resultados da grande maioria dos estudos, que nem sempre os tempos medidos manualmente são menores do que aqueles medidos de forma eletrônica. Por sua vez, Hetzler et al. (2008) conclui em seu estudo que os tempos medidos manualmente não podem sequer ser corrigidos de forma confiável para representar um valor de medição eletrônica para comparação. Mayhew et al. (2010) afirma que outros fatores que não a estratégia de medição podem influenciar nesta diferença encontrada entre os estudos, como por exemplo a vestimenta dos atletas e tipo de superfície de corrida.

Apesar das dificuldades de comparação entre as medições manuais e eletrônicas e seus diferentes resultados, Mayhew et al. (2010), Hetzler et al. (2008), Mann et al. (2015), Earp e Newton (2012) e Ebben, Petushek e Clewein (2008) encontraram que a medição eletrônica é mais precisa e é preferível em relação à cronometragem manual, porém com a grande desvantagem de seu custo, principal razão pela qual a medição manual continua sendo amplamente utilizada.

2.2 COMPARAÇÃO ENTRE OS DIFERENTES MÉTODOS DE MEDIÇÃO ELETRÔNICA

Em seguida foi feita uma pesquisa em artigos científicos sobre o estado da arte de cronômetros automáticos e outros dispositivos similares para medição de velocidade e aceleração de atletas. Neste capítulo serão listados e definidos os produtos e métodos que foram já utilizados para fazer as medições pretendidas neste projeto, assim como suas vantagens e desvantagens.

Um dos métodos mais utilizados para temporização de corridas em geral é o uso de fotocélulas como sensores de presença para a detecção da passagem do atleta. A medição através deste método pode ser feita de vários modos. Quanto à natureza do sensor utilizado, existem sistemas que utilizam um único feixe para detecção da passagem do atleta (SB) e sistemas de feixe duplo (DB), compostos de dois feixes simples alinhados verticalmente e separados a uma distância determinada. Quanto à instalação física do sistema, a altura na qual é posicionado o sensor e a separação entre os sensores mostram-se parâmetros importantes. Quanto à interpretação dos dados lidos pelo sensor, o gatilho do temporizador pode ser interpretado como sendo a primeira interrupção que acontece no sensor ou a interrupção mais longa, modo usualmente utilizado para evitar gatilhos falsos do sensor por interrupção com os braços ou pernas do atleta.

Yeadon, Kato e Kerwin (1999) concluíram em seu estudo que os dados coletados pelos sensores de menor altura tem menor desvio em relação aos dados adquiridos pelos sensores que estavam posicionados mais acima, e portanto recomendam que caso seja utilizado sensor SB, que este seja colocado na altura do quadril do atleta, de modo que somente uma parte do corpo passe pelo sensor. Os autores ainda concluíram que os erros na medição de velocidade eram inversamente proporcionais a separação das fotocélulas para sistemas SB. A técnica de interrupção mais longa teve pouca diferença neste estudo, mudando poucos resultados em relação aos dados pela técnica da primeira interrupção. Os parâmetros de separação dos sensores e a técnica de interrupção mais longa tiveram impacto insignificante no caso de sensores DB, mostrando que este método, apesar de mais caro, requer menos processamento de dados.

A conclusão de Yeadon, Kato e Kerwin (1999) sobre a importância da altura dos sensores foi novamente reafirmada por Cronin e Templeton (2008), que encontraram tempos mais rápidos nos sensores que foram colocados na altura dos quadris do que nos que foram colocados na altura dos ombros dos atletas. As médias das medidas adquiridas nas diferentes alturas diferiram de 0,07 segundos. Este resultado foi explicado pela interrupção do sensor de chegada pelas pernas do atleta antes do torso. Porém foi encontrado que esta diferença diminuiu com o aumento da distância da corrida, se tornando mais consistente a partir dos 20 metros de corrida quando o corpo toma uma posição mais ereta.

O estudo de Earp e Newton (2012) compara os métodos de medição de tempo com sensores de feixe simples (SB), duplo (DB) e sem reflexão (NR), estes últimos sendo sensores que dispensam um refletor do outro lado da pista de corrida. Apesar dos sensores de feixe

duplo apresentarem menos sinais falsos (como a passagem de um braço antes do torço, por exemplo) que o de feixe simples, foi encontrado que um processamento de sinais adequado é capaz de eliminar completamente todos os sinais falsos encontrados. O processamento de sinais utilizado neste estudo assume que a maior interrupção do sensor representa a passagem do torso. A diferença absoluta entre os métodos SB, DB e NR foi relativamente pequena de 5 a 17 ms. Porém o desvio padrão foi maior, de 12 a 42 ms, o que indica que a diferença dos tempos adquiridos pelos métodos é insignificativa a não ser que ocorram sinais falsos. Os autores concluem que em corridas mais longas (50 m ou 100 m) a variância relativa dos sistemas SB diminui significativamente, ficando dentro de 5 ms dos tempos marcados pela DB. Com o aumento da distância, são menores então os benefícios de recursos mais caros como DB ou processamento de sinais. Ainda de acordo com estes autores, os sensores NR são tão precisos quanto os SB, apesar disso tem a vantagem de serem mais rápidos e fáceis de transportar, diminuindo também significativamente o tempo de montagem do sistema em campo.

A diferença insignificativa entre os métodos SB e DP quando eliminados os sinais falsos também foi encontrada por Haugen et al. (2014). Porém, na presença de tais erros, quando braços cortam o sensor antes do torço, a diferença entre os dois métodos encontrada foi grande de 0.05 a 0.06 segundos para corridas de 0 m a 20 m. Esta diferença não se mostrou quando a comparação foi feita para corridas mais longas de 20 m a 40 m.

Quanto a marcação do início da corrida, a largada utilizando um botão de partida que é solto no início da corrida tem a grande vantagem de ser de simples implementação e compatível com a largada de três pontos que é geralmente utilizada em corridas de 40 jardas, na qual o atleta tem uma das mãos posicionadas no chão a frente do corpo. Porém, Haugen, TØnnessen e Seiler (2012) alertam que vídeos resultantes de seu estudo mostraram que corredores experientes tendem a mover o corpo antes de soltar o botão, atrasando o máximo possível o tempo de contagem da corrida.

Comparações entre tipos de medição completamente diferentes também estão presentes na literatura. Bond, Willaert e Noonan (2017) comparam três métodos. Uma câmera de alta velocidade previamente validada, um feixe único de fotocélula de infravermelho e um feixe único de laser com um microprocessador que faz o processamento de encontrar o início do maior corte do sensor, o que representaria o torço do corredor. Foi encontrado que os tempos marcados pela câmera foram significativamente mais rápidos que aqueles marcados pelos outros dois métodos e a variância dos dados deste método foi menor. Para estes autores, a presença de um processamento não eliminou completamente os erros de medição por braços, diferentemente de Earp e Newton (2012), com a explicação de que quando o braço passa no sensor antes do torço ele muitas vezes só aumenta a dimensão do torço na visão do microprocessador, que não detecta a falha. Apesar de terem encontrado que o sistema de vídeo é mais confiável que os outros métodos, os autores afirmam que a variação encontrada em seu estudo é mais dependente da altura do sensor, da inclinação do corpo e os membros de cada atleta do que

erros sistemáticos dos equipamentos.

3 REVISÃO DO MERCADO

Além das soluções e conclusões encontradas na literatura sobre o tema deste trabalho foram pesquisados equipamentos já disponíveis comercialmente no mercado que atendem a função de monitorar a velocidade de atletas. Os objetivos desta pesquisa foram: verificar os tipos de tecnologias utilizadas; verificar sua disponibilidade no Brasil; verificar se existem soluções nacionais para este fim; levantar os custos dos equipamentos existentes; levantar os tipos de alimentação utilizadas; e comparar as vantagens e desvantagens das tecnologias encontradas para auxiliar na decisão da metodologia utilizada neste projeto.

O escopo da pesquisa de mercado foi estendido em relação ao escopo do projeto pois foram pesquisados equipamentos para todos os esportes e não só específicos para o futebol americano. Isto foi feito a fim de registrar o maior número de tecnologias possível para a realização destas medições propostas.

Uma grande quantidade de soluções de acompanhamento de desempenho de atletas foi encontrada para uma grande variedade de esportes. Alguns equipamentos comerciais são capazes de aferir não só a velocidade de aceleração, como propomos neste projeto, mas também dados médicos do atleta como batimentos cardíacos e nível de fadiga, assim como medições específicas para cada esporte.

As tecnologias encontradas podem ser classificadas de forma geral em três grupos. Os dispositivos pequenos que são afixados às roupas ou equipamento dos atletas são conhecidos como "Wearables". Os "Timing Gates" são sensores fixados em cones ou tripés que marcam o temporizador quando o atleta passa por este sensor. Os "Timing mats" são tapetes colocados geralmente no início e no fim de uma corrida que funcionam em conjunto com RFID para marcar o temporizador quando o atleta passa por estes dispositivos. Nas seções seguintes serão descritos os resultados encontrados para cada um destes tipos, descritas suas especificações e funcionalidades, assim como o preço encontrado na data em que foi realizada a pesquisa.

3.1 WEARABLES

Wearables são dispositivos afixados no vestuário ou no equipamento que o atleta leva consigo durante os treinos ou partidas. São equipamentos pequenos, leves e de alta eficiência energética pensados para não atrapalhar o desempenho do atleta quando utilizados. Diferentemente dos dois outros tipos de equipamentos apresentados neste capítulo, os "Wearables" são geralmente capazes de medir muito mais do que a aceleração e velocidade dos atletas. Desenvolvidos na sua maioria para esportes coletivos, principalmente o futebol, estes dispositivos podem medir dados fisiológicos do atleta como batimentos cardíacos e nível de fadiga, assim como possibilitar com o processamento de seus dados, estatísticas coletivas principalmente um mapa dos locais do campo em que os jogadores passaram mais tempo, conhecido como

“heatmap”.

A parceira oficial da NFL é a Zebra Technologies, que desenvolveu um sistema de rastreamento dos jogadores em tempo real (ZEBRA, 2018). Dados vitais, localização, velocidade e aceleração de todos os jogadores em todas as jogadas são adquiridos por sensores instalados em “tags” usados na proteção dos ombros dos jogadores e na bola, utilizando tecnologia patenteada baseada em RFID. As aquisições são feitas 25 vezes por segundo e têm uma precisão de localização de 6 polegadas (15,24 cm). Estes dados são então captados por 18 a 22 receptores espalhados pelo campo e enviados por wi-fi para serem processados por algoritmos específicos da empresa que geram informações úteis e específicas que podem ser acessados por técnicos, jogadores e até mesmo torcedores. Este dispositivo foi utilizado pela primeira vez na temporada de 2017 da NFL.

O dispositivo “Playertek” da Catapult é alojado na parte de trás de um colete como pode ser visto na figura Figura 3. Ele é capaz de gerar um “Heatmap” do campo de futebol mostrando em que partes do gramado os jogadores passaram mais tempo, a direção das corridas e todas as movimentações individuais em campo (CATAPULT, 2018). Além de dados de aceleração, velocidade máxima, distância na velocidade máxima, informações sobre impactos, entre outros. Este dispositivo utiliza GPS para adquirir dados dos jogadores. O equipamento tem carregamento por USB, acelerômetro, magnetômetro e uma bateria Íon Lítio de vida longa. A sincronização dos dados é feita de maneira sem fio a um aplicativo no iPhone. Na época desta pesquisa este dispositivo custava \$199 (18/07/2018) por jogador.



Figura 3 – Colete com a tecnologia Playertek

Fonte: Catapult (2018)

O dispositivo Zepp Play Soccer também é destinado a times de futebol, mede dados de distância, velocidade máxima, chutes, velocidade do chute, tempo ativo, pé preferido, número de chutes e acertos ao gol. Seus dados são enviados via Bluetooth 4.0 ou superior. Funciona a partir de um acelerômetro e um giroscópio. A bateria também é de Íon Lítio recarregável. Este dispositivo é instalado na parte de trás da meia do jogador como mostra a Figura 4. Além destes dados pessoais o aplicativo disponibiliza dados gerais do time, como número de gols e vitórias. Este dispositivo custa \$99,99 (18/07/2018) por jogador.

A StatSports também traz uma solução baseada em GPS para aquisição de dados de atletas de diversos esportes. Este equipamento, o ViperPod, é também utilizado em um colete



Figura 4 – Meia com equipamento Zepp

Fonte: Zepp (2018)

vestido pelo atleta e funciona a base de bateria íon-lítio com uma autonomia de até 9 horas. O dispositivo utiliza a frequência de GPS de 10 Hz e possui acelerômetro, magnetômetro e giroscópio, além de ser capaz de medir a frequência cardíaca do atleta. Os dados são então enviados a um aplicativo compatível com Android ou iOS. Neste momento (06/08/2018) este equipamento custa \$299,00 por atleta.

Outro equipamento utilizado em um colete é o FieldWiz da companhia Suíça ASI (Advanced Sport Instruments) (ASI, 2018), capaz de fazer medições de velocidade, acelerações, medir batimentos cardíacos, distância percorrida e também gera um "Heatmap" do campo se utilizado por todo o time. Estas informações são coletadas ou calculadas a partir de GPS. O dispositivo armazena os dados em memória própria e só após a partida acontece a sincronização dos dados por USB a um aplicativo acessível por qualquer *browser*. Portanto este equipamento não permite a visualização em tempo real dos dados. A bateria tem autonomia de 15 horas. O custo deste dispositivo no momento (07/08/2018) é de €299,00.

3.2 TIMING GATES

Os "Timing Gates" são sensores que são instalados ao lado da pista de corrida, em pontos de interesse de marcação de tempo (como linhas de partida e chegada), apontados perpendicularmente com a trajetória do atleta. O tempo é marcado quando o atleta passa em frente a estes dispositivos e é geralmente enviado de maneira sem fio a um aplicativo Android ou iOS. Os equipamentos encontrados deste tipo são voltados principalmente para uso em treinamentos de corrida de velocidade ou outros eventos de atletismo e são largamente disponíveis no mercado. Neste documento serão citadas então somente alguns produtos relevantes e suas características de interesse.

A forma mais usual de "Timing Gate" disponível no mercado é aquela em que os sensores são pares de emissores/refletores que devem ser posicionados em lados opostos da pista e alinhados de modo que o feixe entre emissor e refletor seja interrompido na passagem do atleta, acionando assim o temporizador. As soluções da Dashr Systems (DASHR, 2018) podem ser vistas na Figura 5. O kit mais simples, com apenas dois sensores custa \$649,99. Já o kit com quatro sensores custa \$1.149,99 em 06/08/2018. O sistema da empresa SmartSpeed de apenas dois "gates" custa \$2.400,00 em 09/08/2018 (SMARTSPEED, 2018). O sistema similar de dois "gates" da Beam Trainer custa, na mesma data, €1.499,00 (BEAMTRAINER, 2018).



Figura 5 – Timing gates Dashr

Fonte: Dashr (2018)

A Freelap possui soluções de tecnologias especificamente desenvolvidas para a marcação de tempo de corridas e marcação de número de voltas. Diferentemente das outras soluções por "Timing Gates", o atleta carrega em si um chip desenvolvido pela empresa que é reconhecido pelo sensor quando este passa pelo "gate", sem a necessidade de um refletor do outro lado da pista. Apesar disto, esta solução foi classificada como "Timing Gate" e não como "Wearable" pelo fato de que a medição na realidade acontece no sensor fixo localizado na borda da pista e não no dispositivo carregado pelo atleta. Na solução mais simples disponível por esta empresa, a contagem de tempo inicia quando o atleta remove o dedo de um botão (Tx Touch Pro Transmitter), e os tempos são marcados quando o chip (FxChip BLE) afixado ao atleta passa por sensores (Tx Junior Pro Transmitters), que se assemelham a cones ao longo da trajetória da corrida. Os dados de tempo são enviados por Bluetooth do chip para um dispositivo Android ou iOS. Os sensores (Tx Junior Pro Transmitters) funcionam com duas baterias AA alcalinas que podem durar até 300 horas. Seu funcionamento é baseado na emissão de um campo magnético que aciona o FxChip quando o atleta corre por ele. Esta solução contendo apenas dois sensores

de marcação de tempo custa \$1.389,00 (06/08/2018). O pacote com quatro sensores e quatro chips custa \$2.189,00 (FREELAP, 2018).

3.3 TIMING MATS

Os "Timing mats", ou tapetes de medição de tempo, funcionam a partir de três componentes principais, um chip RFID que o atleta carrega em seu calçado, o tapete e o leitor. Estes elementos podem ser vistos na Figura 6. Este tipo de medição de tempo é muito utilizado em eventos e corridas com muitos competidores como maratonas e corridas de rua. O chip RFID é um "transponder" geralmente passivo, ou seja, não possui uma fonte de energia interna, apenas captura energia eletromagnética de uma fonte próxima e emite um código único. Antenas são instaladas nos pontos de medição como partida e chegada e conectadas a um decodificador. Este então identifica o código único do "transponder" e calcula o tempo exato de quando ele passou por um ponto. Esta solução é oferecida por muitas empresas no mercado.

A Trident (TRIDENT, 2018) apresenta soluções versáteis e resistentes que podem ser usadas de corridas a pé até medição de tempos de bicicletas. Os tapetes devem estar conectados por fio a um equipamento denominado "Time Machine" que irá armazenar as medições com uma bateria de 12 VDC e 9 Ah que dura até 7 horas. Este equipamento sozinho pesa até 7 Kg. Existem várias versões desta "Time Machine", a mais simples suporta apenas dois tapetes; uma segunda versão suporta até quatro tapetes; outra suporta tapetes que trabalham em "ultra high frequency" (UHF) e um último modelo pode trabalhar de forma híbrida com os diferentes tipos de tapetes. O tamanho padrão dos fios de cada tapete é de 10 metros mas eles podem ser customizáveis ou conectados a extensões de até 15 m também produzidas pela empresa. A comunicação dos leitores pode ser por Ethernet, wi-fi, cabo USB ou modem de rádio conectado ao computador. Outras empresas que fornecem soluções parecidas são a ActiveEndurance (ACTIVE, 2018), a RFID Race Timing Systems (RFID, 2018), e a MyLaps (MYLAPS, 2018).

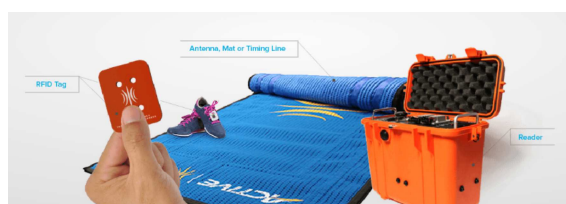


Figura 6 – Medição por RFID e tapetes

Fonte: IPICO (2018)

4 METODOLOGIA

Neste capítulo são descritas as etapas referentes a desenvolvimento do hardware, software e firmware, que foram seguidas ao longo do desenvolvimento do projeto.

4.1 ESTUDO DOS SENSORES

Foram estudados diferentes tipos de sensores possíveis de serem utilizados no projeto. Os seguintes critérios de decisão devem ser levados em conta: Preço, tamanho, precisão, sensibilidade, alimentação e faixa de operação.

4.2 ESTUDO DOS MICROCONTROLADORES DISPONÍVEIS

Foi escolhido o microcontrolador a ser utilizado como central de processamento segundo suas características de disponibilidade, preço e facilidade de uso.

4.3 ESTUDO DA TRANSMISSÃO SEM FIO

Os módulos operam sem internet, pois o treino é feito em campo aberto. A comunicação foi escolhida por complexidade de implementação, custo, hardware necessário, alcance e consumo de energia.

4.4 ESTUDO DO ARMAZENAMENTO DE DADOS

Os dados coletados são armazenados primeiramente no microcontrolador e depois de terminada a corrida são enviados ao aplicativo que os salva na memória do dispositivo no qual está instalado. Foi necessário então realizar um estudo de armazenamento e escolha de possíveis formatações de dados.

4.5 DIMENSIONAMENTO DO CONSUMO

Foi necessário o estudo do dimensionamento da bateria a ser utilizada de acordo com o consumo de corrente do hardware desenvolvido, levando em conta a capacidade da bateria, o preço, disponibilidade, tamanho e sua tensão nominal. Foi necessário realizar a regulagem da tensão da bateria de acordo com a alimentação de cada componente do hardware.

4.6 REALIZAÇÃO DE TESTES EM PROTÓTIPO

Para que o projeto fosse validado, foram realizados testes do hardware em simulações de corrida, ao mesmo tempo em que foram marcados tempos com cronômetro para que fosse

feita uma comparação dos dois métodos.

4.7 DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE COM O USUÁRIO

Foi desenvolvido um aplicativo para receber os dados enviados pelo microcontrolador e os expor de forma simples ao usuário. O aplicativo desenvolvido é de fácil utilização, bastante intuitivo, com espaço para anotações de forma que o treinador dispense o uso de papel e caneta.

4.8 INTEGRAÇÃO DAS GRANDES PARTES DO SISTEMA

Para o correto funcionamento do produto, os sensores, o microcontrolador e a interface com o usuário são corretamente integradas. As comunicações entre o módulo de hardware e o microcontrolador, bem como entre este com o aplicativo desenvolvido, são responsáveis por esta integração. Estas funções críticas também foram testadas exaustivamente em um protótipo.

5 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo é mostrado o desenvolvimento de todo o sistema detalhadamente, incluindo as escolhas referentes a cada parte do projeto, suas vantagens, desvantagens e justificativas. A Seção 5.1 diz respeito ao hardware desenvolvido, as estratégias de comunicação que são comuns entre os dois módulos e sua alimentação. Esta seção foi então dividida para detalhamento das partes específicas de cada um dos módulos. A Seção 5.2 diz respeito ao software desenvolvido para interfaceamento com o usuário, suas justificativas, problemas e soluções encontradas. Finalmente a Seção 5.3 diz respeito ao código desenvolvido para funcionamento do microprocessador utilizado.

5.1 HARDWARE

Como já foi mencionado anteriormente, o hardware relativo a este projeto foi desenvolvido em dois módulos separadamente, o que resultou em dois tipos de placas. A primeira, relativa ao módulo de processamento é única, enquanto o circuito relativo ao módulo de medição foi montado três vezes, para serem posicionados no início, fim e em um ponto intermediário da trajetória do atleta. Porém, os dois tipos de módulos tem algumas características em comum, como sua alimentação, as antenas utilizadas, a comunicação RF entre eles e o modo de codificação e decodificação do sinal de RF.

Foi considerado para este projeto a confecção industrial das placas desenvolvidas. Porém, por uma questão de custo foi decidido utilizar o método térmico. Todos os módulos deste projeto foram então confeccionados em placas de Fenolite, primeiramente protegidas com tinta nos locais das trilhas e contatos por meio do aquecimento da tinta no papel impresso pressionado contra a placa. Em seguida as placas foram imersas em banho corrosivo de percloroeto de ferro de forma que todo o metal é corroído exceto aquele protegido pela tinta.

5.1.1 Fonte de alimentação

Um dos fatores comuns entre as placas desenvolvidas é a alimentação. Para que o sistema pudesse ser usado em campo ao ar livre, uma alimentação por fio seria impossível, pois no local de treino não existem pontos de acesso à rede elétrica. Durante a pesquisa de mercado (Capítulo 3) foram verificadas diversas soluções para este problema que são utilizadas atualmente em produtos comerciais.

A primeira das soluções seria utilizar uma bateria Íon - Lítio, que é utilizada em várias aplicações e é encontrada em muitos dispositivos “wearables” que foram encontrados na pesquisa. A grande utilização destas baterias pode ser explicada pela sua leveza em comparação com outras baterias recarregáveis do mesmo tamanho. Além disto, o metal Lítio tem um grande potencial eletroquímico, fornecendo um grande valor de energia por peso de 100 Wh/kg a

220 Wh/kg (ROSOLEM, 2015). Porém, estas baterias são caras e devem ser usadas com um circuito de proteção para poder operar com segurança. Este circuito deve limitar a tensão e corrente da bateria de forma a não a sobrecarregar. O manuseio deve ser feito com cuidado, pois o eletrólito é inflamável e sua ruptura pode ser perigosa, existindo inclusive o risco de chamas. O envelhecimento também é uma preocupação comum, mesmo sem uso, alguma percepção de deterioramento do carregamento é muitas vezes perceptível em um ano e falhas ocorrem frequentemente em baterias acima de dois ou três anos (STA, 2018).

Os “timing-mats” encontrados durante a pesquisa de mercado utilizam baterias de chumbo-ácido. Estas baterias são comumente utilizadas em veículos, não só como baterias de arranque ou tracionárias, pensadas para condições severas de trabalho, mas também alimentando a parte elétrica cada vez mais presente em automóveis. Pela grande quantidade de aplicações existe uma grande variedade de baterias deste tipo, com diferentes materiais e dimensões (CARNEIRO et al., 2017). De modo geral, estas baterias são capazes de fornecer de 10 Wh/kg a 40 Wh/kg (ROSOLEM, 2015). A grande vantagem deste tipo de baterias é a sua capacidade de absorver grandes picos de corrente, necessárias para as aplicações automotivas, porém sem grande necessidade em nosso projeto. As desvantagens deste tipo de bateria são o grande tamanho, peso e custo, razões pelas quais não foram utilizadas neste projeto.

Outra opção, apesar de não ser utilizada por nenhuma solução do mercado encontrada, seria a alimentação por pilhas comuns ou alcalinas não recarregáveis. Este tipo de alimentação tem alta disponibilidade, preço inicial mais baixo e não necessita de nenhum circuito de proteção. Porém a troca destas pilhas ao longo do tempo rapidamente torna-se mais cara que outras soluções recarregáveis. Além disto, vazamentos podem ocorrer e danificar o hardware. O uso de pilhas não recarregáveis gera um grande descarte de material tóxico o que é prejudicial ao meio ambiente e deve ser feito de maneira especial, nunca no lixo comum.

Consideradas todas estas opções, foi decidido utilizar como fonte de alimentação dos módulos deste projeto pilhas recarregáveis. Isto se justifica pela sua alta disponibilidade, e preço menor que baterias de lítio-íon e chumbo-ácido, que teriam maior duração e conseguiriam entregar mais corrente, porém sem necessidade para nossa aplicação que consome no máximo 100 mA no módulo de processamento. Além disto, as pilhas recarregáveis são muito menores e mais leves que as baterias de chumbo-ácido e facilitariam o transporte e armazenagem do sistema, além de sua montagem em campo.

Apesar de tanto as pilhas comuns quanto as recarregáveis possuem em sua construção materiais tóxicos e danosos ao ambiente, as recarregáveis podem ser reutilizadas muitas vezes ao invés de terem que ser jogadas fora a cada uso, o que diminui a quantidade de lixo gerado pelo sistema, produzindo portanto menos impacto ambiental. Outra vantagem das pilhas recarregáveis em relação às normais ou alcalinas, é que apesar do seu preço inicial unitário ser mais alto, ao longo das recargas e reutilizações não são necessárias fazer novas compras, enquanto se fossem utilizadas pilhas não recarregáveis a cada esgotamento de energia teriam que ser adquiridas novas pilhas. Por esta razão as pilhas recarregáveis tornam a alimentação do

sistema mais barata ao longo do tempo.

Existem vários tipos de pilhas recarregáveis. Os mais utilizados são as de NiCd (Níquel Cádmio) e as NiMH (Níquel Metal Hidreto), sendo as primeiras mais baratas, porém também são as que apresentam menor vida útil e menor capacidade de carga (BONITO et al., 2015). Por uma questão de disponibilidade foram utilizadas neste projeto pilhas de NiMH de 9V com capacidade de 420 mA.H. Foram feitos testes de durabilidade de carga das pilhas utilizadas. A pilha do módulo de processamento, que consome maior corrente, durou cerca de uma hora e trinta minutos e as pilhas dos módulos de medição permaneceram ligadas e em teste por mais de três horas sem apresentar esgotamento.

5.1.2 Regulagem de tensão

A escolha da alimentação do hardware deste projeto foi dificultada pelo fato de que a maioria dos componentes utilizados, com exceção do emissor de RF, podem ser alimentados com somente 5V. Entretanto, pilhas recarregáveis de 5V não são comercializadas. Foram encontradas pilhas recarregáveis de 1,2 V, 9 V e 12 V. Ao invés de serem utilizadas 4 pilhas de 1,2 V em série para obter a tensão de 4,8 V foi escolhida então a tensão de 9 V, pois com esta tensão o emissor de RF teria mais potência de transmissão e aumentaria seu alcance. Além da facilidade de troca e carregamento de uma bateria por módulo ao invés de quatro. As baterias de 12 V não foram utilizadas por serem muito maiores, mais caras e pesadas do que as demais.

Porém, esta escolha tornou necessária a utilização de um regulador de tensão para baixar a tensão de 9 V para os 5 V necessários na alimentação da maioria dos componentes. Para isto foi escolhido o LM7805 pela sua disponibilidade, preço baixo (R\$ 3,82 em 25/09/2018) e fácil montagem, sem a necessidade de uma grande quantidade de componentes extras. Este regulador está dentro das especificações necessárias para nosso projeto, pois pode ter uma tensão máxima de entrada de até 15 V e é capaz de fornecer em sua saída até 1 A. Além de ter uma proteção contra super aquecimento e garantir a tensão de saída entre $\pm 5\%$ da tensão nominal (FAIRCHILD, 2001).

5.1.3 A comunicação RF

Uma vez acionado o sensor, um aviso deve ser mandado para o módulo de processamento. Para isso foi necessária a utilização de algum tipo de comunicação entre eles. Para facilitar a locomoção, armazenagem e montagem em campo do sistema, esta comunicação deve ser sem fio. Além disso, deve ser rápida e com um alcance de pelo menos 40 metros. Também existe a limitação de que no local de treino dos atletas não há possibilidade de comunicação wi-fi e a rede celular, pelas tecnologias 3G e 4G no local, não possui qualidade suficiente para uma transmissão confiável do sinal.

Foi utilizada uma comunicação na frequência de 433 MHz. O módulo de transmissão utilizado foi o XD-FST, formando par com o receptor XD-RF-5V no módulo de processamento. Tais módulos podem ser vistos na Figura 7. O transmissor tem uma tensão de operação variável

de 3,5 V a 12 V da qual depende seu alcance, que pode variar de 20 m a 40 m (MANTECH, 2018). Suas dimensões são pequenas, pois consiste em uma placa quadrada de 19 mm de lado. Além destes fatores, a alta disponibilidade e custo relativamente baixo R\$ 12,65 (comprado em 01/08/2018) deste módulo influenciaram na sua escolha.

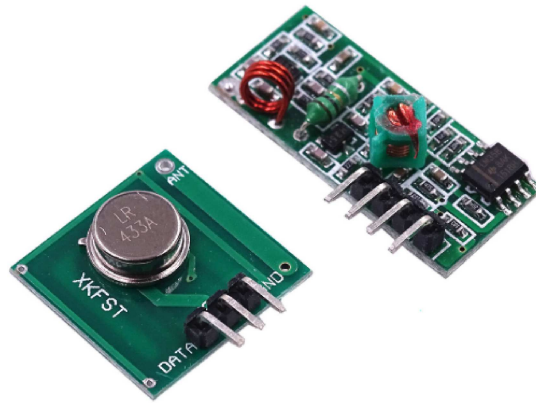


Figura 7 – XD-FST e XD-RF-5V

Fonte: (PROBOTRONIX, 2018)

A utilização destes módulos por si só não propiciou o alcance desejado para este projeto. Entretanto foi possível confeccionar antenas de um quarto de comprimento de onda para serem soldadas aos módulos de transmissão, mostradas na Subseção 5.1.4, de modo que foi atingida a comunicação a 40 m do receptor.

Este tipo de comunicação tem a desvantagem de ser largamente utilizado e propenso a interferência de outros sistemas utilizem a mesma frequência. Porém, como o campo de treino onde o sistema seria utilizado é grande e distante de quaisquer outro sistema eletrônico, tais interferências são muito improváveis. A utilização dos encoders e decoder também ajudou a diminuir ainda mais este risco.

5.1.4 Antenas

Para que o sinal elétrico a ser enviado seja convertido em um onda eletromagnética, bem como a onda eletromagnética recebida seja convertida em sinal elétrico, garantindo assim a comunicação RF, é necessário o uso de uma antena (HALLIDAY, D., WALKER, J., RESNICK, 2016).

Como uma onda eletromagnética é composta por dois feixes, um elétrico e outro magnético, ortogonais entre si e normais em relação ao sentido de propagação, a polarização da onda eletromagnética é dada pela direção do feixe elétrico em relação a terra. A polarização pode se dar de forma linear vertical, linear horizontal ou circular (BENSKY, 2004).

Primeiramente foi escolhido a polarização circular da antena, de modo a se obter um maior ganho. Entretanto, devido ao peso da antena ser maior, danificando a trilha do módulo

RF, foi decidida a utilização da polarização linear vertical.

Para os cálculos do tamanho da antena, considerou-se a antena de 1/4 de comprimento de onda. Para fins de simplificação, considerou-se a velocidade da luz como $3 \cdot 10^8$ m/s e a frequência desejada de 433M Hz. Utilizando a Equação (1), chega-se a um comprimento de onda de 69,28 centímetros. Para uma antena de 1/4 de comprimento de onda é necessário que tenha em comprimento 17,32 centímetros.

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (1)$$

Visando obter o melhor resultado possível, levando em conta os erros associados aos cálculos e as medições de tamanho, foi utilizado um analisador de espectro na confecção da antena. Utilizando o cobre de 1mm de diâmetro como material, foi cortado um tamanho de aproximadamente 20 centímetros de fio e feito o primeiro ajuste fino da antena com o auxílio do equipamento.

O valor final da antena obtido após os ajustes de tamanho foi de aproximadamente 18 centímetros, e o ganho em frequência da antena de 17 dbm, que pode ser visto na Figura 8. O valor final da antena divergiu do esperado devido ao meio de propagação ser diferente do considerado nos cálculos, o vácuo. Para um cálculo mais correto, deveria ser utilizada a velocidade de propagação no cobre utilizado.

Após obtida esta antena ajustada para 433M Hz, ainda foi necessário mais um ajuste fino na antena, pois os módulos de RF possuem trilhas onde devem ser soldadas as antenas. O receptor possui ainda uma pequena bobina que também faz o papel de antena. Portanto, foi preciso levar em conta os tamanhos das bobinas e trilhas dos módulos de modo que as antenas precisaram ser diminuídas. Os módulos de transmissão ficaram com antenas de aproximadamente 17,5 centímetros e o módulo de recepção com 16,40 centímetros.

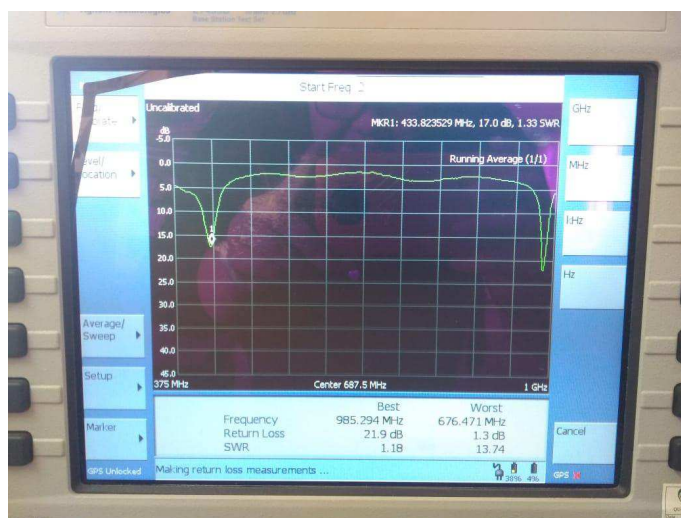


Figura 8 – Resposta em Frequência da Antena

Fonte: Autoria Própria

5.1.5 Codificação e Decodificação

Para que o módulo de processamento pudesse discernir de qual módulo de medição veio dado sinal recebido, foram utilizados encoders nos módulos de medição e um decoder no módulo de processamento. Antes de ser enviado, o sinal de que o sensor foi ativado é codificado com uma “senha” que é única para aquele módulo de medição. Deste modo, o módulo de processamento irá ignorar todos os sinais vindos de outras fontes que não aquela codificada da mesma maneira que o seu decoder.

Para exercer esta função foi escolhido o par de CIs HT12E (encoders) e HT12D (decoders), que é utilizado principalmente em controles de portas de garagem ou sistemas de alarme. Muitas vantagens levaram à escolha deste CI. Ele tem baixo consumo de energia, o que é benéfico para nossa aplicação pois os módulos de medição serão alimentados por pilhas. A tensão de alimentação que pode variar de 2,4 V a 12 V é compatível com a tensão que utilizamos para o resto dos componentes nos módulos em que são utilizados. Outros fatores importantes foram a grande disponibilidade e facilidade de uso, assim como reduzida necessidade de componentes externos para seu funcionamento. Uma desvantagem do uso deste CI foi seu preço relativamente alto, R\$ 15,00 (comprado em 13/08/2018) cada par.

Além da necessidade de codificação e decodificação, estes CIs servem um outro propósito. O módulo RF utilizado, mencionado na Subseção 5.1.3, necessita de um comando externo para envio de seus dados. Primeiramente foi considerado utilizar microcontroladores em cada um dos módulos para realizar este envio, porém isto aumentaria significativamente o custo de cada módulo já que não havia tempo hábil para pedir microcontroladores simples de fontes mais baratas na internet. Os encoders utilizados possuem osciladores internos e podem ser utilizados como comando para envio dos módulos transmissores RF. A utilização dos encoders então possibilitou que o envio do sinal pudesse ser enviado somente através de hardware.

5.1.6 Módulo de medição

Como mencionado anteriormente, o módulo de medição é o responsável por detectar a passagem do atleta e comunicar este fato ao módulo de processamento. O desenvolvimento deste módulo envolveu decisões quanto ao sensor a ser utilizado, de que forma ele seria acoplado com o transmissor de RF e de que forma o módulo de processamento seria capaz de discernir de qual módulo de medição veio o sinal de passagem de atleta.

Para a confecção desta placa foi desenhado esquemático no Software Altium Designer versão 14.3. Este esquemático pode ser visto de forma completa na Figura 9. A bateria recarregável de 9V é conectada à placa por meio de um borne e alimenta diretamente o emissor de RF e o regulador. Para facilitar a economia de bateria foi adicionada também uma chave de on/off. O regulador por sua vez, é responsável por baixar a tensão a 5V para alimentar o sensor e o encoder. O endereço do módulo é comandado pelo encoder através de um conector DIP-Switch. Os componentes entre o sensor e o pino 14 "ENABLE" do encoder têm a função

de prolongar o sinal enviado pelo sensor. O funcionamento do sensor e deste circuito de atraso é mais detalhado nas subsecções 5.1.6.1 e 5.1.6.2 respectivamente.

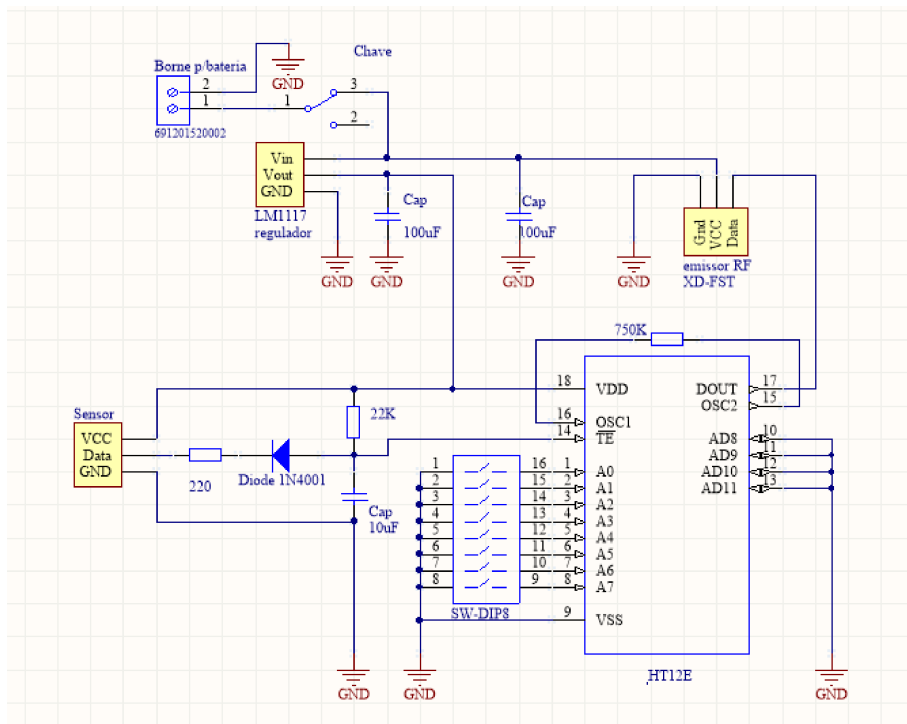


Figura 9 – Esquemático do módulo de medição

Fonte: Autoria Própria

Este esquemático foi roteado utilizando o mesmo software, dando origem à PCB que pode ser vista na Figura 10. O resultado de montagem desse módulo pode ser vista na Figura 11. O módulo de medição acoplado às bases do protótipo (Seção 5.4) é também chamada neste trabalho por cone, pela semelhança de função em campo.

5.1.6.1 Sensor Infravermelho

Como previsto na metodologia do projeto (Capítulo 4), foram estudados sensores de presença e distância para a detecção da passagem do atleta. Os critérios para decisão foram classificados em ordem de importância: Tempo de resposta, faixa de operação, tamanho, preço, disponibilidade e alimentação. A distância do objeto detectado ao sensor não é importante para este projeto, portanto foram também analisados sensores que não mostram esta informação.

Foi escolhido o sensor de presença por infravermelho E18-D80NK-N que pode ser visto na Figura 12. Este sensor é largamente utilizado para evitar obstáculos na navegação de projetos de robótica. A principal razão pela escolha deste sensor foi seu tempo de resposta de menos de 2 ms, sendo então apropriado para uso com a precisão de tempo proposta neste trabalho. Outra vantagem é que ele não requer um refletor do outro lado da pista de corrida que deve ser alinhado a ele, como ocorre com alguns sistemas “timing-gate” comerciais. Isto facilita

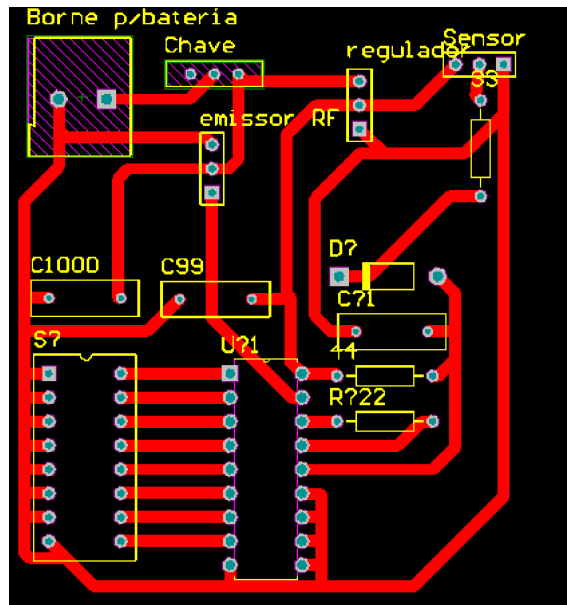


Figura 10 – PCB do módulo de medição

Fonte: Autoria Própria

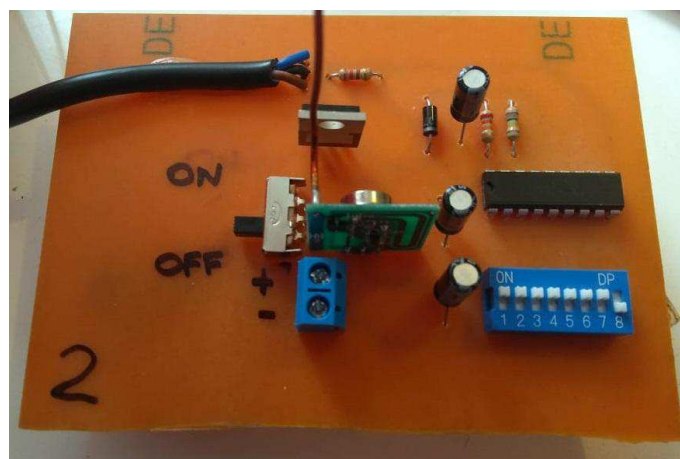


Figura 11 – Módulo de Medição

Fonte: Autoria Própria

muito a montagem do sistema em campo. A distância de detecção deste sensor é ajustável entre 3-80 cm por meio de um parafuso. O que foi considerado uma distância adequada que o atleta possa passar do sensor. Porém, como o sensor tem uma abertura de 15° em todas as direções e estará relativamente perto do solo, foi decidido, através de experimentos no laboratório, que a distância de detecção ótima para nosso caso é de 50 cm. Quanto ao seu tamanho, foi considerado razoável, com 17 mm de diâmetro e de 5 a 7 cm de comprimento, dependendo do modelo. Já o preço constitui a principal desvantagem deste sensor, pois foi adquirido por R\$ 44,35 (em 01/08/2018). Este preço poderia ter sido menor se os sensores tivessem sido encomendados da China, porém por conta das limitações de tempo do projeto foi

decidido fazer a aquisição dos componentes em lojas nacionais. Quanto à disponibilidade, este sensor apresentou uma classificação mediana, pois é difícil de ser encontrado em lojas físicas em Curitiba e foi necessário fazer sua aquisição pela internet. A alimentação deste sensor também é uma de suas desvantagens, pois ao invés de ter uma variação de tensões de alimentação possíveis, este sensor funciona somente em 5V, o que nos obrigou a fazer adaptações nas placas desenvolvidas.



Figura 12 – Sensor E18-D80NK-N

Fonte: Dembel (2018)

Além daquelas utilizadas para a escolha, outras informações sobre o sensor utilizado são importantes. A corrente máxima para alimentação presente no datasheet é de menos de 25 mA, porém em laboratório esta corrente foi medida com o sensor ativado ou não e os resultados foram 2,8 mA e 1,4 mA respectivamente, mostrando um consumo bem mais baixo. Outra vantagem deste sensor para aplicações ao ar livre é que ele é menos sensível à luz solar do que outros sensores de infravermelho, pois utiliza ondas moduladas (14CORE, 2018). Um diagrama de funcionamento deste sensor pode ser visto na Figura 13.

5.1.6.2 Circuito de atraso de sinal

O sensor escolhido, como está descrito na Subsubseção 5.1.6.1, tem resposta rápida o suficiente para mudar sua saída frente a movimentos muito rápidos, como a passagem de um jogador à sua frente. Entretanto, o encoder não responde a sinais tão curtos quanto o sensor, de modo que na passagem rápida do jogador, o sensor percebe seu movimento e gera em sua saída um pulso curto demais no pino “ENABLE” do encoder para que este seja efetivamente ativado. Por esta razão, foi colocado um circuito para segurar o pulso por mais tempo, que pode ser visto na Figura 9, entre a saída do sensor e o pino 14 “ENABLE” do encoder. O sensor escolhido fica com a saída na tensão de alimentação quando não detecta presença em seu campo de visão, e abaixa a saída para 0 V quando há detecção. Portanto, este circuito

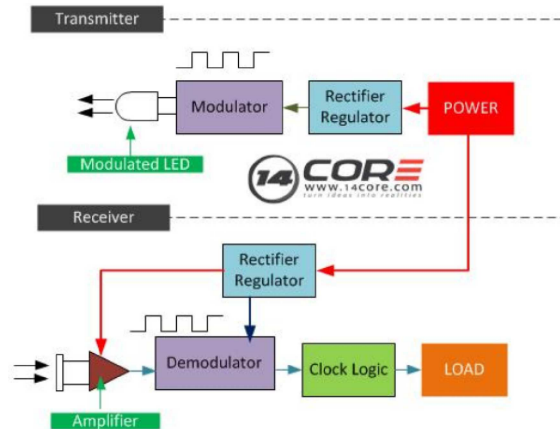


Figura 13 – Diagrama do sensor E18-D80NK-N

Fonte: 14Core (2018)

segurador tem o objetivo de manter a saída do sensor em 0 V tempo suficiente para que o encoder possa ser ativado. Isto foi atingido utilizando-se um capacitor de $10\mu\text{ F}$. Quando há detecção pelo sensor e sua saída é colocada em 0 V, o capacitor descarrega rapidamente através do diodo e do resistor de $220\ \Omega$ colocando o pino 14 do encoder em 0 V. Apesar de após a rápida passagem do atleta a saída do sensor retornar à 5 V, o capacitor demora a se carregar novamente através do resistor de $22\ \text{k}\ \Omega$, fazendo com que a tensão no "ENABLE" do encoder permaneça baixa por mais tempo.

Os valores dos resistores e do capacitor foram calculados para que este tempo de atraso fosse em torno de 200 ms, levando em conta o tempo de comunicação entre os módulos, que é em torno de 100 ms, conforme a forma de onda da esquerda da Figura 14. O valor do capacitor de $10\mu\text{ F}$ foi arbitrariamente escolhido e sabendo-se que a constante de tempo de carregamento de 63,2% um capacitor pode ser obtida pela Equação (2), foi encontrado que na utilização de um resistor de $22\ \text{k}\ \Omega$ o tempo de atraso seria de 220 ms. Tempo suficiente para que o encoder pudesse ser ativado e além disto, tempo insuficiente para que o jogador alcance o próximo módulo de medição, o que poderia gerar conflitos na transmissão dos sinais de RF. A forma de onda da direita da Figura 14 mostra o resultado do circuito, sendo em amarelo o sinal de saída do sensor atrasado em aproximadamente 200 ms e em azul a entrada do pino VT do decoder.

$$\tau = R.C \quad (2)$$

5.1.7 Módulo de processamento

O módulo de processamento é o responsável por marcar o tempo de passagem dos atletas e fazer o processamento dos dados recebidos. Seu desenvolvimento envolveu decisões de qual microprocessador seria utilizado, de que forma ele seria acoplado ao receptor RF,

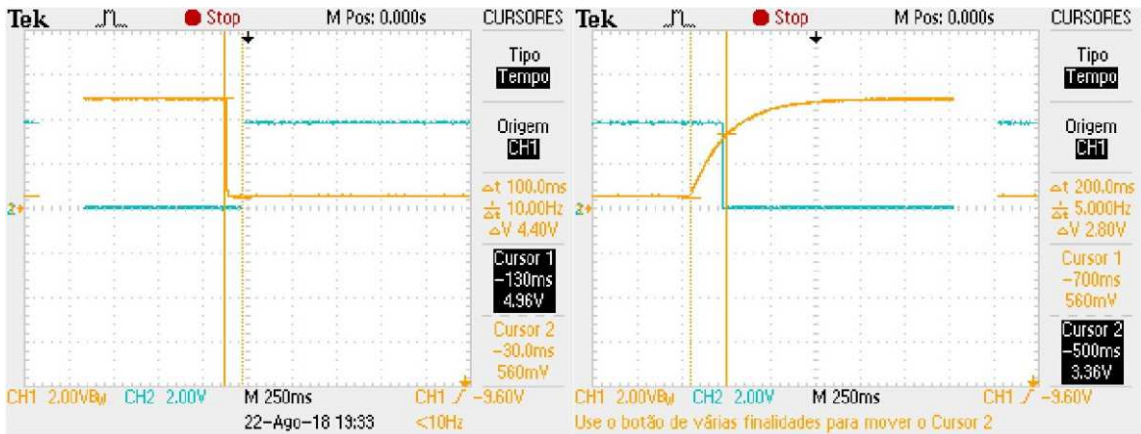


Figura 14 – Tempo de comunicação entre módulos

Fonte: Autoria Própria

qual aviso é dado ao atleta para que inicie a corrida e de que forma o microcontrolador seria acoplado ao módulo Bluetooth necessário para comunicação com o aplicativo. O módulo de processamento associado às bases do protótipo (Seção 5.4) é também tratada por central.

O esquemático referente a este módulo foi desenvolvido no Altium Designer e pode ser visto na Figura 15. Deste esquemático foi roteada a PCB que pode ser vista na Figura 16, utilizada para confecção da placa. O resultado do módulo montado pode ser visto na Figura 17.

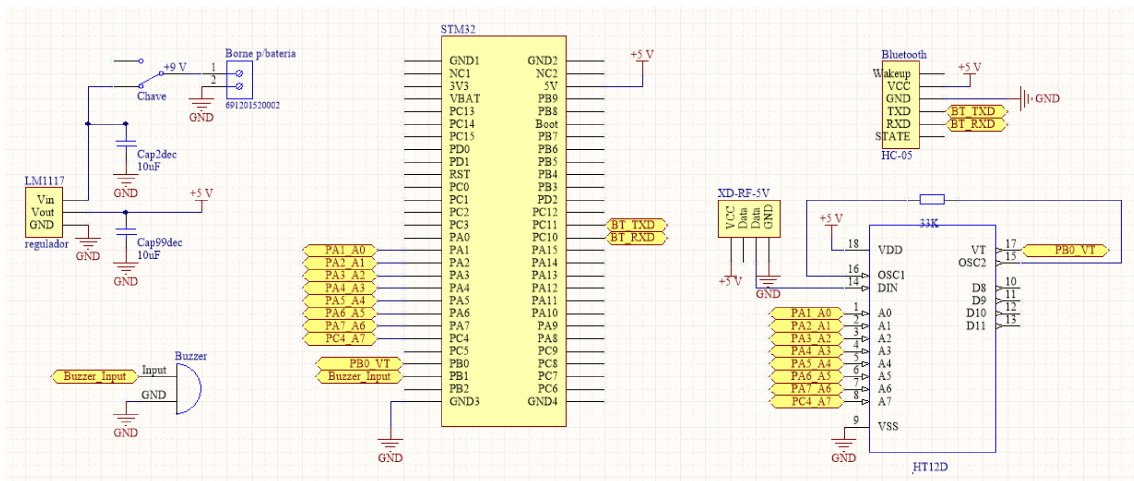


Figura 15 – Esquemático do módulo de processamento

Fonte: Autoria Própria

5.1.7.1 Microprocessador

O núcleo do módulo de processamento consiste no kit de desenvolvimento STM 32VLDDiscovery, que pode ser visto na Figura 18. Este kit é equipado com o microprocessador

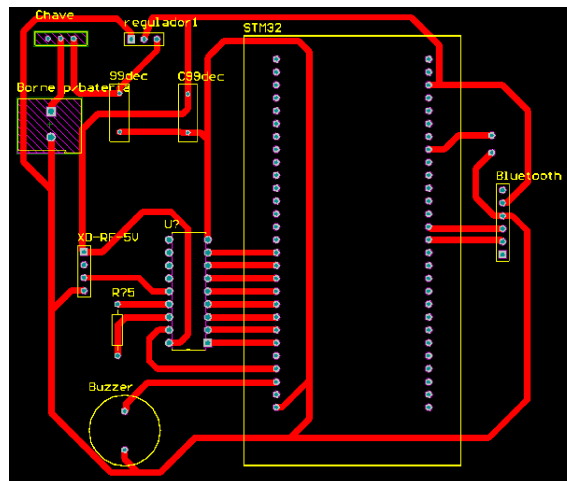


Figura 16 – PCB do módulo de processamento

Fonte: Autoria Própria

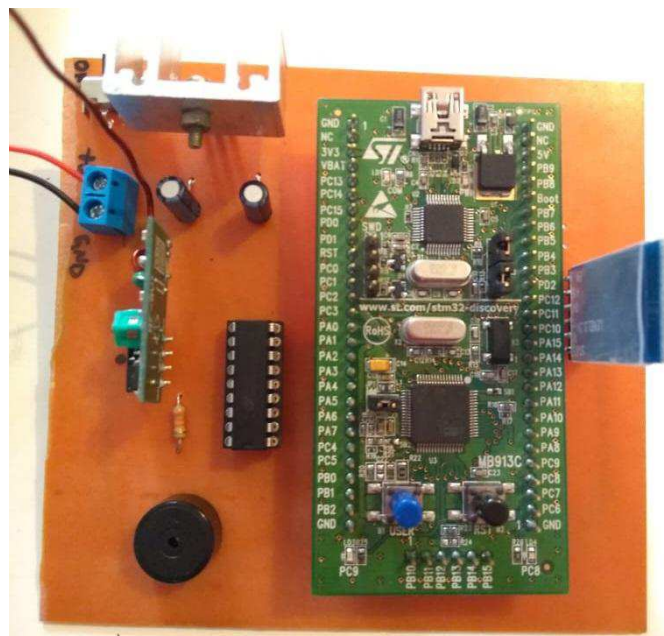


Figura 17 – Módulo de Processamento

Fonte: Autoria Própria

STM32F100RBT6B, que possui memória flash de 128 kB e 8 kB de memória RAM e tem 64 pinos, fazendo com que este kit seja muito mais robusto do que o necessário para nossa aplicação, porém foi utilizado por questões de disponibilidade. As saídas de I/O são organizadas em três “ports” que totalizam 45 pinos, uma quantidade mais do que suficiente para a aplicação neste projeto.

Este kit tem um ST-LINK embutido para “debug” de aplicações por cabo USB, o que facilitou muito o desenvolvimento do firmware desenvolvido para este projeto (Seção 5.3).

As dimensões deste kit são também vantajosas para a aplicação deste trabalho por

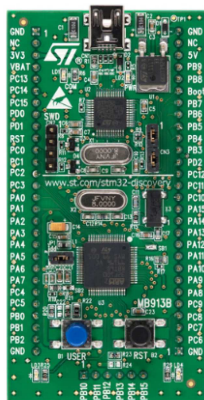


Figura 18 – STM32VLDISCOVERY

Fonte: (ST, 2018)

ser leve e pequena. Isto possibilitou sua integração direta com a placa desenvolvida para o módulo de processamento como um “Shield”. Para isto foi necessário o desenho da STM32 no software Altium Designer como um novo componente, utilizando as medidas e dimensões fornecidas em seu manual (ST, 2011). Outra característica desta placa que foi importante no desenvolvimento deste projeto é que ela foi projetada para permitir alimentação externa de 5V o que nos possibilitou alimentar o módulo de processamento também com as pilhas e torná-lo independente do cabo USB ou de acessos à rede elétrica. A proteção e o regulador interno do kit que permite esta alimentação pode ser visto na Figura 19.

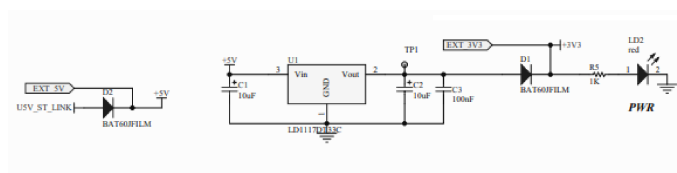


Figura 19 – Regulação de tensão da STM32VLDISCOVERY

Fonte: (ST, 2018)

5.1.7.2 Módulo Bluetooth

Para a comunicação do microcontrolador com o aplicativo desenvolvido foi escolhido utilizar a comunicação Bluetooth por já estar embutida no aparelho celular, ser de fácil implementação e garantir suficiente confiabilidade de dados.

O microcontrolador utilizado não possui a comunicação Bluetooth embutida, de modo que foi necessário ser adicionado ao módulo de processamento um hardware dedicado à esta comunicação. Para este fim, foi escolhido o módulo Bluetooth HC-05 pela sua grande disponibilidade, tamanho reduzido e facilidade de uso. A principal desvantagem deste módulo,

que pode ser visto na Figura 20, é o seu preço, R\$ 48,00 (em 01/08/2018), sendo o componente mais caro de todo o projeto.

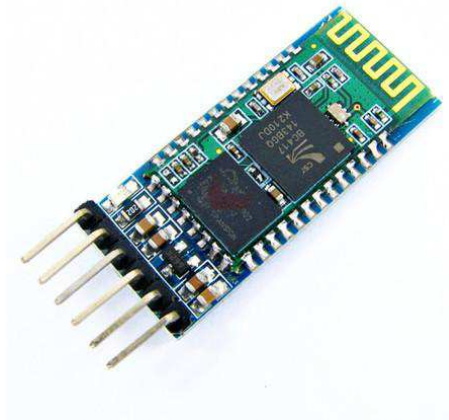


Figura 20 – HC-05

Fonte: (Vida de Silício, 2018)

Este módulo pode ser utilizado tanto no modo mestre quanto no modo escravo, porém neste projeto foi utilizado somente no modo escravo, já que a conexão é sempre inicializada pelo aplicativo. A comunicação entre o HC-05 e o microcontrolador é feita por SSP (Serial Port Protocol) e o módulo já possui uma antena embutida (ITead Studio, 2010).

5.1.7.3 Aviso Sonoro

De acordo com as especificações do projeto, para que se possa medir o tempo de reação do atleta na corrida, foi necessário a escolha de um tipo de aviso para o início do teste.

Foi considerado inicialmente a utilização de uma fonte luminosa como marcação deste início. Entretanto, essa opção conta com duas desvantagens: o alto consumo de corrente de uma lâmpada e o fato de muitas vezes o atleta estar olhando para o chão no início da corrida, não sendo possível a utilização de um led, por exemplo.

Desta forma, optou-se pelo uso de um aviso sonoro. Uma vez que a central se encontra ao lado do primeiro cone, foi utilizado um buzzer responsável por promover o aviso sonoro. Esta escolha se deu ao fato de ser um componente de 5V, mesma tensão de alimentação da placa, e por ser um componente de fácil adaptação à placa de circuito impresso por seu pequeno tamanho. Outra facilidade é que só a aplicação de sua tensão nominal já é suficiente para a saída do aviso, facilitando testes em bancada. Sua corrente de operação, inferior a 25mA, também é aceitável uma vez que ela fica ligada por um curto período de tempo.

Uma desvantagem em relação ao buzzer é que o volume de seu aviso é relativamente baixo. Caso o atleta esteja em ambiente barulhento seria necessária uma fonte com maior volume. Pensando nisso, foi colocada uma saída alternativa que pode ser conectado um auto-falante. Nesta saída é colocado um sinal de aproximadamente 333 Hz, que gerará um aviso

mais alto e mais grave. Entretanto, como o auto-falante é de 8Ω , a corrente para alimentá-lo é bem alta, necessitando de uma fonte de alimentação com maior capacidade de corrente, o que foge do escopo do projeto no momento.

5.2 SOFTWARE

A fim de que o sistema tivesse uma interface com o usuário limpa, de usabilidade instintiva e com fácil acesso aos dados coletados pelo sistema, foi desenvolvido um aplicativo para plataforma Android. Isto foi feito utilizando a IDE Android Studio 3.1.4 e escrita na linguagem Java, ambas escolhidas por maior familiaridade e experiências prévias das autoras. Nesta seção serão mostrados os detalhes deste software desenvolvido.

5.2.1 Banco de Dados

Pela própria natureza do sistema que foi desenvolvido, há uma grande quantidade de dados gerados em seu funcionamento. É necessário não só o armazenamento de cada um dos registros de tempos de cada corrida de cada jogador que utiliza o sistema, mas também o posterior acesso e organização destes dados. Deste modo, para que os registros pudessem ser mais facilmente organizados e acessados pelo usuário, foi utilizado um sistema de banco de dados na implementação do aplicativo desenvolvido.

Foi escolhida a implementação do banco de dados com a biblioteca SQLite, uma versão do padrão de banco de dados SQL (Structured Query Language). A SQLite foi escolhida por ser de fácil implementação e entendimento, seu código é de domínio público (SQLITE, 2018) e ao contrário de muitos sistemas de base de dados, como o Oracle e o Microsoft SQL Server, não necessita de um servidor separado para funcionar, é capaz de escrever e ler diretamente de arquivos em disco. Além disto, este sistema já é incorporado em todos os dispositivos Android, não sendo necessária então, nenhuma configuração extra para seu funcionamento. A SQL, desenvolvida pela IBM no início da década de 70 é a linguagem de banco de dados mais utilizada em todo o mundo (SILBERSCHATZ; KORTH; SUDARSHAN, 2012), o que a torna amplamente documentada facilitando muito sua implementação.

Porém, apesar de todas estas vantagens, por ser mais leve e compacto, o SQLite apresenta somente três tipos de dados que podem ser utilizados, são eles: TEXT, INTEGER e REAL. Todos os outros formatos de dados devem ser transformados em um destes três tipos antes de poderem ser armazenados, o que o torna seu uso mais limitado. Além disto, como sua utilização envolve acesso a arquivos em disco no Android, sua utilização pode ser um pouco mais lenta do que em outros bancos de dados.

5.2.2 Layouts e funcionamento

A primeira tela do aplicativo, que pode ser vista na parte 'a' da Figura 21, consiste em uma tela de boas vindas e é onde será chamada a permissão para acesso ao Bluetooth do

dispositivo. Quando a conexão é feita, o aplicativo automaticamente chama a tela principal do aplicativo. Já na parte 'b' da Figura 21 pode ser vista a tela de cadastro onde pode-se adicionar ou remover jogadores do banco de dados.

A tela principal, que pode ser vista na parte 'c' da Figura 21, é responsável pelo início da corrida, seu cancelamento, e também mostra o resultado da corrida imediatamente após o seu término, para comodidade do usuário. Esta tela possui um campo para que o usuário selecione o nome do jogador que irá realizar a corrida e um botão "Iniciar" que começará a comunicação com o microcontrolador e a medição da corrida em si. Assim que pressionado é iniciada a corrida e este botão passa a exibir a palavra "Cancelar". De modo que se pressionado novamente é enviado um sinal para o microcontrolador, a letra "P" que vem de "pare", que para o teste e prepara o aplicativo para o início de uma próxima corrida. Assim que cancelado uma corrida, o botão volta a exibir "Iniciar" e o ciclo se repete. Quando uma corrida é concluída, o resultado dos tempos dos três módulos de medição são recebidos do microcontrolador e armazenados no banco de dados. Caso ocorra algum erro durante a corrida, avisos são mostrados ao usuário também nesta tela.

O recebimento dos dados via Bluetooth foi implementado em uma "thread" própria no aplicativo, para que este fique escutando continuamente o Bluetooth a espera de uma mensagem de erro ou dos dados finais da corrida. Esta thread é iniciada assim que o usuário inicia um novo teste e é parada no caso de cancelamento ou fim deste, assim como no caso de recebimento de uma mensagem de erro do microcontrolador.

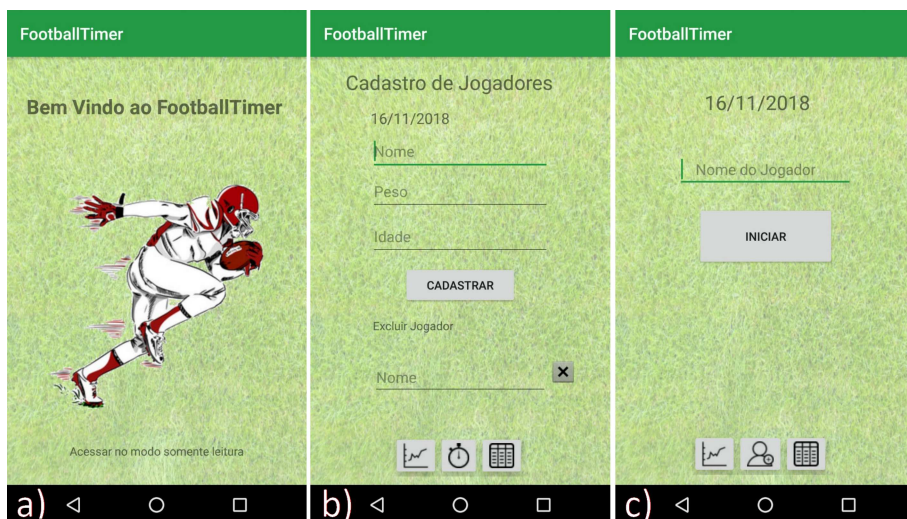


Figura 21 – a) Tela de boas vindas, b) Tela de cadastros e c) Tela principal

Fonte: Autoria própria

Um menu na parte inferior do "layout" da tela principal, leva o usuário a duas outras telas que mostram os resultados das corridas terminadas. Uma destas telas de visualização permite ao usuário filtrar o banco de dados e os exibir em forma de tabela para melhor comparação de seus jogadores entre si e ao longo do tempo, o "layout" desta pode ser visto na

parte 'a' da Figura 22. O usuário tem as opções de filtrar por nome de jogador e selecionar o período dos dados que serão exibidos entre hoje, esta semana, este mês e todos os tempos. Se o nome do jogador for deixado em branco, serão mostrados os registros de todos os jogadores no período escolhido. Além disto, os dados podem ser do tempo total do percurso, do tempo de arranque, que corresponde ao tempo entre o primeiro e o segundo módulo de medição, e do tempo de reação, que consiste no tempo depois do início da buzina até a saída do atleta da frente do primeiro módulo de medição.

A outra tela de visualização de resultados, que pode ser vista na parte 'b' da Figura 22, mostra os dados em forma de gráficos, de forma a ilustrar melhor o desenvolvimento dos atletas ao longo do tempo. Nesta tela é possível a filtragem dos dados registrados pelo nome do jogador escolhido pelo usuário e o tipo de dado desejado (tempo de reação, arranque e total).



Figura 22 – a) Tela de Tabelas e b) Tela de Gráficos

Fonte: Autoria própria

Para que os dados possam ser acessados sem a necessidade de estar conectado ao Bluetooth, o aplicativo oferece um modo de leitura, no qual as telas de cadastro de jogadores, tabela e gráficos estão disponíveis, porém a tela principal é indisponível neste modo.

5.2.3 Bibliotecas Utilizadas

Para a visualização dos resultados em forma de gráfico no aplicativo foi utilizada a API (Application Programming Interface) chamada "Google Charts". Esta foi escolhida particularmente pela sua aparência agradável em relação a outras bibliotecas disponíveis gratuitamente. Além disto, esta API é de fácil implementação e alteração. Primeiramente foi

utilizada a biblioteca “*GraphView*”, porém esta não tem o apelo estético da API escolhida e também se mostrou de difícil implementação no caso da nossa utilização de datas como rótulos do eixo horizontal do gráfico. A única desvantagem da API utilizada é que ela necessita de uma conexão à internet para seu funcionamento, o que não é ideal na utilização em campo.

5.2.4 Handshake com o microcontrolador

Depois de conectado o aplicativo ao Bluetooth, e antes do início efetivo de cada corrida, é feita uma troca de palavras para garantir a comunicação com o microprocessador. Primeiramente, quando o botão “Iniciar” da tela principal é acionado, o aplicativo envia a palavra “C” de “começa” sinalizando ao microcontrolador que o usuário quer iniciar uma corrida. Após o envio, o aplicativo espera a resposta do microcontrolador que deve ser um “ACK”. Enquanto esta palavra não é recebida, o sinal “C” é reenviado a cada 0.5 s, pelos próximos 10 s, tempo no qual é considerado um “timeout” pelo aplicativo e um aviso de erro na conexão é mostrado ao usuário. Quando o “ACK” é recebido corretamente, o timer é parado, o “handshake” é concluído e o aplicativo passa a esperar os dados da corrida. O modo como este “handshake” foi tratado pela STM está descrita na Subseção 5.3.3.

Além desta checagem inicial de comunicação, ao final da corrida ocorre processo parecido, para garantir que os valores de tempo não foram recebidos erroneamente. Juntamente com os tempos dos sensores 1,2 e 3, o microcontrolador manda a soma destes valores, que é verificada pelo aplicativo antes dos dados serem guardados efetivamente no banco de dados. Caso a soma dos valores que foram recebidos corresponda à soma recebida o aplicativo envia um sinal de finalização de “acknowledge” na forma da letra “A”, caso esta soma não for conferida isto é indicado ao microcontrolador na forma da letra “N” de “not acknowledge”.

5.3 FIRMWARE

Para o gerenciamento dos dados do sistema, bem como a integração entre os módulos de medição e a interface com o usuário, foi desenvolvida uma central de processamento utilizando o kit citado na Subsubseção 5.1.7.1. Para isto, foi utilizada a IDE IAR Embedded Workbench 8.30.1 e escrita em linguagem C. A escolha da IDE se deu por uma maior familiaridade das autoras, uma vez que a mesma já havia sido utilizada ao longo do curso. Quanto a linguagem de programação é característica própria do microprocessador utilizado. Nesta seção é abordado o desenvolvimento do firmware desenvolvido para este microprocessador.

5.3.1 Bibliotecas Utilizadas

Devido ao kit de processador escolhido, foram utilizados os drivers HAL que são projetados para oferecer um número grande de APIs, cobrindo o conjunto de periféricos mais comuns. Dentre os drivers do HAL, os que mais utilizamos foram os de HAL GPIO, HAL UART e HAL TIM.

Para a configuração da UART e do TIM, especificamente para o processador escolhido, foi escolhido a utilização do programa STM32CubeMX 4.1.0.0 que auxilia na criação do escopo do código do projeto. A configuração dos pinos pode ser visto na Figura 23.

O driver da UART é utilizado para a comunicação com o Bluetooth. O parâmetro escolhido através do CubeMX foi o de baud rate, fixado em 9600, padrão utilizado pelo módulo bluetooth HC-05.

Já o driver TIM é utilizado para a geração da saída PWM opcional que alimenta o auto-falante. Visando utilizar uma frequência de aproximadamente 333 Hz, é necessário uma onda PWM de aproximadamente 3 milissegundos de período. Para tal, configura-se o Prescaler com 8-1, dividindo por 8 o clock de 8M Hz, obtendo um período de 1 micro segundo. Multiplicando por 3000, obtêm-se o período desejado. Desta forma, foi setado o Counter Period como 3000-1.

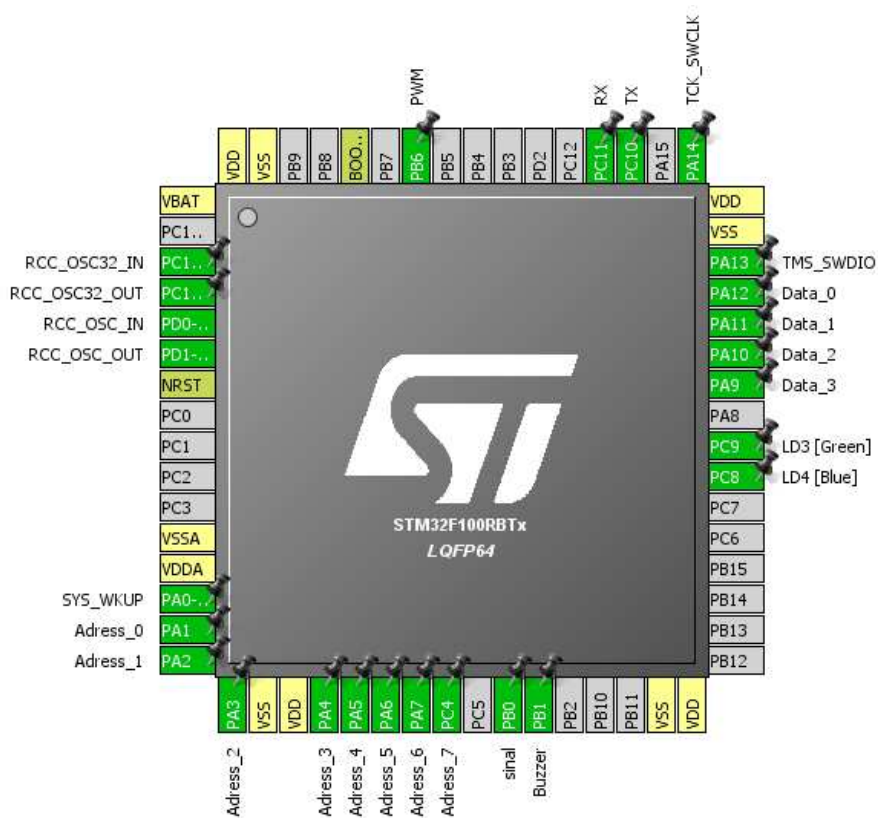


Figura 23 – Configuração Cube MX

Fonte: STM32CubeMX

5.3.2 Máquina de Estados

Devido a natureza cíclica do teste de corrida a ser desenvolvido, optou-se por utilizar o conceito de máquina de estados como base do firmware do microprocessador. Desta forma, o programa segue um fluxo determinado a partir de variáveis do sistema, por um número finito

de estados, sendo seu comportamento bastante previsível (BERTOLETI, 2015). Outro fator relevante para a escolha da máquina de estados é uma vez que terminada a corrida, seja de forma completa ou de forma falha, por uma parada do atleta ou uma interrupção do treinador, o programa irá voltar ao seu estado inicial de espera de uma nova corrida

Para a implementação da máquina de estados, os estados são alternados via Switch/Case através de uma variável de controle denominada estado atual. Com o auxílio de uma outra variável denominada próximo estado, o estado seguinte é escolhido dadas as condições do sistema. A cada atualização do systick, de 1m segundo, o próximo estado é passado ao estado atual.

A máquina de estados conta com dez estados de funcionamento, sendo eles: Início, Espera, Largada, Debounce1, Cone1, Debounce2, Cone2, Cone3, Teste Completo e Teste Falho. São utilizadas seis variáveis de tempo responsáveis pelo tempo corrido, marcação dos tempos de passagem em cada cone, timeout e tempo de liberação para início do teste. O timeout é o tempo para que o teste seja cancelado uma vez que o atleta, por algum motivo, não completa o percurso. Todos os estágios contam com o estouro de tempo do timeout exceto o estado de Início, Teste Completo e Teste Falho. O programa conta ainda com uma variável que interrompe o teste de forma assíncrona caso o treinador solicite esta parada via aplicativo. O fluxograma da máquina de estados pode ser vista na Figura 24.

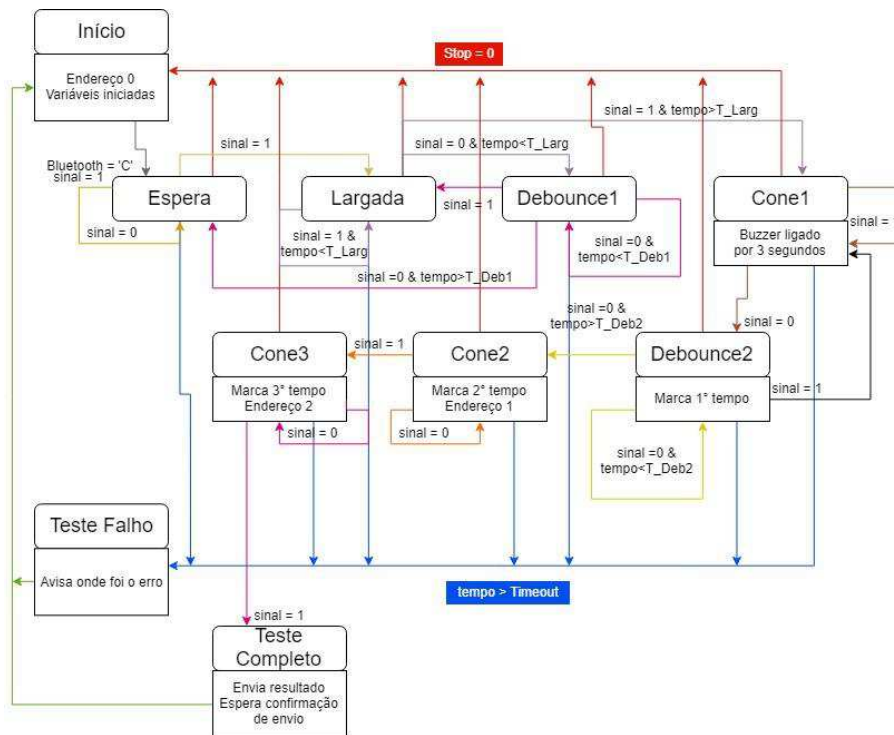


Figura 24 – Fluxograma da Máquina de Estados

Fonte: Autoria Própria

A troca de escuta de sinais dos sensores é feita através da alteração de endereço do

decoder. Em cada módulo de medição esses endereços são fixos, sendo: 0 para o primeiro cone, 1 para o segundo e 2 para o terceiro. Assim, no início do teste o programa sempre está escutando o endereço 0 e só o modifica para o endereço 1, quando a pessoa sai da frente do primeiro cone. Da mesma forma, o endereço permanece em 1 enquanto não é detectada a passagem no segundo cone. Foi escolhida essa forma de troca de endereços devido necessidade de não atrelar atrasos a leitura de sinais recebidos pelos cones. Seria o caso se decidimos fazer a leitura dos cones por pooling, ou seja, ter um tempo de troca de leitura fixas entre os cones de forma circular. A leitura estaria então sujeita a perda de recepções e atrasos atrelados às medições. Portanto, foi escolhido escutar o sinal do cone em teste e somente depois de ele enviar os dados esperados, ser feita a troca do endereço. Esse método é justificado devido ao fato que o tempo de alteração do endereço no código ser muito inferior ao tempo que o atleta leva correndo entre um cone e outro.

O estado de Início é o primeiro da máquina de estados e é, portanto, onde o programa se encontra no momento que é ligado. Este estado possui todos os tempos zerados e também seleciona o endereço 0 do primeiro cone no decoder. O programa ficará neste estado enquanto não receber o comando "C" do APP para o início do teste.

O estado de Espera é o estado que aguarda o jogador se posicionar na frente do cone 1 para que seja dada a largada do teste. Caso o jogador não se posicione na frente do cone antes do período do timeout, o teste será considerado um teste falho. Caso o jogador se posicione, o próximo estado será então o de Largada. A cada troca de estado o timeout é zerado, sendo seu valor padrão de 20 segundos.

O estado de Largada é responsável por agir como um debounce do início do teste. Devido ao próprio formato do corpo, quando a pessoa se posiciona na frente do sensor, este tem uma certa oscilação na saída até que fique em estado contínuo de disparo. Desta forma, a pessoa não teria tempo de se posicionar na frente do sensor para o começo da corrida. Assim, é estabelecido um tempo, de 3 segundos, em que é necessário a pessoa ficar na frente do sensor para que este comece, de fato, a marcação do tempo. Só após passados 3 segundos com o sensor disparado é que irá ser ligado o buzzer que sinaliza o começo do teste e o estado será atualizado para o Cone1. Neste momento também é zerado o cronometro do tempo, pois esse é o marco inicial do teste. Caso, em menos de 3 segundos o sensor deixe de detectar a pessoa, o estado será atualizado para Espera novamente.

O estado de Debounce1 é responsável por corrigir os erros causados pela própria comunicação RF. Com o afastamento entre os módulos de transmissão e recepção o sinal tende a ficar mais fraco. Muitas vezes há falha na comunicação, gerando ruídos no pino de VT (Valid Transmission) do decoder. Uma forma de contornar esse problema foi criando este estado, em que o sinal só é considerado totalmente baixo, ou seja, não existe comunicação entre os módulos, se ele permanecer em baixo por um determinado tempo, neste caso de 200 milissegundos. Caso ele caia, por um tempo inferior a este, é considerado apenas como ruído na comunicação.

Uma vez detectada uma pessoa pelo tempo de largada, o estado do Cone1 irá aguardar que a pessoa saia da frente do primeiro sensor para marcar o primeiro tempo de resposta do atleta, chamado de tempo de reação. O tempo de reação é a diferença entre o tempo que o buzzer é acionado com o tempo de saída do atleta da frente do cone. Essa medida é bastante importante para o treinador saber como o atleta reage a estímulos auditivos. O buzzer permanece ligado pelo período de 5 segundos caso o atleta não saia da frente do cone 1. Caso o atleta saia num período inferior a este tempo, o buzzer será desativado no momento de sua saída e o estado será atualizado para Cone2. Caso seja escolhido utilizar o auto-falante, ele se comportará da mesma forma que o buzzer.

O estado de Debounce2 tem a mesma função do Debounce1, porém relativo a saída do atleta do primeiro cone. Se for detectada a saída do atleta, falta de detecção de comunicação, por mais de 50 milissegundos, é marcado o tempo do primeiro cone, somando os 50 milissegundos do debounce2.

O estado de Cone2 é quem efetivamente desativa o buzzer e modifica o endereço do decoder para 1, a espera da passagem no segundo cone. O programa permanecerá nesse estado enquanto não for detectado o sinal enviado pelo segundo cone ou atinja o timeout. Caso receba o sinal, é marcado o segundo tempo, chamado tempo de arranque. O endereço do decoder é estabelecido como 2, do terceiro cone, e o estado passará a Cone3.

O Cone3 é bastante similar ao estado do Cone2, aguardando da mesma forma a passagem do atleta. Entretanto, como esta é a última etapa do teste, uma vez que for detectado o sinal, é marcado o terceiro e último tempo e o próximo estado será o Teste Completo.

O Teste Completo é o estado de finalização do ciclo completo de testes. Neste estado é enviado ao APP o resultado final com os três tempos do teste e estabelece o próximo estado como o Início. Antes de sair do estado ele garante que os dados foram enviados corretamente ao APP.

O último estado, Teste Falho, só é acessado quando o teste é cancelado através do aplicativo. Ele verifica quais tempos não foram marcados e a partir disso manda uma mensagem ao aplicativo indicando em qual estágio, módulo 1, 2 ou 3, que ocorreu o erro ou a interrupção do teste. Em seguida, estabelece o Início como próximo estado.

5.3.3 Handshake com o APP

Durante os estados de Início, Teste Completo e Teste falho há comunicação e troca de dados entre a central e o aplicativo. Para garantir a confiabilidade dos dados enviados entre os mesmos, é necessário estabelecer um protocolo de comunicação do ponto de vista da central.

No início do teste, a central fica aguardando o recebimento da letra "C" para a troca para o próximo estado. Uma vez recebida uma palavra de 1 letra, a função de Callback do receptor da UART será chamada. Nesta função será conferida se a palavra recebida corresponde a esperada. Caso seja, será enviado ao APP uma mensagem contendo a palavra "ACK", indicando

o recebimento correto do início dos testes. Caso contrário, ele limpa o buffer de recepção e continua aguardando.

Como forma de facilitar o processo de comunicação, o protocolo de comunicação do aplicativo para com a central contém apenas palavras de 1 letra. Assim, cada vez que o receptor da UART receber corretamente uma letra, ele irá chamar a função de Callback. No caso de já ter sido iniciado o teste, a opção de chegada de letra é "P", que corresponde a interrupção do teste. Uma vez reconhecida tal palavra, será modificada uma variável responsável por parar os testes.

A última troca de dados entre a central e o aplicativo é a mais importante devido não só a conter todo o resultado do teste, mas também por ser a que transmite um maior número de dados. Desta forma, uma vez terminado o teste é enviado juntamente: o tempo do primeiro cone, de segundo, do terceiro e a soma destes três tempos. A formatação escolhida foi de separação dos números utilizando o caractere ";" para que possam ser facilmente identificados no aplicativo. Quanto ao envio da soma, funciona como uma conferência dos valores enviados, uma espécie de paridade, que garante que os números recebidos estão corretos. Se a soma calculada no aplicativo for idêntica a enviada por Bluetooth, os dados estão corretos. Esse método foi escolhido pela facilidade de implementação.

O aplicativo irá retornar a letra "A" caso os dois valores sejam correspondentes. Do contrário, é enviado "N", indicando uma falha nos dados. Caso não seja recebido resposta, possível falha na comunicação do Bluetooth, ou uma resposta errada, "N", a central faz dez tentativas de envio dos dados, espaçadas de 1 segundo, garantindo assim uma maior probabilidade de envio correto de informação.

5.4 PROTÓTIPO

De forma a melhorar a usabilidade do equipamento, tanto os módulos de medição, quanto o de processamento, são fixados em bases de forma a se adequar as exigências de altura e posição do projeto. Os protótipos foram desenvolvidos pelas autoras visando uma maior precisão nas formas desejadas, bem como uma diminuição dos custos.

5.4.1 Base

Conforme citado na Seção 2.2, para uma melhor obtenção de resultados, o sensor deve se alinhar na altura aproximada da cintura do atleta. Como diversos atletas, de diversas alturas, fazem utilização do equipamento, a partir de uma média, foi fixada a altura do protótipo em aproximadamente 80cm.

Foram levados em conta diversos equipamentos que poderiam ser utilizados como base de apoio para as placas. Em um primeiro momento foi cogitado equipamentos que pudessem ser comprados prontos. A primeira ideia foi a de um cone simples devido a disponibilidade no mercado, leveza e o preço de R\$ 9,90 (10/11/2018). A sua desvantagem encontra-se na altura,

de 50cm, não estando adequado ao projeto. Outra possibilidade era o cone de de 75cm, mas seu preço está entre R\$ 24,90 e R\$ 40,90 (10/11/2018). Considerando que o transporte do cone é dificultado pelo espaço de locomoção, foi descartada a ideia dos cones.

Em seguida foi cogitada a ideia da utilização de separadores de fila, que possuem um material correto para ficarem estáticos em campo. Entretanto, o menor preço encontrado foi de R\$ 96,95 (10/11/2018), inviabilizando sua utilização.

Desta forma, foi decidido desenvolver bases próprias que atendessem todos os requisitos do projeto. Escolhemos como material principal da base um cano de PVC disponível no mercado, com 7,5 cm de diâmetro. Foram comprados dois canos de 1,5m de valor R\$ 19,90 (10/11/2018), para serem utilizados nas quatro bases. Ainda foram utilizados uma base de madeira R\$ 5,00 (27/10/2018) e duas tampas de cano R\$ 5,00 (10/11/2018) pvc para cada base. O resultado obtido pode ser visto na Figura 25. A vantagem da utilização deste protótipo, além do preço de R\$ 19,95 (10/11/2018) por base, é que por ser desmontável, como na Figura 26, facilita o transporte do mesmo para o campo.



Figura 25 – Base sem Módulo de Medição

Fonte: Autoria Própria



Figura 26 – Protótipo Desmontado

Fonte: Autoria Própria

5.4.2 Proteção para as Placas

Uma vez construídas as bases de apoio das placas, foi necessário a obtenção de um material que concedesse proteção às mesmas, bem como agrupasse todos os elementos de cada módulo, como: sensor, bateria, placa, etc.

Em um primeiro momento foi cogitado o desenho de uma peça, a ser impressa em uma impressora 3D, de modo que atendesse ao design e as necessidades do projeto. Essa opção foi descartada devido ao tempo gasto no desenho da peça, bem como o preço envolvido na impressão de cada uma.

Foi cogitado também encomendar um suporte de plástico, em uma fábrica responsável por fornecer tais materiais. Entretanto, pelos mesmos motivos da peça da impressora 3D, a opção foi descartada.

Pensando na simplicidade e na necessidade da proteção ser leve e de baixo custo, optamos por escolher potes plásticos disponíveis no mercado. Essa opção nos trouxe uma maior liberdade, pois foi possível a compra de diversos modelos para teste, até que foram escolhidos os modelos que usaríamos no projeto para o módulo de medição, Figura 27, e para o módulo central, Figura 28, devido ao baixo preço dos potes, R\$ 3,00 (19/10/2018). O módulo da central ainda conta com um porta celular, de forma a facilitar a o manuseio dos teste para o treinador, adquirido no valor de R\$ 19,90 (19/10/2018). Na Figura 29 podemos ver os protótipos finalizados, sendo à esquerda o módulo de medição e à direita o módulo central.

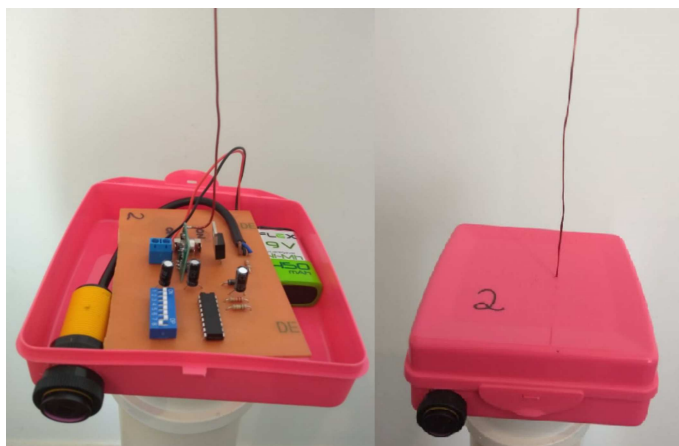


Figura 27 – Proteção Módulo de Medição

Fonte: Autoria Própria



Figura 28 – Proteção Módulo Central

Fonte: Autoria Própria



Figura 29 – Protótipos Finalizados

Fonte: Autoria Própria

6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

De modo a validar o funcionamento do projeto apresentado detalhadamente no Capítulo 5, foram desenvolvidos alguns testes de hardware, software e parâmetros de funcionamento. Neste capítulo são apresentados os resultados de quatro testes: Comparação com Cronômetro manual, Distâncias Máximas e Resposta à Luminosidade. Por fim é feita uma comparação do preço final do projeto desenvolvido em relação a opção mais barata disponível no mercado.

6.1 Comparação com Cronômetro Manual

Para fins de comparação entre o cronômetro manual e o projeto desenvolvido pelas autoras, realizaram-se 20 testes de tempo paralelos entre os dois modos de medição, variando a distância total do teste. O resultado pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 – Comparação com o cronômetro

Teste	Distância (m)	Cronômetro (seg)	Football Timer (seg)	Diferença (seg)
1	10	04:09	04:08	00:01
2	10	04:18	04:11	00:07
3	10	03:96	03:89	00:07
4	25	06:52	06:75	-00:23
5	25	06:67	06:65	00:02
6	25	10:81	10:99	-00:18
7	25	15:07	15:04	00:03
8	25	06:13	06:03	00:10
9	25	08:77	08:98	-00:21
10	25	18:06	18:01	00:05
11	25	08:56	08:46	00:10
12	25	07:54	07:86	-00:32
13	25	11:57	11:55	00:02
14	25	05:95	06:37	-00:42
15	25	06:50	06:76	-00:26
16	25	11:87	11:89	-00:02
17	25	08:76	08:50	00:26
18	25	14:46	14:37	00:09
19	40	12:52	12:27	00:25
20	40	12:37	11:54	00:83

É possível notar que foram encontrados diversos valores do cronômetro em relação ao projeto, para mais e para menos, mas todos com discrepâncias justificáveis, validando assim a veracidade do projeto. É importante frisar que 70% dos dados adquiridos estão dentro da margem de erro citada na Seção 2.1. Apenas seis medições apresentaram discrepâncias maiores, sendo duas delas na maior distância, em que a visualização do momento em que o atleta cruza o último protótipo é comprometida pela perspectiva.

As diferenças de medidas se dão principalmente ao tempo de reação do operador do cronômetro. Este tem não só o tempo de reação da saída do atleta, mas também a reação do momento em que conclui que o atleta passou a linha de chegada. Este tempo pode ser negativo ou positivo, dependendo do operador e do teste.

Uma diferença a ser frisada neste teste é que o cronômetro manual consegue apenas adquirir o tempo de corrida total do atleta, ainda somado ao erro associado. Ao contrário do projeto desenvolvido, o cronômetro não consegue marcar o tempo de reação do atleta, por ser muito rápido. Mesmo se fosse possível, seria uma medida totalmente duvidosa, uma vez que o operador do cronômetro também tem o seu tempo de reação.

Outra vantagem é que caso se deseje marcar um tempo específico do trajeto de 40 jardas com o cronômetro, como é medido o tempo de arranque no projeto, entre o cone 1 e cone 2, o operador precisa parar o cronômetro e anotar o tempo. Desta forma ele perde o tempo total de corrida do atleta. Esse problema poderia ser contornado usando dois cronômetros simultâneos. Entretanto o erro associado seria ainda maior.

6.2 Distâncias Máximas

A fim de definir os parâmetros de funcionamento do projeto, foram feitos testes de alcance entre os módulos de medição, de processamento e o celular que contém o APP. Os testes são descritos na Subseção 6.2.1 e na Subseção 6.2.2.

6.2.1 Módulo de Medição e Central

O primeiro teste desenvolvido foi de alcance entre a central e o primeiro cone, a fim de testar a confiabilidade do sinal entre ambos. O primeiro cone é que o que precisa ter o melhor sinal de comunicação com a central, uma vez que ele é o que passa mais tempo se comunicando com a mesma, em torno de 3 segundos para garantir que o atleta está posicionado no início do teste.

Para o teste foram levados em conta dois parâmetros: o tempo do debounce 1, responsável justamente por corrigir ruídos na comunicação, e a distância limite em que há uma comunicação confiável. Foi comprovada a importância de fazer o debounce do sinal, uma vez que mesmo bastante próximo, a comunicação pode apresentar falhas ou interferências, invalidando o teste desnecessariamente. Desta forma, depois de alguns testes e ajustes, foi escolhido o tempo de Debounce 1 de 200 ms. Com este tempo foi possível alcançar uma distância entre central e cone 1 de 40 metros. Ou seja, a distância completa do testes de 40 jardas. Essas condições foram alcançadas em ambiente aberto.

Apesar de o projeto definir esse parâmetro de distância de central em relação ao cone 1, como garantia, o modo de operação indicado pelas autoras é de posicionar o cone 1 e a central lado a lado, para melhor funcionamento do projeto.

Outro parâmetro importante do projeto é definir a distância máxima entre cone 1,

e portanto a central, do cone 3. O objetivo é que o teste funcione nas 40 jardas, porém é importante para o treinador que conheça os limites de distância de comunicação confiável. Desta maneira, após testes em campo, foi alcançado a distância máxima de 80 metros, limitada pelo espaço físico disponível para testes. Entretanto, pelo bom funcionamento em 80 metros, estima-se que o projeto cubra aproximadamente 100 metros, correspondente ao campo inteiro de futebol americano.

6.2.2 Bluetooth e Central

Com o mesmo objetivo da Subseção 6.2.1 foram feitos testes a fim de definir qual a distância máxima que o operador do APP deve estar em relação a central. Esse valor de distância foi definida como 40 metros. Vale salientar que mesmo o teste funcionando nesta distância, não foram levantados dados estatísticos que comprovem o bom funcionamento, sendo o aconselhável o treinador se posicionar o mais próximo da central que for possível.

Esse teste é de bastante relevância para o treinador do time, que é para quem é direcionado o uso do APP. Isso devido a importância do treinador se movimentar ao longo das 40 jardas para observar e orientar os atletas, dando maior liberdade à equipe.

Desta forma, mesmo a base da central tendo um suporte para celular, para conforto do operador, ele não está limitado somente a aquela posição.

6.3 Resposta à Luminosidade

A fim de comprovar a usabilidade do projeto, foram feitos testes em diversos locais de possível uso. Em ambientes abertos tivemos dois testes: em uma rua de baixo movimento e em um parque. Em ambientes fechados também foram feitos dois: no corredor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná e em uma garagem coberta.

Os resultados foram satisfatórios em todos os cenários, uma vez que comprovam que o projeto desenvolvido pode ser usado em campos ou parques abertos, onde ocorrem a maioria dos testes do esporte em questão, e, também, em estádios ou ginásios fechados. A iluminação também foi um fator irrelevante, sendo possível a realização em ambientes bastante escuros. O contrário também é verdadeiro, uma vez que as reflexões de grama e asfalto não atrapalharam os testes.

6.4 Custo do projeto

Para comparação com os valores encontrados para sistemas disponíveis comercialmente, foi feito um levantamento dos custos deste projeto. A Tabela 2 mostra os valores de cada um dos componentes integrantes do módulo de medição, incluindo as bases. Como pode ser visto o custo total para cada um dos três módulos de medição é de R\$ 135,49.

Os custos dos componentes do módulo de processamento podem ser vistos na Tabela 3. O custo do microprocessador foi calculado levando em conta a taxa de câmbio do dólar em

10/11/2018 do (GOOGLE, 2018). Os custos de frete e imposto a ser pagado caso fosse necessária a importação deste item foram desconsiderados, pois para a importação do sistema comercial a ser comparado com este projeto também seriam aplicadas tais taxas. Assim, o custo do módulo de processamento resulta em R\$ 199,66.

Os custos totais do projeto considerando os três módulos de medição e o de processamento se somam a R\$ 606,13. Este custo é relativamente baixo se o compararmos com a solução comercial mais próxima às funcionalidades deste projeto, o sistema de somente dois “timing-gates” da Dashr Systems, que custa, sem considerar impostos e fretes \$649,99. No momento da redação deste documento este valor equivale a R\$ 2426,93. A partir desta análise pode-se concluir que o presente projeto atingiu seu objetivo de ser uma alternativa mais acessível do que as atualmente disponíveis no mercado.

Tabela 2 – Custos de cada módulo de medição

Componente	Preço	Componente	Preço
Sensor Infravermelho	R\$ 44,35	Diodo	R\$ 0,10
Capacitores 10uF	R\$ 0,60	Regulador	R\$ 3,82
Encoder	R\$ 7,50	Borne	R\$ 1,00
Transmissor RF	R\$ 6,32	Chave	R\$ 0,10
Resistores	R\$ 0,20	Barra Modu	R\$ 4,04
DIP-Switch	R\$ 2,56	Conector para Bateria	R\$ 1,00
Pote de Plástico	R\$ 3,00	Tubo PVC	R\$ 9,95
Tampa do tubo PVC	R\$ 5,00	Bateria	R\$ 29,00
Madeira	R\$ 5,00	Placa de Fenolite	R\$ 2,20
Capacitor 6800uF	R\$ 2,30	Velcro	R\$ 7,45
		Preço Total:	R\$ 135,49

Tabela 3 – Custos do módulo de processamento

Componente	Preço	Componente	Preço
Microprocessador	R\$ 36,89	Diodo	R\$ 0,10
Capacitores 10uF	R\$ 0,40	Regulador	R\$ 3,82
Decoder	R\$ 7,50	Borne	R\$ 1,00
Receptor RF	R\$ 6,32	Chave	R\$ 0,10
Resistores	R\$ 0,10	Barra Modu	R\$ 8,08
Pote de Plástico	R\$ 3,00	Conector para Bateria	R\$ 1,00
Tampa do tubo PVC	R\$ 5,00	Tubo PVC	R\$ 9,95
Capacitor 6800uF	R\$ 2,30	Bateria	R\$ 29,00
Buzzer	R\$1,45	Módulo Bluetooth	R\$ 48,00
Madeira	R\$ 5,00	Placa de Fenolite	R\$ 3,30
Porta Celular	R\$ 19,90	Velcro	R\$ 7,45
		Preço Total:	R\$ 199,66

7 CONCLUSÃO

O objetivo central do trabalho é obter uma forma alternativa de medição de tempo no teste de 40 jardas de atletas de futebol americano, visando a simplicidade, praticidade e baixo custo.

O desempenho do projeto se mostrou bastante satisfatório, uma vez que a distância de 40 jardas, parâmetro inicial, foi alcançada com facilidade e com um bom funcionamento. O teste poderia ser estendido ao dobro de distância sem comprometer a confiabilidade dos dados. A utilização do módulo 433M Hz de comunicação RF se mostrou suficiente ao projeto, mesmo sendo bastante simples. O mesmo pode ser dito do módulo Bluetooth HC-05, que permitiu uma comunicação ao longo de todo o trajeto de testes, se mostrando bastante confiável se próximo ao celular.

As ferramentas de desenvolvimento IAR e Android Studio foram complementares ao desenvolvimento. A primeira responsável por gerir os testes em si, provendo uma ponte entre a aquisição de dados e o armazenamento dos mesmos de forma embarcada. A segunda responsável por promover a interação com o usuário de forma intuitiva, melhorando a usabilidade do projeto.

A utilização do kit de desenvolvimento STM32VLDISCOVERY proporciona diversas possibilidades de melhorias e adições ao projeto, sendo que possui um microprocessador bastante sofisticado se comparado ao total utilizado. Entretanto, seu preço é bastante vantajoso se levado em conta o seu potencial, tornando-se assim uma boa opção comercial.

A partir de uma análise geral dos resultados apresentados, foi considerado que o trabalho cumpriu sua função, apresentando uma alternativa com cerca de um quarto do valor da solução mais simples a ser importada. Isso somado a disponibilidade no mercado para encontrar os componentes utilizados para a composição do projeto como um todo. Ainda que fosse visado uma melhor apresentação física do protótipo, com a utilização de tripés como base e de moldes 3D para proteção das placas de circuito impresso, o preço do trabalho seria bastante vantajoso em relação às outras opções.

O grande diferencial do projeto foi tornar acessível uma opção de marcação de tempo mais confiável a times que contam com baixo orçamento e não têm condições de importar os produtos usados por times maiores. Oferece uma alternativa ao uso do cronômetro que, segundo a literatura, é pouco confiável e traz a necessidade de escrita dos resultados em uma folha de papel, desperdiçando assim a obtenção de todos os dados da corrida.

Uma vantagem do projeto desenvolvido é ele ser facilmente alterado de forma a poder ser utilizado em outros tipos de testes além do de 40 jardas. O número de módulos também pode ser aumentado, de forma a se obter mais dados ao longo do trajeto. Foi decidido fixar o número em três devido ao preço final.

Um dos maiores desafios que o projeto nos proporcionou foi o desenvolvimento confiável

do comunicação RF, devido a dificuldade de verificação de calibração da frequência das antenas. Isso se deve ao fato de o módulo RF ser bastante limitado, sem informações adicionais da comunicação. Outro fator limitante foi a utilização de alimentação sem fio, no caso as baterias, sendo necessário balancear a compra de componentes de menor consumo com componentes de baixo preço. Como a alimentação do módulo transmissor RF está diretamente relacionado a potência do sinal enviado, foram escolhidas as soluções que melhor se enquadraram, as baterias de 9V.

Visando a melhoria do projeto, algumas alterações poderiam ser feitas futuramente. A primeira seria a utilização de um microprocessador menos robusto que o utilizado, uma vez que o projeto não demanda tamanha complexidade. Se fosse viável uma opção de placa com componentes SMD, poderia inclusive ser comprado um microprocessador avulso em vez de um kit de desenvolvimento. A segunda melhora seria em relação a comunicação sem fio entre as placas de medição e a central, em que novas tecnologias, mais confiáveis e com maior alcance, poderiam ser utilizadas, como a tecnologia Lora. A terceira seria a utilização de componentes que possuem modo low power, visando o menor consumo de bateria. A última alteração seria uma melhoria do protótipo, deixando-o menos artesanal e mais adaptado aos diversos terrenos que possa ser utilizado. Um exemplo é utilização de tripés como bases e a confecção de proteções em impressora 3D, de forma a tornar o produto mais comercial.

Referências

- 14CORE. *Wiring the E18-D80NK Infrared Distance Ranging Sensor*. 2018. Disponível em: <<https://www.14core.com/wiring-the-e18-d80nk-infrared-distance-ranging-sensor/>>. Acesso em: 01/10/2018. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 37.
- ACTIVE. **Active Endurance**. 2018. Disponível em: <<http://www.activeendurance.com/products/ipico>>. Acesso em: 06/08/2018. Citado na página 25.
- ASI. **FieldWiz**. 2018. Disponível em: <<https://www.fieldwiz.com/>>. Acesso em: 06/08/2018. Citado na página 23.
- BEAMTRAINER. **Timing Gates QF11**. 2018. Disponível em: <<http://beamtrainer.com/store11/shop/timing-gates-qb11-athlete>>. Acesso em: 06/08/2018. Citado na página 24.
- BENSKY, A. **Short-range Wireless Communication: Fundamentals of RF System Design and Application**. [S.l.]: Burlington: Elsevier, 2004. 383 p. Citado na página 31.
- BERTOLETI, P. **Máquina de estados**. 2015. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/maquina-de-estado/>>. Acesso em: 10/11/2018. Citado na página 47.
- BOND, C. W.; WILLAERT, E. M.; NOONAN, B. C. Comparison of Three Timing Systems: Reliability and Best Practice Recommendations in Timing Short-Duration Sprints. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 31, n. 4, p. 1062–1071, 2017. ISSN 15334295. Citado na página 19.
- BONITO, A. et al. Pilhas Recarregáveis Análise da capacidade. **Faculdade de Engenharia Universidade do Porto**, p. 1–22, 2015. Citado na página 30.
- CARNEIRO, R. L. et al. Aspectos essenciais das Baterias Chumbo-Ácido e Princípios Físico-Químicos e Termodinâmicos do seu Funcionamento. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 3, p. 889–911, 2017. ISSN 19846835. Citado na página 29.
- CASTRO, D. **Audiência do futebol americano cresce 132% no Brasil em um ano**. 2014. Disponível em: <<https://noticiasdatv.uol.com.br/noticia/audiencias/audiencia-do-futebol-americano-cresce-132-no-brasil-em-um-ano-2182>>. Citado na página 13.
- CATAPULT. **Playertek**. 2018. Disponível em: <<https://www.playertek.com/us/>>. Acesso em: 18/07/2018. Citado na página 22.
- CBFA. **CBFA Brasil**. 2018. Disponível em: <<https://cbfabrasil.com.br/cbfa/sobre>>. Citado na página 13.
- CRONIN, J. B.; TEMPLETON, R. L. Timing light height affects sprint times. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 22, n. 1, p. 318–320, 2008. ISSN 10648011. Citado na página 18.
- DASHR. **Athletic Performance Evaluation Kits**. 2018. Disponível em: <<https://www.dashrsystems.com/products>>. Acesso em: 06/08/2018. Citado na página 24.
- DEMBEL. **E18-D80NK**. 2018. Disponível em: <<https://www.14core.com/wiring-the-e18-d80nk-infrared-distance-ranging-sensor/>>. Acesso em: 01/10/2018. Citado na página 36.

- EARP, J. E.; NEWTON, R. U. Advances in electronic timing systems: Considerations for selecting an appropriate timing system. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 26, n. 5, p. 1245–1248, 2012. ISSN 10648011. Citado 3 vezes nas páginas 17, 18 e 19.
- EBBEN, W. P.; PETUSHEK, E. J.; CLEWEIN, R. A Comparison of Manual and electronic Timing during 20 and 40 Yards Sprints. **Journal of Exercise Physiology**, v. 11, n. June, p. 38–44, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 17.
- FAIRCHILD. **MC78XX/LM78XX/MC78XXA Datasheet**. 2001. Citado na página 30.
- FREELAP. **Freelap Athletic Timing Systems**. 2018. Disponível em: <<http://shop.freelapusa.com/>>. Acesso em: 06/08/2018. Citado na página 25.
- FRONTELMO, A.; RIBEIRO, C. Futebol americano no Brasil: estratégias e limitações no país do futebol. **Revista Digital**, v. 102, p. 1514–3465, 2006. Citado na página 14.
- GOOGLE. **Google Finance**. 2018. Disponível em: <<https://www.google.com/intl/pt-BR/googlefinance/disclaimer/>>. Citado na página 58.
- HALLIDAY, D., WALKER, J., RESNICK, R. **Fundamentos de física - óptica e física moderna**. [S.l.]: L.T.C, 2016. Citado na página 31.
- HAUGEN, T. A.; TØNNESSEN, E.; SEILER, S. K. The Difference is in the Start: Impact of Timing and Start Procedure on Sprint Running Performance. v. 26, n. 2, p. 473–479, 2012. Citado na página 19.
- HAUGEN, T. A. et al. Sprint Time Differences Between Single and Dual-Beam Timing Systems. n. Figure 1, p. 1–4, 2014. Citado na página 19.
- HETZLER, R. K. et al. Reliability and accuracy of Handheld Stopwatches Compared With Electronic Timing in Measuring Sprint Performance. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 22, n. 6, p. 1969–1976, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 17.
- IPICO. **IPICO RFID**. 2018. Disponível em: <<http://www.activeendurance.com/products/ipico/how-it-works>>. Acesso em: 06/08/2018. Citado na página 25.
- ITead Studio. **HC-05**. 2010. Disponível em: <<http://www.electronicastudio.com/docs/istd016A.pdf>>. Acesso em: 10/11/2018. Citado na página 41.
- Liga dos 32. **Combine da NFL**. 2016. Disponível em: <<http://ligados32.lance.com.br/o-que-acontece-no-combine-da-nfl/>>. Citado na página 14.
- MACEDO, S. Crescimento do interesse por futebol americano no Brasil atrai NFL. **Folha de São Paulo**, 2017. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/esporte/2017/02/1855099-crescimento-do-interesse-por-futebol-americano-no-brasil-atrai-nfl.shtml>>. Acesso em: 10/08/2018. Citado na página 13.
- MAGDALINSKI, T. **Sport, Technology and the Body The Nature of Performance**. 1a. ed. Londres: Routledge, 2008. 200 p. Citado na página 14.
- MANN, J. B. et al. Validity and reliability of hand and electronic timing for 40-yd sprint in college football players. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 29, n. 6, p. 1509–1514, 2015. ISSN 15334295. Citado na página 17.

MANTECH. **433Mhz RF Transmitter With Receiver**. 2018. Disponível em: <http://www.mantech.co.za/Datasheets/Products/433Mhz{_}RF-TX{&}}>. Acesso em: 10/11/2018. Citado na página 31.

MAYHEW, J. L. et al. Comparison between hand and electronic timing of 40 yard dash performance in college football players. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 24, n. 2, p. 447–451, 2010. Citado na página 17.

MOORE, A. N. et al. Effect of competitiveness on forty-yard dash performance in college men and women. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 21, n. 2, p. 385–388, 2007. ISSN 10648011. Citado na página 17.

MYLAPS. **BibTag System**. 2018. Disponível em: <<https://www.mylaps.com/systems/bibtag-system/>>. Acesso em: 06/08/2018. Citado na página 25.

NEPTUNE, R. R.; MCGOWAN, C. P.; FIANDT, J. M. The Influence of Muscle Physiology and Advanced Technology on Sports Performance. **Annual Review of Biomedical Engineering**, v. 11, n. 1, p. 81–107, 2009. ISSN 1523-9829. Disponível em: <<http://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-bioeng-061008-124941>>. Citado na página 13.

NFL. **NFL Rulebook**. 2018. Disponível em: <<https://operations.nfl.com/the-rules/2018-nfl-rulebook/>>. Citado na página 14.

PROBOTRONIX. **433Mhz RF Transmitter and Receiver Module**. 2018. Disponível em: <<https://www.probotronix.com/product/433mhz-rf-transmitter-and-receiver-module/>>. Acesso em: 10/11/2018. Citado na página 31.

RFID. **RFID Race Timing Systems**. 2018. Disponível em: <<https://rfidtiming.com/project-details/running/>>. Acesso em: 07/08/2018. Citado na página 25.

ROSOLEM, M. **Baterias de alto desempenho para armazenamento de energia em sistemas FV**. 2015. Disponível em: <http://www.iee.usp.br/sites/default/files/%20Apresenta%C3%A7%C3%A3o_F%C3%A1tima%20%28CPqD%29.pdf>. Acesso em: 02/10/2018. Citado na página 29.

SILBERSCHATZ, A.; KORTH, H.; SUDARSHAN, S. **Sistema de Banco de Dados**. 6a. ed. Rio de Janeiro: McGraw-Hill, 2012. Citado na página 42.

SMARTSPEED. **SMARTSPEED PT 2 Gate System**. 2018. Disponível em: <<https://austore.fusionsport.com/collections/smartspeed-systems/products/smartspeed-pt-2-gate-system-1>>. Acesso em: 06/08/2018. Citado na página 24.

SPEAKMAN, E. A. an Automatic Race Timer. **Review of Scientific Instruments**, v. 2, n. 5, p. 297–304, 1931. ISSN 0034-6748. Disponível em: <<http://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.1748792>>. Citado na página 17.

SQLITE. **About SQLite**. 2018. Disponível em: <<https://www.sqlite.org/about.html>>. Acesso em: 02/11/2018. Citado na página 42.

ST. **STM32VLDISCOVERY USER MANUAL**. 2011. Disponível em: <https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user_manual/f3/16/fb/63/d6/3d/45/aa/CD00267113.pdf/files/CD00267113.pdf/jcr:content/translations/en.CD00267113.pdf>. Acesso em: 03/11/2018. Citado na página 40.

ST. **STM32VLDISCOVERY**. 2018. Disponível em: <<https://www.st.com/en/evaluation-tools/stm32vldiscovery.html>>. Acesso em: 03/11/2018. Citado na página 40.

STA. **VANTAGENS E LIMITAÇÕES DAS BATERIAS DE LÍTIO-ÍON**. 2018. Disponível em: <<http://www.sta-eletronica.com.br/artigos/vantagens-e-limitacoes-das-baterias-de-litio-ion>>. Acesso em: 02/10/2018. Citado na página 29.

STATISTA. **Countries with the most NFL fans outside the US**. 2015. Disponível em: <<https://www.statista.com/chart/3185/countries-with-the-most-nfl-fans-outside-the-us/>>. Acesso em: 2018-07-20. Citado na página 13.

TRIDENT. **Timing Hardware**. 2018. Disponível em: <<http://www.tridentrfid.com/>>. Acesso em: 06/08/2018. Citado na página 25.

Vida de Silício. **HC-05**. 2018. Disponível em: <<https://www.vidadesilicio.com.br/hc-05-modulo-bluetooth>>. Acesso em: 10/11/2018. Citado na página 41.

YEADON, M. R.; KATO, T.; KERWIN, D. G. Measuring running speed using photocells. **Journal of Sports Sciences**, v. 17, p. 249–257, 1999. ISSN 0264-0414. Citado na página 18.

ZEBRA. **Zebra MotionWorks**. 2018. Disponível em: <<https://www.zebra.com/us/en/solutions/rtls/sports-player-tracking.html>>. Acesso em: 06/08/2018. Citado na página 22.

ZEPP. **Zepp Play Soccer**. 2018. Disponível em: <<http://www.zepp.com/en-us/soccer/soccer-sensor-setup/>>. Acesso em: 06/08/2018. Citado na página 23.