

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

WAGNER JOSE CUNHA

PROJETO DE DIPLOMAÇÃO

**SISTEMA DE ASSISTÊNCIA PARA PILOTOS DE
AUTOMOBILISMO
APLICADO PARA PILOTOS AMADORES DE KART**

Porto Alegre

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**SISTEMA DE ASSISTÊNCIA PARA PILOTOS DE
AUTOMOBILISMO
APLICADO PARA PILOTOS AMADORES DE KART**

Projeto de Diplomação apresentado ao
Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos
para Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Oliveira Weber

Porto Alegre

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

WAGNER JOSE CUNHA

**SISTEMA DE ASSISTÊNCIA PARA PILOTOS DE
AUTOMOBILISMO
APLICADO PARA PILOTOS AMADORES DE KART**

Este projeto foi julgado adequado para fazer jus aos créditos da Disciplina de “Projeto de Diplomação”, do Departamento de Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: _____

Prof. Dr. Tiago Oliveira Weber, UFRGS

Doutor pela Universidade de São Paulo – São Paulo, Brasil.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Tiago Oliveira Weber, UFRGS

Doutor pela Universidade de São Paulo – São Paulo, Brasil

Prof. Dr. Roberto Petry Homrich, UFRGS

Doutor pela Universidade Estadual de Campinas – Campinas, BRASIL.

Prof. Dr. Ronaldo Husemann, UFRGS

Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil

Porto Alegre, novembro de 2022.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho para minha mãe Celi Teresinha Brandalise Cunha, meu pai Sergio Antônio Cunha, meu irmão André Victor Cunha e minha esposa Carla Rafaela Talian da Silva por terem me dado todo o suporte durante o curso, sem eles ao meu lado nada seria possível.

*“No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação,
não existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem feita ou não faz.”*

Ayrton Senna

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos meus professores do curso por terem dedicado o seu tempo a repassar os seus conhecimentos, a paciência para as dúvidas e o incentivo de buscarmos cada vez mais conhecimentos através do estudo. Agradeço aos meus colegas de RBSTV por terem flexibilizado horários para que eu pudesse acompanhar as aulas e fazer provas durante todo o período da faculdade e por incentivado em momentos importantes. Agradeço aos meus colegas de faculdade por estar comigo nas melhores e nas piores horas, por me fazer acreditar que seria possível ser aprovado nas cadeiras até quando tudo parecia perdido, em especial ao Lucas Saraiva de Carvalho e ao Rodrigo Andreazza Lucas por estarem junto comigo desde o início do curso e na maioria das cadeiras. É necessário agradecer a todos outros funcionários da universidade, principalmente as equipes dos refeitórios que trabalham para termos condições de uma alimentação, as equipes de limpeza que trabalharam para termos as salas e ambientes limpos e as equipes de segurança.

RESUMO

A engenharia é responsável pelo planejamento, projeto, construção e manutenção de veículos e seus componentes e sistemas. O automobilismo depende da engenharia para o bom funcionamento, criação e desenvolvimento de componentes capazes de extrair o máximo desempenho. O presente trabalho detalha o processo de criação, desenvolvimento e teste de um sistema de assistência capaz de auxiliar os pilotos a melhorar seu desempenho durante as corridas. Foi desenvolvido um sistema que auxiliará via mensagens visuais e auditivas o piloto. O sistema é composto principalmente de um módulo NodeMCU-32S, o decodificador de áudio I2S UDA1334A, display de toque LCD ILI9488 e um sensor infravermelho emissor e receptor. O autor definiu um estudo de caso para pilotos de kart. Na pesquisa, foi feita uma observação preliminar para a construção do sistema com o objetivo de entender fatores que possam interferir no desempenho do piloto. Utilizando os sensores, foi montado um circuito para cronometrar o tempo da volta, bem como um sistema de comunicação entre o piloto e o sistema principal, que informa o piloto sobre seu desempenho e onde e como o piloto pode melhorar seu desempenho. O sistema de cronometragem desenvolvido foi comparado com uma câmera digital do smartphone Samsung note 9 capaz de gravar vídeos a 240 quadros por segundo (câmera lenta) durante um teste em ambiente controlado, e comparado com um sistema de cronometragem de pista de kart comercial. Os testes foram feitos para a faixa de operação de 13 a 59 segundos, e obteve-se um valor de 0,523 segundo como a maior diferença entre o protótipo desenvolvido e o tempo registrado pela câmera de alta velocidade, e uma diferença média de 0,360 segundo entre as medições dos dois sistemas - considerando um erro relativo, os valores foram 0,352 segundo e 0,051 segundo respectivamente. A comparação do protótipo com o sistema de pista mostrou uma diferença máxima de 0,461 segundo entre os dois sistemas.

Palavras-chaves: Automobilismo, Sistema de Assistência, Desempenho, Sensor infravermelho, Kart, Cronometragem.

ABSTRACT

The engineering is responsible for the planning, design, construction, and maintenance of vehicles and their components and systems. Motorsports depends on engineering for the proper functioning, creation and development of components capable to extracting maximum performance. The present work details the process of creation, development, and testing of an assistance system capable to helping drivers to improve their performance during races. A system was developed that will help the pilot via visual and auditory messages. The system is mainly composed of a NodeMCU-32S module, the I2S UDA1334A audio decoder, ILI9488 LCD touch display, and an infrared emitter and receiver sensor. The author defined a case study for kart drivers. In the research, a preliminary observation was made for the construction of the system with the objective of understanding factors that could interfere with the pilot's performance. Using the sensors, a circuit was assembled for timing the lap time, as well as a communication system between the pilot and the main system, which informs the pilot about his performance and where and how the pilot can improve his performance. The timing system developed was compared with a digital camera of the Samsung note 9 smartphone capable to recording videos at 240 frames per second (slow motion) during a test in a controlled environment, and compared with a commercial kart track timing system. The tests were made for the operating range of 13 to 59 seconds, and a value of 0.523 second was obtained as the largest difference between the developed prototype and the time recorded by the high speed camera, and an average difference of 0.360 second between the measurements of the two systems - considering a relative error, the values were 0.352 second and 0.051 second respectively. Comparing the prototype with the track system showed a maximum difference of 0.461 second between the two systems.

Keywords: Auto Racing, Assistance System, Performance, Infrared Sensor, Kart, Timing.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	Objetivos Gerais	15
1.1.2	Objetivos Específicos	15
1.2	MOTIVAÇÃO	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	HISTÓRIA DO AUTOMOBILISMO	17
2.1.1	Origem	17
2.1.2	Categorias do Automobilismo	17
2.2	ANÁLISE DE DADOS NO AUTOMOBILISMO	19
2.3	ASSISTÊNCIA AOS PILOTOS	20
2.4	TÉCNICAS DE PILOTAGEM	22
2.5	CRONOMETRAGEM NO AUTOMOBILISMO	23
2.6	SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE TEMPO MICROCONTROLADO	26
2.7	CALIBRAÇÃO DE CRONÔMETROS	28
2.8	INCERTEZAS	29
2.9	TRABALHOS RELACIONADOS	29
3	METODOLOGIA	33
3.1	MATERIAIS E FERRAMENTAS	33
3.1.1	<i>Hardware</i>	33
3.1.2	Ferramentas computacionais	34
3.2	PROCEDIMENTOS	34
3.2.1	Observações preliminares para construção do sistema	35
3.2.2	Sistema de aquisição de tempos	37

3.2.3	Sistema de comunicação	39
3.2.4	Sistema de Processamento de Informações e Indicação Visual	41
3.2.5	Diagrama do sistema	46
3.2.6	Testes em bancada	47
3.2.7	Testes do protótipo em campo	50
4	RESULTADOS	53
4.1	OBSERVAÇÕES PARA CONSTRUÇÃO DO SISTEMA	53
4.1.1	Observação das massas dos pilotos	53
4.1.2	Observação de acidentes	55
4.1	TESTE EM BANCADA	57
4.2	TESTE DO PROTÓTIPO EM CAMPO	63
5	CONCLUSÃO	70
5.1	TRABALHOS FUTUROS	71
6	REFERÊNCIAS	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Volante do piloto durante uma volta de classificação.	21
Figura 2 - Piloto trocando uma configuração no volante.	22
Figura 3 - Ilustração do sistema RFID para cronometragem.	23
Figura 4 - Ilustração do sistema infravermelho para cronometragem.	24
Figura 5 - Espectro Eletromagnético.	25
Figura 6 - Fluxograma geral da metodologia.	36
Figura 7 - Circuito da pista onde foram feitas as observações.	37
Figura 8 - Pontos do circuito onde foram feitas as observações.	38
Figura 9 - Diagrama simplificado do sistema de aquisição de tempos e cronometragem.	39
Figura 10 - Diagrama da contagem do cronômetro.	40
Figura 11 - Layout do sistema de comunicação visual durante as voltas de classificação e corrida.	41
Figura 12 - Regras para definição do nível de auxílio que o piloto vai ter.	43
Figura 13 - Exemplo de mensagens exibidas ao piloto no final das voltas de classificação.	44
Figura 14 - Circuito dividido em três setores.	45
Figura 15 - Demonstração de traçado ideal.	45
Figura 16 - Diagrama geral do sistema.	47
Figura 17 - Esquemático geral do sistema.	47
Figura 18 - Teste para precisão do sensor e cronometragem.	49
Figura 19 - Enquadramento da câmera e o ponto considerado para contagem dos tempos.	50
Figura 20 - Emissor infravermelho instalado na pista.	51
Figura 21 - Protótipo instalado no kart.	52
Figura 22 - Sensor receptor infravermelho instalado no kart.	52
Figura 23 - Curvas identificadas.	53
Figura 24 - Comparação do tempo de volta entre um piloto com 62 kg e um piloto com 82 kg.	55
Figura 25 - Comparação do tempo de volta entre um piloto com 65 kg e um piloto com 84 kg.	56
Figura 26 - Comparativo entre dois pilotos em uma mesma bateria.	57
Figura 27 - Simulação do circuito com os três setores.	58
Figura 28 - Passagem do receptor infravermelho durante o teste.	59
Figura 29 - Gráfico contendo os tempos do sistema e da câmera.	59
Figura 30 - Gráfico contendo as médias e o desvio padrão dos tempos separados por setores	60
Figura 31 - Gráfico com os tempos da câmera e do sistema somado a diferença de tempo calculada.	60

Figura 32 - Gráfico com os tempos do Protótipo X Câmera.	61
Figura 33 - Gráfico com os tempos do Protótipo Considerando um erro sistemático X Câmera.	62
Figura 34 - Gráfico dos tempos de volta do piloto 1.	64
Figura 35 - Gráfico dos tempos de volta do piloto 2.	65
Figura 36 - Gráfico contendo a média e o desvio padrão dos tempos de volta.	65
Figura 37 - Gráfico do tempo do protótipo x tempo do sistema da pista, referente ao piloto 1.	66
Figura 38 - Gráfico do tempo do protótipo x tempo do sistema da pista, referente ao piloto 2.	66
Figura 39 - Piloto recebendo mensagem do sistema durante a corrida.	68
Figura 40 - Diferença de tempo para o adversário mudando conforme as voltas passam.	69

LISTA DE ABREVIATURAS

ADAS	<i>Advanced driver-assistance system</i>
D1	Divisão 1
F1	<i>Fórmula 1</i>
FIA	Federação Internacional de Automobilismo
IR	Receptor Infravermelho
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>

1. INTRODUÇÃO

Dentro do automobilismo a engenharia tem o papel de desenvolver e melhorar ferramentas para um melhor desempenho, seja para o veículo ou até mesmo para o piloto. O automobilismo tem um papel importante no cenário automotivo, muitas tendências que hoje são utilizadas em automóveis tiveram origem em pistas de corrida, por exemplo o câmbio borboleta, desenvolvido na Fórmula 1 (F1) com o objetivo de ganhar tempo nas trocas de marcha. Dentro do automobilismo, toda e qualquer ferramenta que busque obter desempenho precisa ser projetada e testada pela área da engenharia para validação e utilização da mesma. Uma dificuldade encontrada no automobilismo atual é o valor de investimento, atualmente para participar de qualquer categoria são necessários altos recursos financeiros, até mesmo para a prática amadora do esporte. Isso acaba deixando mais difícil o desenvolvimento e o acesso ao esporte.

O objetivo no automobilismo é vencer corridas. O objetivo principal é, portanto, percorrer uma pista específica ou uma distância predeterminada no menor tempo possível. Tudo isso só pode ser alcançado mantendo o mais alto nível de aceleração na direção correta em qualquer ponto ou curva da pista. O desempenho geral de um carro de corrida pode ser quantificado pelo tempo da volta, isso é, o resultado da interação entre muitos parâmetros de design e configuração e, claro, da capacidade do piloto de levar o seu carro ao limite. Dessa forma, os responsáveis pelo êxito em uma corrida são: os engenheiros, mecânicos, projetistas e demais responsáveis pela criação dos carros e pelo pleno funcionamento e desempenho do carro durante a corrida. Os pilotos, que necessitam ter um preparo físico e mental, além do talento de raciocinar em questão de milésimos de segundos e muita habilidade na hora de guiar o carro. E por fim os engenheiros, chefes de equipes e analistas de dados que durante os treinos e corridas analisam todas as possíveis estratégias para utilizar o máximo do carro e do piloto.

Atualmente há na indústria um grande interesse pelo desenvolvimento de sistemas inteligentes de assistência à condução mais conhecido como o sistema ADAS (*Advanced driver-assistance systems*) traduzido para português Sistemas Avançados de Assistência ao Condutor. São diversas funções que auxiliam o motorista durante a sua condução, como estacionamento automático, assistência para mudança de faixa, sistemas de frenagem automática, alerta para troca de marcha, alerta de distância e etc. São funções que o condutor teria a capacidade de fazer sozinho, porém o sistema auxilia ela a fazê-las de

forma inteligente e segura. No automobilismo essa função é dada aos engenheiros que durante as corridas estão em constante comunicação com o piloto para corrigir possíveis erros e para passar informações relacionadas ao seu desempenho.

O trabalho descrito foi desenvolvido a partir da experiência pessoal no automobilismo, que levou a construção de um sistema para auxiliar pilotos através de um sistema virtual. A proposta do trabalho é desenvolver um sistema de assistência para pilotos que auxiliará o piloto a melhorar o seu desempenho utilizando técnicas empregadas em categorias do automobilismo. Para uma melhor compreensão e desenvolvimento do projeto, foi realizada uma pesquisa em trabalhos estados de arte de sistemas equivalentes que possam contribuir para o sistema em questão. Após isso, foi escolhida uma pista de kart para a realização de um estudo e testes. Com base na pesquisa e em observações de corridas na pista escolhida foi projetado um sistema para aquisição de informações para o sistema final. Posteriormente foi analisado o comportamento do sistema de aquisição de tempos a fim de buscar uma alta taxa de confiabilidade. Em seguida foi desenvolvido um sistema de comunicação entre o sistema e o piloto. Após concluído as etapas anteriores foi possível identificar os erros e acertos do piloto e desenvolver assim o sistema de assistência.

Neste relatório também é apresentado um possível futuro trabalho para desenvolvimento do sistema contendo possíveis melhorias para o sistema. O projeto tem foco na prática amadora e busca tornar a experiência mais próxima de grandes categorias do automobilismo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos Gerais

O objetivo deste projeto é desenvolver um sistema de assistência para melhorar o tempo de volta de um piloto durante uma corrida e durante voltas de classificação, além de orientar o piloto com estratégias e projeções durante a corrida com base no seu desempenho e dos adversários.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do projeto são:

- Desenvolver de um sistema para aquisição de tempos de voltas.
- Criar um sistema que recebe os tempos, avalia o desempenho do piloto e

auxilia ele a melhorar seu desempenho, além de informar seu desempenho.

- Caracterizar o sistema comparando os resultados com um método de medição alternativo utilizando a câmera fotográfica/de gravação de smartphone.
- Desenvolver um sistema para comunicação entre a máquina e o piloto de fácil entendimento. As características buscadas para o sistema são de tornar o sistema de baixo custo, para facilitar o acesso a ele.

1.2 MOTIVAÇÃO

A motivação para criação do projeto se dá pelo fato de haver pouco investimento na prática amadora do esporte e por entender que o esse tipo de assistência pode trazer uma melhor experiência na prática amadora, além de trazer uma sensação próxima a de grandes categorias do automobilismo. Outro motivo para a criação do sistema é a possibilidade de haver uma comunicação mais efetiva entre os organizadores da corrida e os pilotos, como por exemplo avisar os pilotos que ele precisa reduzir a sua velocidade pois há um acidente na pista. O trabalho é motivado para o auxílio no aprendizado de direção esportiva através de um sistema de recomendação de estratégias de pilotagem, além disso o sistema pode servir de plataforma para desenvolvimento de pesquisas na área do esporte amador, através de coleta de dados em experimentos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será apresentado o referencial teórico utilizado para o desenvolvimento do presente trabalho. Nele está contido uma breve história do automobilismo, além de elementos que foram utilizados para a implementação no trabalho. O capítulo apresenta também uma seção com trabalhos relacionados utilizados pelo autor.

2.1 HISTÓRIA DO AUTOMOBILISMO

2.1.1 Origem

O automobilismo teve início na década de 1880, logo após a invenção do motor a combustão movido a gasolina. A primeira corrida de carros oficial aconteceu na França, em 1894, entre as cidades de Paris e Rouen. O objetivo era descobrir se os carros aguentariam competir ao longo de distâncias maiores que 80 quilômetros (a distância entre as duas cidades é de aproximadamente 135 quilômetros). O vencedor levou cerca de 10 horas para percorrer 87 quilômetros. No início do século XX, os pilotos já estavam alcançando velocidades de mais de 80 quilômetros por hora. Em 1904, foi fundada uma organização mundial para coordenar as corridas de carros. Atualmente, essa organização chama-se Federação Internacional de Automobilismo (FIA).

No Brasil, a história do automobilismo começou em 1908. Naquela época, o conde Sylvio Álvares Penteado pilotava um Fiat com apenas 40 cavalos para vencer a corrida de 75 quilômetros entre São Paulo e Itapeverica da Serra. A partir das décadas de 30 e 40, o automobilismo ganhou cada vez mais força no Brasil, o que ocorreu a partir de instalações de montadoras estrangeiras no país.

As corridas eram perigosas, mas vendiam carros como antes tinham vendido bicicletas. A competição entre fabricantes – eram mais numerosos na França no fim do século que em qualquer outro país – tornava a propaganda crucial (WEBER, 1988, p.252).

2.1.2 Categorias do Automobilismo

O automobilismo tem uma hierarquia, que, embora não completamente clara em seu meio, tem uma base e um pináculo definidos, a Fórmula 1 (F1) é categoria com uma

hierarquia mais completa. Os primeiros passos para quase todos os pilotos profissionais são no kart. Esta categoria é a principal porta de entrada no automobilismo, preparando jovens pilotos e desenvolvendo o talento para entrar em outras divisões, como F1, Turismo e *Rally*. De acordo com os pilotos, a mecânica é muito semelhante à Fórmula 1, além do manuseio e a aparência do veículo. Grandes nomes do automobilismo, como Lewis Hamilton e Michael Schumacher, ambos sete vezes campeões mundiais de F1, Ayrton Senna, Rubens Barrichello e Felipe Massa começaram no kart. O kart também é uma forma de lazer em ocasiões especiais e um *hobby* de fácil acesso ao público em geral.

Depois do kart os pilotos geralmente têm duas opções a seguir, os monopostos que são os veículos que comportam apenas uma pessoa/piloto ou carros de turismo. Nos monopostos as categorias mais famosas são a Fórmula *Indy* e a Fórmula 1, ambas parecidas, porém há diferenças nas configurações dos carros, envolvendo massas, potência, tamanho e etc. Além disso, os tipos de pistas e formato de pontuação são diferentes nas duas categorias. Paralela às categorias de Fórmula 1 e a Fórmula *Indy* existe a Fórmula E, categoria de monopostos elétricos, que teve sua primeira temporada em 2014. Com 250 kW de potência, e com uma aceleração de 0 a 100 km/h em 2,8 segundos e uma velocidade máxima de 280 km/h. A carga de baterias de 57 kWh dura aproximadamente 50 minutos em um ritmo de corrida, durante o qual os carros percorrem uma distância de cerca de 100 quilômetros.

Outras categorias do automobilismo são as dos carros de turismo. A *National Association for Stock Car Auto Racing* (NASCAR), da categoria *Stock Car* é uma das mais conhecidas, a associação automobilística estadunidense é tida como o esporte número dois na televisão nos EUA e é transmitido em mais de 150 países em 20 idiomas. A carroceria externa dos carros da NASCAR lembra um pouco o design da marca e do modelo, como o Ford Fusion, Chevrolet Impala SS ou Toyota Camry; entretanto, os designs são alterados, e a designação da marca/modelo no carro é apenas para publicidade e patrocínio. A grande maioria dos circuitos são ovais com a superfície feita com asfalto, e com banking (inclinação das curvas) em geral maior que 14° de inclinação. No Brasil a *Stock Car* conhecida como *Stock Car Brasil* foi criada em 1977 para ser uma alternativa à extinta Divisão 1 (D1), que corria com as marcas Chevrolet (Opala) e Ford (Maverick). Isso ocorreu pelo desinteresse do público e dos patrocinadores por se tornar uma categoria monomarca, dada a superioridade dos modelos Chevrolet. Considerada uma das mais importantes categorias do automobilismo no Brasil, a *Stock Car* já revelou nomes para F1 e atualmente recebe ex-pilotos da F1. O Rali (conhecido também como *Rally*) é a categoria

do automobilismo conhecida por disputas na terra e no gelo. Diferente das competições em circuitos na qual os carros dão diversas voltas e ganha quem chega em primeiro, o rali ocorre no formato ponto-a-ponto no qual os pilotos e seus copilotos (conhecidos também como navegadores) dirigem entre pontos de controle determinados (estágios), partindo em intervalos regulares partindo periodicamente de uma ou mais origens.

Além das categorias citadas acima o automobilismo conta com diversas outras categorias, porém todas elas têm o mesmo objetivo, utilizar o máximo do veículo sendo a velocidade ou até mesmo a durabilidade do mesmo.

2.2 ANÁLISE DE DADOS NO AUTOMOBILISMO

A aquisição de dados de desempenho por um sistema de aquisição de dados digital parece ter sido alcançada pela primeira vez pela Chevrolet *Research and Development* para as corridas *Can-Am* dos EUA na década de 1970 (HANEY, 2001)

O carro de corrida possui uma variedade de componentes diferentes que podem ser ajustados para operar em diversas configurações, essas configurações variam de carro para carro e de categoria para categoria. Utilizando a asa traseira como exemplo, temos diversas inclinações para ela, porém a depender do rendimento do carro em determinado circuito e da condição climática ela pode sofrer alterações. Segundo Cuquerella (2021), engenheiro-chefe da *Mahindra Racing UK Ltd*, em esportes competitivos onde cada segundo conta, como a F1, o domínio da coleta e análise de dados pode fazer diferenças entre as diferentes equipes. De cento e cinquenta a trezentos sensores medem o comportamento do carro. Incorporando-se ao veículo, esses elementos obtêm informações relevantes, não só para a tomada de decisões estratégicas (ajustes, *pit stops*, etc.) durante a corrida, mas também para entender o comportamento do carro e projetar componentes adequados para otimizar sua aerodinâmica. Alguns desses sensores são totalmente integrados ao carro e apenas os engenheiros sabem sua localização e função, porque os dados que eles fornecem podem criar uma vantagem competitiva ou revelar pontos fracos. A estimativa é que a cada volta na pista sejam enviados aproximadamente 2GB de dados do carro para a equipe. Se somarmos as informações geradas pelos demais departamentos da equipe de F1, encontraremos muitos dados, cerca de 40 a 50 *terabytes* de informações para cada Grande Prêmio. Esses dados são processados pelos engenheiros em tempo real, assim como no controle de corrida das equipes na fábrica e, claro, são acompanhados pela FIA. Sua função: dar visibilidade de como está o carro, a fim de prever como ele pode se comportar

diante de certos fenômenos meteorológicos ou prever possíveis avarias. Por exemplo, é possível detectar o momento em que o desgaste do pneu ultrapassa um valor limite, que somado à temperatura instantânea indica quanto resta de vida útil antes de entrar em risco de explosão. Desta forma, as decisões são tomadas e a estratégia é modificada durante a corrida para alcançar o melhor resultado em determinadas circunstâncias. Além disso, esses indicadores também são usados a posteriori para melhorar o veículo para competições futuras, uma vez que a análise, que é realizada com poderosos algoritmos de Aprendizado de Máquina, oferece a possibilidade de: melhorar e projetar componentes específicos, detectar falhas para evitar possíveis quebras ou criar simulações para realizar testes virtuais. A análise de toda essa grande quantidade de dados gerados por cada carro e piloto durante um fim de semana de corrida é a diferença entre a vitória e a derrota.

Segundo Willis (2020), diretor de tecnologia da equipe Mercedes AMG Petronas *Motorsport*, existem mais de 300 sensores nos carros, que permitem à equipe tirar proveito de todos os tipos de informações, incluindo dados externos. São analisadas as condições de telemetria em tempo real, no qual os engenheiros podem ver a situação atual do sistema. Atualmente a equipe adquire mais dados fora do carro do que dentro dele. Segundo Toto Wolf diretor executivo da equipe Mercedes dos 45 TB de dados de um GP, cerca de 8% são enviados à nuvem para análise. O desafio é distinguir “precisamente informações relevantes do resto”. Para o processamento de dados a equipe utiliza os *softwares* da empresa norte-americana Tibco, especializada em computação em nuvem. A própria empresa Tibco menciona que fabricantes podem aprender com a incrível capacidade da F1 de coletar, analisar e agir com base nessa enorme quantidade de dados quase em tempo real.

O próprio piloto precisa ser capaz de entender as análises de dados para melhorar seu próprio desempenho. Isso geralmente envolve ter que relacionar os traços de velocidade de volta ao seu próprio desempenho no circuito, utilizando os pontos de frenagem e aceleração, bem como as linhas de direção.

2.3 ASSISTÊNCIA AOS PILOTOS

As equipes geralmente contam com engenheiros responsáveis pelo auxílio aos pilotos durante as corridas, eles que repassam de forma resumida o resultado das análises de dados. Normalmente essas informações são repassadas via rádio ou comunicação no volante, porém há também uma comunicação via placas (sempre próximo a linha de

partida/chegada). Normalmente são informadas diferenças de tempo, temperaturas, estratégias, configurações para serem ajustadas, onde o piloto que está mais próximo está indo melhor ou pior, como está o desempenho do piloto, condições climáticas para os próximos minutos, aviso de acidentes, mensagens motivacionais e etc.

Na Figura 1 pode-se ver um exemplo da comunicação entre equipe e piloto através do volante do piloto Charles Leclerc durante uma volta que define a ordem de largada do Grande Prêmio de Ímola de 2022. É possível observar no canto superior esquerdo indicado em amarelo o tempo de “01:09.970” esse foi o tempo que a equipe estimou para a volta, no canto superior direito indicado em azul é possível ver “+7.68”, isso mostra que nessa volta o piloto está 7 segundos e 680 milésimos acima do tempo estimado, e no centro do *display* do volante indicado em vermelho é possível observar os números -26,-24,-25 e -26 esses números significam que os pneus estão a essa diferença abaixo da temperatura ideal.

Figura 1 - Volante do piloto durante uma volta de classificação.



Fonte: F1 TV, 2022.

Na Figura 2 também podemos observar uma mensagem da equipe enviada ao piloto Estaban Ocon, através do *display* do volante, informando uma configuração que deveria ser modificada em um dos botões do volante.

Figura 2 - Piloto trocando uma configuração no volante.



Fonte: F1 TV, 2022.

2.4 TÉCNICAS DE PILOTAGEM

O carro de corrida precisa fazer uma curva ou uma série de curvas na maior velocidade possível e deve reduzir o ângulo da curva ao mínimo possível. Quanto mais reto o carro passar pelo ápice da curva, melhor. O piloto precisa ser capaz de pilotar um carro o mais rápido possível em um circuito criando um “traçado de corrida”. Cada curva, chicane e reta tem uma linha específica (FONSECA, 2020).

A Fórmula 1 ainda permitia uma grande variedade de traçados em uma mesma pista. Era possível observar pilotos realizando a mesma curva de maneiras distintas e a vantagem era daquele que descobria a melhor forma de percorrê-la. Atualmente todos pilotos conhecem o traçado ideal e se esforçam para cumpri-lo à risca. Por isso, a vantagem hoje está nas diferenças de milésimos de segundo obtidas nas frenagens antes das curvas e em suas retomadas de aceleração (SENNA, 1991).

Segundo Fonseca (2020), o traçado ideal em uma classificação pode não ser o melhor traçado durante uma corrida. Quando o piloto está disputando uma posição com o adversário pode ser necessário que o piloto altere a forma como entra e sai das curvas.

Segundo Senna (1991), na frenagem, a regra é executá-la com precisão, retardando o máximo dela a fim de não perder tempo. Mas nada pode ser tão fácil: errar o ponto

máximo da frenagem implica em uma perda de tempo maior. Além disso, uma freada errada pode causar o travamento das rodas, gerando desgastes excessivos para os pneus, e até uma rodada com consequências imprevisíveis.

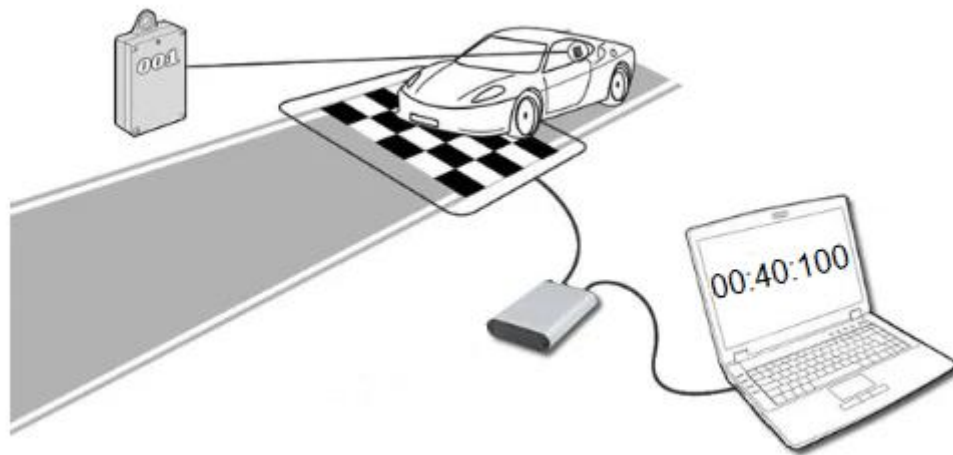
O tipo de traçado muda de circuito para circuito, uns com poucas curvas, outros com muitas, porém o tipo de curva é semelhante na maioria dos circuitos. É importante então que o piloto aprenda rapidamente a melhor forma de fazer as curvas.

Para que a ultrapassagem ocorra, o piloto deve criar a oportunidade, esforçando-se volta a volta para aprender os pontos fracos do adversário e pressionando-o para fazê-lo cometer um erro. É possível realizar uma ultrapassagem ao fazer uma curva e sair dela com maior velocidade, escolhendo o melhor momento de freada após uma reta e até arriscando tudo, no estilo “ou vai ou racha”. Esse corpo a corpo é, sem dúvidas, o que gera um grande fascínio pelas corridas (SENNÁ, 1991).

2.5 CRONOMETRAGEM NO AUTOMOBILISMO

A cronometragem no automobilismo possui dois métodos mais utilizados. O primeiro e mais utilizado é através da tecnologia RFID (*Radio Frequency Identification – Identificação por Rádio Frequência*), na qual um transponder é colocado em um carro e o sinal enviado por ele é captado por um loop de detecção instalado na superfície da pista. O loop de detecção é conectado a um decodificador que marca os tempos e envia a um computador responsável por processar as informações. Os transponders permitem que cada concorrente tenha uma identificação única, isso garante que nenhum sinal de transponder seja perdido, mesmo que 7 ou 8 veículos passem pelo ponto de detecção exatamente ao mesmo tempo. Paralelo a esse sistema algumas categorias utilizam câmeras capazes de capturar 10 mil fotos por segundo com o objetivo de aumentar a confiabilidade do seu sistema de cronometragem.

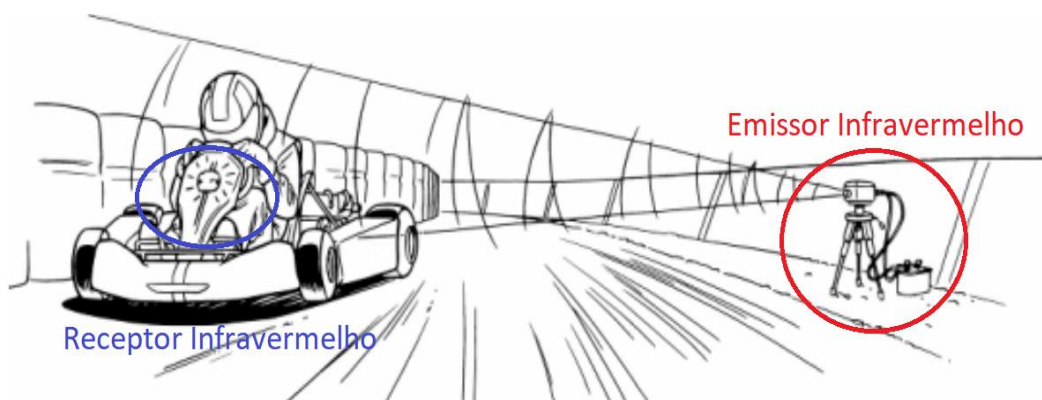
Figura 3 - Ilustração do sistema RFID para cronometragem.



Fonte: O autor.

O segundo método mais utilizado para a aquisição de tempos no automobilismo é feito com infravermelho. É instalado no veículo um emissor infravermelho e na pista um receptor infravermelho, de forma que quando o veículo passa na linha de chegada/partida ele emite um código pré-definido para ele através do infravermelho e o receptor na pista detecta esse código e faz a cronometragem do tempo. O sistema também é utilizado de forma contrária, na qual o receptor fica no veículo e o emissor fica na pista. Na Figura 4 é possível observar a utilização do método.

Figura 4 - Ilustração do sistema infravermelho para cronometragem.

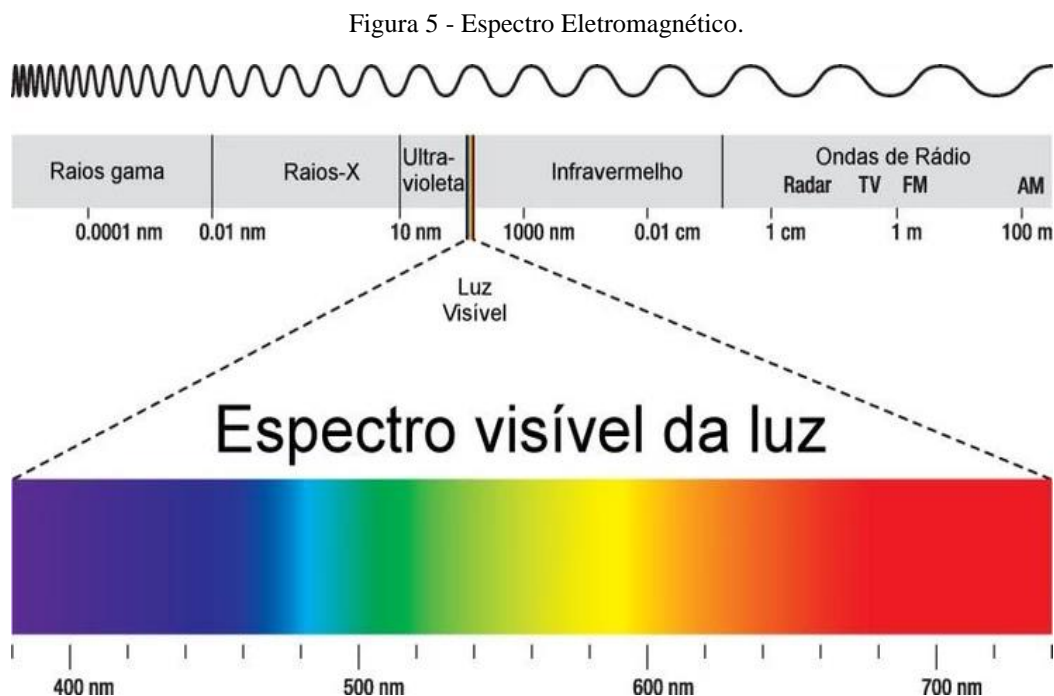


Fonte: Sistema Alfano.

Segundo Wilson (2021) todos os objetos acima do zero absoluto emitem radiação infravermelha (IR), e a radiação de um objeto à temperatura do corpo tem um comprimento de onda característica.

Os sensores infravermelhos funcionam com base em um efeito conhecido como efeito piroelétrico, onde mudanças na temperatura causam expansão térmica que gera carga elétrica através do efeito piezoelétrico.

O infravermelho possui comprimento de onda entre $1 \mu\text{m}$ ($1 \times 10^{-6}\text{m}$) e 1 mm ($1 \times 10^{-3}\text{m}$) e não é uma radiação ionizante, ou seja, não oferece riscos à saúde humana. A Figura 5 ilustra o espectro eletromagnético da luz.



Fonte: Sistema Geoclima.

Segundo Sinclair (2001) os sensores infravermelhos podem ser ativos ou passivos. Os sensores infravermelhos passivos funcionam detectando a radiação térmica do corpo, os sistemas ativos inundam uma área com uma fonte infravermelha para detectar mudanças de fase/amplitude ou usam uma câmera infravermelha para gerar uma imagem. Precauções precisam ser tomadas para evitar acionamentos falsos de superfícies reflexivas em movimento, como poças, placas de metal vibrantes, etc.

O receptor infravermelho (IR) disposto num dado aparelho recebe os pulsos de luz, transformando-os em sinais elétricos que são tratados como dados binários. Este sinal é recebido e processado pelo sistema receptor. Portanto, neste processo de comunicação, é

necessário existir uma espécie de “tradutor” que deve receber estes pulsos armazenados em uma frase (que contém 32 *bits*) associada a um dado comando. (Cavalcante; Rodrigues; Bueno, 2013).

O infravermelho não é transmitido através de paredes e nem fazem curvas - é preciso uma linha reta até o aparelho que se está tentando controlar. Além disso, a luz infravermelha é tão comum que as interferências podem ser um problema com controles remotos IR. Para evitar interferências causadas por outras fontes de luz infravermelha, o receptor infravermelho responde a apenas um comprimento de onda particular de luz infravermelha, normalmente 980 nanômetros. Há filtros no receptor que bloqueiam a luz de outros comprimentos de onda. Além disso, a luz do sol pode confundir o receptor porque possui luz infravermelha no comprimento de onda de 980 nm (Bissoli; Ferrara; Silveira; Filho, 2013).

O infravermelho pode ser detectado utilizando um fotodiodo. Um fotodiodo é um detector de radiação no qual um sinal elétrico é gerado pela geração de pares elétron-buraco causados pela absorção de fótons perto da região de depleção de uma junção p-n. Os pares de elétrons e buracos gerados pela radiação são acelerados em direções opostas pelo campo elétrico na junção. Como o campo vai do lado n para o lado p, os buracos são acelerados na direção n-para-p, enquanto os elétrons se movem na direção p-para-n (Rezende, 2004).

2.6 SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE TEMPO MICROCONTROLADO

Para a construção de um cronômetro digital através de um microprocessador é importante ter conhecimento de alguns parâmetros e componentes responsáveis pelo seu funcionamento.

Segundo Bannatyne e Viot, um microcontrolador é um único integrado circuito que contém pelo menos os elementos necessários de um sistema computacional completo: CPU, memória, um oscilador de *clock* e entrada e saída. Os microcontroladores geralmente contêm módulos periféricos adicionais, como unidades seriais e temporizadores.

Os microcontroladores surgiram como uma evolução natural dos circuitos digitais devido ao aumento da complexidade dos mesmos. Por ser mais simples, mais barato e mais compacto, substituindo a lógica das portas digitais por um conjunto de processador e *software*. (CERQUEIRA, 2020)

O primeiro microcontrolador foi lançado pela empresa Intel em 1977 e recebeu a sigla “8048”. Com a sua posterior evolução, deu origem à família “8051”. Esse *chip* é

programado em linguagem *Assembly* e possui um poderoso conjunto de instruções (ALMEIDA, 2021)

Os microcontroladores são utilizados em grande escala nos circuitos de automóveis, eletrodomésticos, brinquedos, na robótica e aparelhos de um modo geral que necessitam de automação e controle (OKI; MANTOVANI, 2013).

Em cada C.I. (Circuito Integrado) existe um cristal interno, com o objetivo de auxiliar no funcionamento do componente principal, através de sua baixa oscilação é possível trabalhar com baixa frequência. Os cristais osciladores são componentes eletrônicos importantes para o processamento das informações e frequências em determinados circuitos. Os cristais de quartzo são estruturalmente pequenos, dispostos de uma rede átomos que se repete em toda a sua extensão, eles não necessitam serem construídos do mesmo elemento, podendo ser constituído de dois materiais diferentes como por exemplo o silício e alumínio (DANIEL, 2021).

Oscilador eletrônico é um circuito amplificador que gera uma determinada forma de onda de sinal na saída, mesmo sem nenhum sinal aplicado à sua entrada. Esse fato acontece se o amplificador estiver realimentado com realimentação positiva (regenerativa) e o ganho de tensão for infinito. Se isso acontecer em uma única frequência, então o oscilador é senoidal, isto é, gera em sua saída uma forma de onda composta por uma frequência fundamental única e com uma quantidade irrisória de frequências harmônicas (VERONESE, 2013).

Os microcontroladores necessitam de uma fonte de *clock* para que possam processar informações, sendo a velocidade de processamento proporcional à frequência fornecida pela fonte de *clock*. A contagem do tempo é feita baseada nesse tempo de processamento (VICENTE, FELIPE E MARIA, 2015).

Segundo Henrique (2014) um temporizador virtual de software é uma estrutura no programa em que a cada temporizador é associado um valor inicial, que se traduz num número inteiro de interrupções do *Timer*, e um *flag* de sinalização. A cada interrupção do *Timer*, o temporizador de *software* é decrementado e testado se zero. Se for zero, é ligado o *flag* para avisar que a contagem de *software* foi terminada e o temporizador é reinicializado para o seu valor inicial. O tratamento do final de contagem é realizado no programa principal, testando-se o *flag* e reinicializando-o depois.

2.7 CALIBRAÇÃO DE CRONÔMETROS

Embora cronômetros meçam o intervalo de tempo, eles o fazem usando uma frequência fonte. Frequência é a taxa de um evento repetitivo, definida como o número de eventos ou ciclos por segundo. A unidade padrão de frequência (f) é o *hertz* (Hz), que não é uma unidade básica do sistema internacional de unidades (JEFF; ROBERT; MICHAEL, 2009)

Segundo Robert (2003) existem três métodos geralmente aceitos para calibrar um cronômetro: o método de comparação direta, o método de totalização e o método de base de tempo. Os dois primeiros métodos consistem em medições de intervalo de tempo que comparam a exibição do intervalo de tempo com uma referência de intervalo de tempo rastreável. O terceiro método, o método da base de tempo, é uma medição de frequência. Ele compara a frequência do oscilador de base de tempo com um padrão de frequência rastreável.

A maioria dos cronômetros modernos são controlados por osciladores de *quartzo* e normalmente atendem ou excedem o desempenho de um relógio de pulso de *quartzo*. A maioria das calibrações do cronômetro ainda são feitas manualmente, iniciando e parando o dispositivo em teste enquanto ouve os sinais de tempo. Para este tipo de calibração, quanto maior o intervalo de tempo medido, menor será o impacto do tempo de reação humana na incerteza geral da medição (MICHAEL, 2006).

Uma técnica de medição alternativa ao método de totalização discutido anteriormente envolve o uso de uma câmera de alta velocidade. Neste método, tanto o cronômetro que está sendo calibrado quanto o contador universal são iniciados sem uma ordem específica. Quando ambos os instrumentos estão contando, uma foto é tirada dos dois instrumentos. Sob condições apropriadas de obturador e iluminação, a foto resultante mostrará claramente a hora exibida no cronômetro e no contador. Ambas as leituras são registradas como as medições iniciais na calibração. Após um período de tempo apropriado, uma segunda foto é tirada e as exibições são registradas como as medições de fechamento (JEFF; ROBERT; MICHAEL, 2009).

O Laboratório de Padrões e Calibração de Hong Kong modificou o método de totalização utilizando gravações de vídeo em vez de fotografias para obter leituras do cronômetro. O instante em que a leitura do mostrador do cronômetro muda é encontrado examinando o vídeo gravado quadro a quadro. Desta forma, a incerteza da medição é limitada pela taxa de quadros da gravação de vídeo e não pela resolução da tela. O vídeo

gravado é visualizado quadro a quadro para procurar o quadro no qual a exibição do cronômetro começa a mudar para um novo valor (TSUI; YAN; CHAN, 2016).

2.8 INCERTEZAS

Segundo o Vocabulário Internacional de Metrologia (2012), a incerteza é definida como um parâmetro não negativo que com base nas informações utilizadas busca caracterizar a dispersão dos valores atribuídos a um mensurando. A incerteza advém da imprecisão dos instrumentos de medida, erros aleatórios ou imprevisíveis e outras fontes de erro desconhecidas. Para equipamentos de medida calibrados, como os multímetros utilizados, a incerteza do valor mensurado pode ser obtida através do manual do fabricante. A incerteza pode ser dividida em dois tipos principais: o tipo A e o tipo B.

Segundo Balbinot & Brusamarello (2010), incertezas padrão do tipo A são avaliadas por métodos estatísticos de uma série de observações. A avaliação da incerteza-padrão do tipo A pode ser aplicada quando algumas observações independentes foram executadas para uma das grandezas de entrada sob as mesmas condições de medida. E as incertezas do tipo B, segundo os autores, são avaliadas por meio de qualquer outro método além da análise estatística da série de observações. É a avaliação da incerteza associada com uma estimativa de uma quantidade de entrada. É avaliada por julgamento científico baseado em informações disponíveis na variabilidade possível da entrada, como medidas executadas previamente, experiência, especificação de fabricante, referências bibliográficas e dados de calibração. A propagação de incertezas se refere à incerteza combinada obtida ao se realizar a medida indireta de um mensurando através da aplicação de uma equação sobre valores obtidos previamente, sendo, portanto, necessário levar em consideração a incerteza de cada um dos valores medidos diretamente para obter a incerteza do mensurando indireto.

2.9 TRABALHOS RELACIONADOS

Os seguintes projetos se destacaram por proporem a características de assistência a pilotos de corrida próximas à proposta por este trabalho.

O trabalho de Stephen (2015) teve como um dos objetivos coletar dados que pudessem fornecer feedback em tempo real ao motorista durante a condução de um veículo. Para o experimento foi utilizado o *software* ArcGIS para processamento dos dados coletados. Tendo pilotos amadores pilotando um modelo de carro pela primeira vez. Foi

feita uma avaliação na condução, foi comparada a maneira como um motorista manobra entre as voltas de um percurso. Os dados da primeira volta do percurso mostraram que o autor conduzia com cuidado; hesitando em levar o veículo ao seu limite, levando a velocidades mais lentas, ao decorrer das voltas foi possível observar um melhor desempenho. Nas primeiras voltas foi possível observar as principais falhas, relacionadas ao uso do freio, um condutor freava cedo demais na entrada da curva e o outro saía no *slalom* devagar. Monitorar o veículo para ver onde o tempo foi perdido ou ganho permitiu que os pilotos entendessem melhor como podem alcançar a volta mais rápida possível.

No trabalho de Jenny e Ulrika (2019) o objetivo do projeto era investigar os métodos possíveis para dar assistência ao piloto em um jogo de corrida. Podendo ter um impacto positivo na experiência do jogador, especialmente em jogadores de níveis mais baixos de habilidade, no trabalho foi apresentado um protótipo de assistência visual para auxiliar o jogador. A experiência do jogador nos protótipos foi avaliada e comparada com a experiência não assistida a fim de verificar quais aspectos e métodos podem dar uma melhor experiência do jogador e mais prazer do jogador.

O trabalho de Nicholas e Jo (2015) também foi utilizado como base para este projeto. O projeto desenvolvido pelos autores avalia um novo sistema de exibição auditiva em tempo real para aquisição de habilidades aceleradas de pilotos de corrida. No trabalho foi feito um estudo preliminar em humanos utilizando um ambiente de simulador de direção. Os resultados iniciais indicam que há potencial para ganho de desempenho e aumento da confiança do motorista com base no feedback de áudio. Onze participantes com interesse e experiência em automobilismo (físico e/ou virtual) participaram do estudo. Os pilotos foram divididos em dois grupos A e C, e participaram de 5 sessões de com 10 voltas cada sessão. A sessão 1 foi apenas de treino. Entre as seções 2 e 3, e 3 e 4 os pilotos tiveram acesso às suas telemetrias. Nas sessões 2,3 e 5 os pilotos do grupo A tiveram *feedback* de áudio durante as voltas. Os pilotos do grupo A obtiveram um desempenho superior aos pilotos do grupo C e seus desempenhos foram mais rápidos nas primeiras sessões. Os pilotos do grupo A também foram questionados sobre sua opinião sobre o *feedback* de áudio, os comentários dos motoristas foram mistos: em geral, os motoristas inexperientes responderam mais favoravelmente, enquanto os motoristas mais experientes relataram maior distração. No geral, a maioria dos motoristas achou o *feedback* de áudio fácil de usar e útil.

O trabalho de Raghuveer e Srinivas (2022) utilizou o *software* miniSim do *National Advanced Driving Simulator* (NADS) para desenvolver cenários de direção, capturar o

comportamento do motorista e avaliar a influência do ADAS (*Advanced Driver Assistance Systems*) ou Sistema de Assistência ao Condutor no comportamento do motorista. Foram simulados cenários de condução rural, urbana e em rodovias, pois essas são as configurações típicas encontradas por um motorista. A análise descritiva foi seguida da análise de variância (ANOVA) para avaliar diferenças significativas nos valores médios de comportamentos do motorista como frenagem forte, curvas fechadas, saída de pista, velocidade média, avanço médio, velocidade máxima e força do pedal do freio. A intenção é determinar se um ADAS pode ter uma influência significativa no comportamento do motorista. Os resultados foram avaliados em diferentes grupos e avaliando diferentes aspectos, os autores concluíram que o tipo de influência que os recursos do ADAS tiveram sobre os motoristas participantes variaram a depender do tipo de cenário. O trabalho ajudou a compreender o quanto significativo pode ser um tipo de assistência para o piloto e quais pontos podem ser mais explorados.

O trabalho de Jan e Jana (2019) resume as experiências obtidas ao usar o sistema RFID UHF para cronometragem esportiva. O sistema avaliou a eficiência do sistema utilizando *tags* em ciclistas e corredores, o trabalho concluiu que o sistema RFID UHF com etiquetas passivas é um sistema eficaz e fácil para cronometragem esportiva. Os limites do sistema como alta velocidade (ciclistas), sobreposições, etc. foram processados estatisticamente. Um ponto a ser observado foi o maior problema com as leituras das *tags* posicionadas no peito do corredor porque quanto melhor a *tag* responde, mais rápido o corredor parece. Uma possível solução para resolver este problema é levar em consideração todos os valores lidos ao avaliar o resultado de cada número. Porém pode levar ao uso de centenas de registros para uma simples passagem de linha. No caso de uma linha de chegada lotada, isso causa um tráfego de dados extraordinário, com a maioria dos dados sendo redundantes. A solução (em perspectiva) seria um processamento dos dados RFID dentro do leitor RFID com um filtro personalizado.

O trabalho de Woellik, Mueller e Herriger (2014) apresentou um sistema de cronometragem RFID, que é instalado permanentemente em vários estádios de atletismo para uso estacionário e contínuo. O sistema RFID utilizado foi o MYLAPS Tipo decodificador conectado a um loop de detecção com comprimento de 12 metros (uma direção) na linha de partida/chegada da pista. Os dois corredores primeiro se revezaram correndo e passando a linha de chegada 14 vezes (28 passes). Em seguida, eles passaram a linha simultaneamente cinco vezes de tal forma que a barreira de luz foi acionada apenas uma vez. Para condições de corrida, não apenas o erro médio, mas também sua variância é

de importância crucial. Esta é uma das razões pelas quais o tempo RFID não é aprovado para competições de corrida em pista. As medições provam que o tempo RFID não é (ainda) capaz de fornecer repetibilidade adequada neste contexto. Mesmo para configurações mais complexas os erros atingiram valores em torno de 7/100 segundos e os valores de desvio padrão do erro mostram que erros ainda maiores devem ser esperados na prática.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentada a metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho. Nele está contido os materiais utilizados para desenvolver o projeto, além da metodologia utilizada em testes. O capítulo também apresenta o funcionamento do protótipo desenvolvido pelo autor.

3.1 MATERIAIS E FERRAMENTAS

3.1.1 *Hardware*

Para a execução do projeto foi buscado um microcontrolador que tivesse um módulo de WiFi acoplado, tamanho pequeno e com um alcance de no mínimo 100 metros para se comunicar com o outro veículo, era necessário também que o microcontrolador tivesse baixo consumo de energia com o objetivo de ter maior duração. Para o sistema de comunicação via áudio foi buscado um módulo que oferecesse um áudio limpo e de qualidade para que o piloto conseguisse ouvir as orientações com perfeição.

A plataforma de desenvolvimento escolhida para o trabalho foi a NodeMCU-32S que possui o microcontrolador ESP32. Esta placa conta com um ESP32, interface serial usb e antena embutida, além de um regulador de tensão, que pode ser na faixa de 4,5V a 9V. A programação do ESP32 é pode ser feita através de diversos *softwares* compatíveis, evidenciando-se da linguagem de programação C/C++, o *Software Development Kit* (SDK) fornecido pela própria desenvolvedora do microcontrolador ou então o Arduíno IDE são as plataformas mais utilizadas para essa programação.

O ESP32 é um microcontrolador fabricado pela empresa *Espressif Systems* e que possui alta performance, baixo consumo de energia, conexão *Wireless Fidelity* (WiFi) padrão 802.11 b/g/n e *Bluetooth*. Além disso, o *chip* possui uma CPU *dual-core* com 4 MB de memória *flash*, 448 *Kbytes* de memória ROM e 520 *Kbytes* de memória RAM, frequências de *clock* de até 240 MHz, 36 portas, sendo que 18 delas podem ser utilizadas como conversor analógico digital de 12 *bits* e sua tensão de operação é de 3.3V (SYSTEMS, 2022).

Para o sistema de comunicação será utilizado o “Decodificador de Áudio I2S UDA1334A” da “NXP *Semiconductors*” pois possui entrada P2 convencional para fone de ouvido, além de ter bibliotecas para o microprocessador escolhido. A escolha por um módulo pronto também se dá pela qualidade de áudio do mesmo, além de seu tamanho

contribuir para a instalação.

Para a comunicação visual foi escolhido o “*Display LCD Touch ILI9488*” da “Ilitek” pois tem boa resolução e 3.5 polegadas, fatores que ajudam na leitura de informações por parte dos pilotos.

Os testes de precisão de cronometragem utilizam a câmera de alta velocidade do smartphone Samsung Note 9, que possui velocidade gravação de 240 *frames* por segundo, 12000 *pixels*, abertura de lente de $f/1.5$, ISO variável de (50-800) e velocidade de obturador de (1/24000s-10s), dessa forma é possível comparar os tempos cronometrados pelo sistema com a câmera do celular.

3.1.2 Ferramentas computacionais

Para tornar a realização das simulações utilizando o microprocessador foi escolhido o *software* “Proteus” da “*Labcenter Electronics Ltd*” versão 8 por ter uma interface de fácil manipulação.

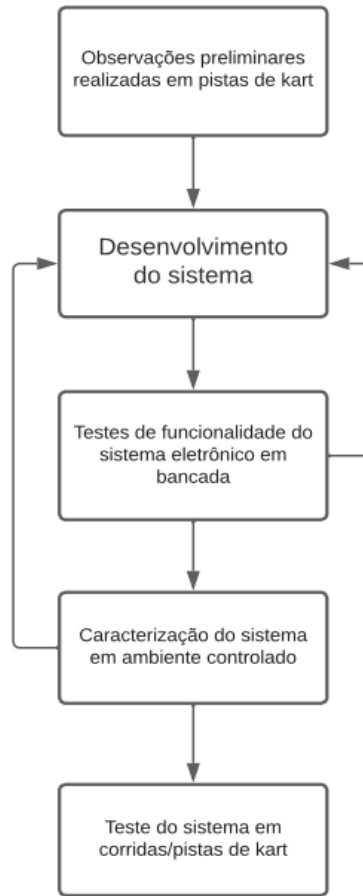
Para a gravação e edição de áudio de foi escolhido o *software* Audacity versão 3.2 que possui código aberto. Este *software* pode: gravar áudio ao vivo, cortar, copiar, emendar ou misturar sons e editar vários arquivos de áudio (Ogg Vorbis, MP3, WAV ou AIFF, etc).

As gravações feitas utilizando a câmera fotográfica/de gravação do smartphone Samsung *note 9* e foram processadas pelo *software* de edição Adobe Premiere versão CC.

3.2 PROCEDIMENTOS

Na Figura 6 é ilustrado o fluxograma do desenvolvimento geral da metodologia.

Figura 6 - Fluxograma geral da metodologia.

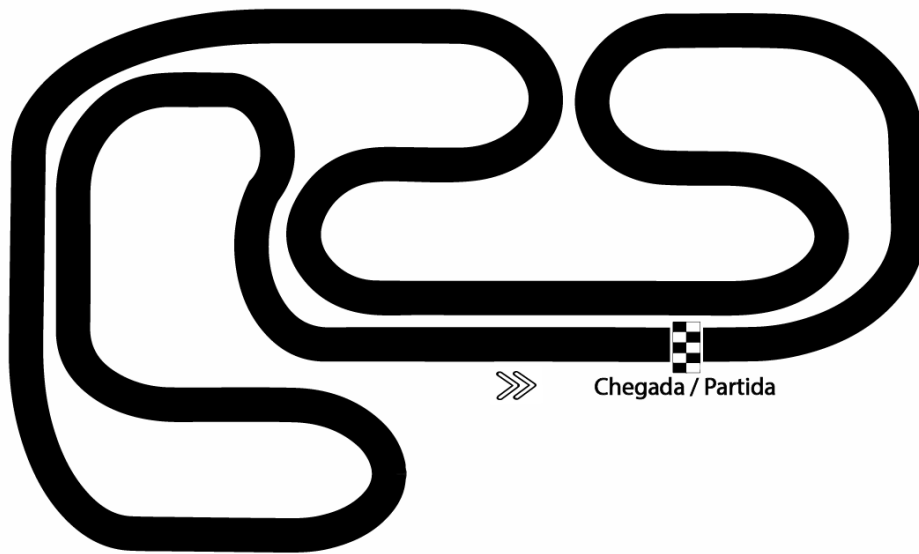


Fonte: O autor.

3.2.1 Observações preliminares para construção do sistema

A fim de entender e definir a quantidade de pontos de medições de tempos e a posição dos mesmos foram feitas as primeiras observações. As observações foram feitas na pista Piquet Kart, localizada no *Shopping Iguatemi* em Porto Alegre. Os tempos coletados tiveram como origem o sistema de cronometragem da pista, todos os karts desta pista possuem um transponder da marca CalXPro, que envia um sinal único para o circuito de detecção na pista colocado na linha de Partida/Chegada, o *Software LapTime* o qual recebe esse sinal e faz a cronometragem. Foram observadas 6 baterias em 3 dias e com competidores diferentes, com baterias de 25 minutos, divididas em 5 minutos de voltas classificatórias e 20 minutos de corrida. A observação deste conjunto de baterias foi utilizada para avaliar os tempos de voltas, o circuito, as possíveis influências para o desempenho dos pilotos e demais informações que possam servir de base para o sistema. A Figura 7 representa o circuito da pista na qual foram feitas as observações.

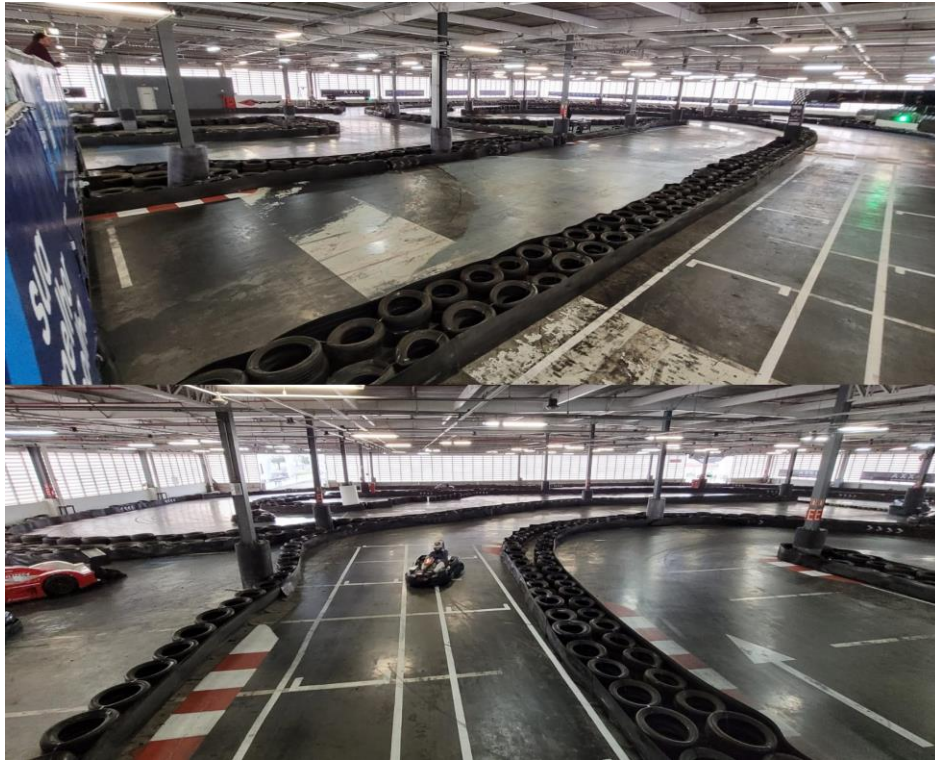
Figura 7 - Circuito da pista onde foram feitas as observações.



Fonte: O autor.

As observações foram feitas em um ponto que se tem visão de todo o circuito, a Figura 8 ilustra o ponto de onde foram feitas as observações. Nesse ponto é possível identificar de uma forma ampla os eventos durante a bateria.

Figura 8 - Pontos do circuito onde foram feitas as observações.



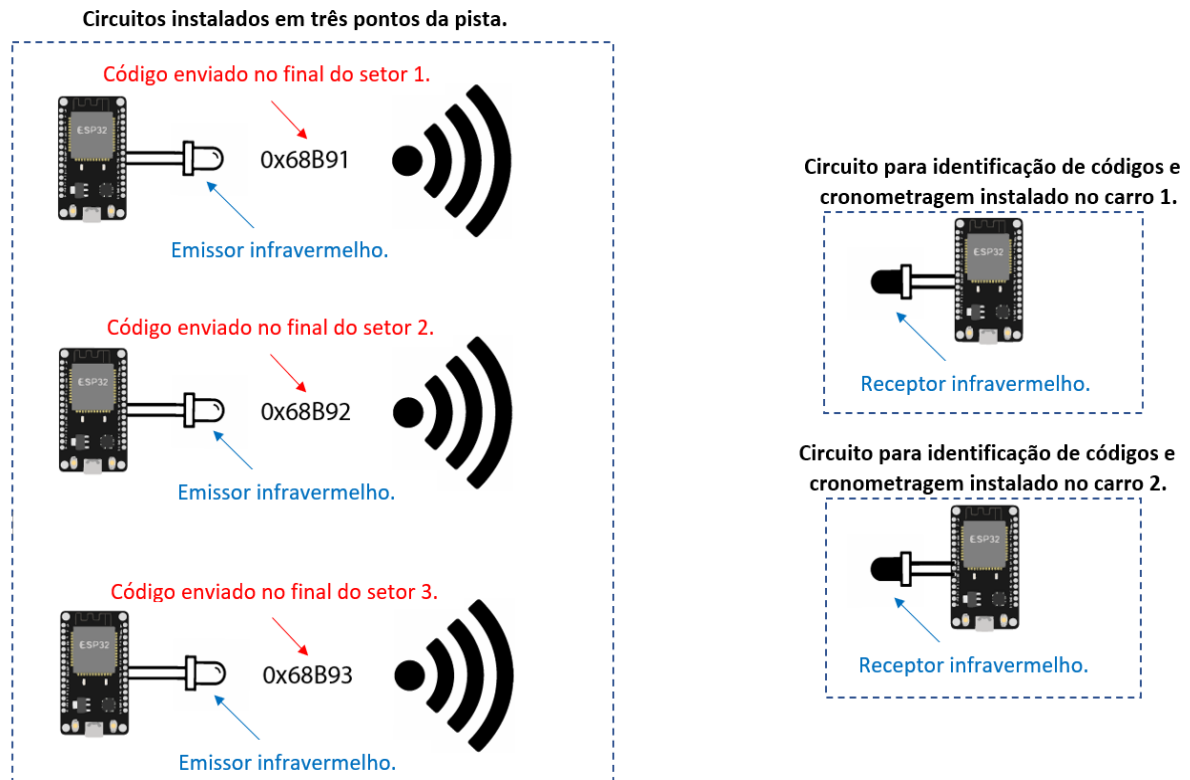
Fonte: O autor.

3.2.2 Sistema de aquisição de tempos

O circuito foi dividido em três setores com o intuito de ter uma melhor avaliação do desempenho do piloto, dessa forma é possível identificar em qual trecho da pista o piloto pode estar apresentando um desempenho ruim.

O circuito para aquisição de tempos utiliza emissores infravermelhos em pontos do circuito, no qual cada emissor emite um código, no veículo é instalado um receptor infravermelho, e a partir disso é possível identificar em que ponto do circuito o veículo está e qual o tempo de deslocamento entre os pontos de detecção. Foram escolhidos módulos para os emissores e receptores infravermelhos que tivessem alcance mínimo de 5 metros, que é a largura da pista, a escolha por módulos se deu pelo tamanho e acabamento dos mesmos. A Figura 9 apresenta um diagrama simplificado do sistema para a aquisição de tempos.

Figura 9 - Diagrama simplificado do sistema de aquisição de tempos e cronometragem.



Fonte: O autor.

Quando um dos carros passa pelo setor 3, instalado na linha de partida/chegada, o receptor infravermelho instalado no carro identifica o código emitido pelo emissor e começa a contabilizar o tempo de volta, identificando que o carro entrou no setor 1. Ao passar no final do setor 1 o receptor identifica outro código, emitido por outro circuito, cria uma parcial de tempo até aquele ponto, apresenta ao piloto essa parcial e continua contabilizando o tempo total, neste momento o sistema entende que o carro entrou no setor 2. Quando o carro chega ao fim do setor 2, o sistema identifica um novo código, emitido por outro circuito, cria uma nova parcial de tempo, emitido por outro circuito, cria uma parcial de tempo até aquele ponto, apresenta ao piloto essa parcial e continua contabilizando o tempo total. Quando o carro cruza novamente a linha de chegada/partida e recebe o código emitido pelo circuito instalado neste ponto, o sistema identifica que a volta terminou, logo, ele conclui a cronometragem desta volta, cria uma parcial para a volta atual, apresenta ela ao piloto e começa um novo ciclo de cronometragem para a volta posterior. Os códigos emitidos pelos circuitos ao longo da pista foram escolhidos de forma arbitrária. Cada carro cronometra individualmente seu tempo.

A frequência de *clock* que vem configurada de fábrica do ESP32 utilizado no

sistema é de 80 MHz. Foi definido pelo autor a utilização de interrupções de timer para a criação do cronômetro. O *prescaler* definido foi de 80, dessa forma o intervalo entre cada contagem é de 1 us, porém a variável contadora só é acrescentada a cada 1 ms, essa escolha se deu por esse tempo ser o de menor significância para tempos de corrida. Todas as variáveis de tempo utilizam o mesmo timer e a mesma contagem de 1 ms para seus incrementos. A Figura 10 apresenta um diagrama da contagem do cronômetro.

Figura 10 - Diagrama da contagem do cronômetro.



Fonte: O autor.

Foi definido que a faixa de operação do sistema será de 15 a 50 segundos, a escolha dessa faixa se dá devido ao tempo mínimo para o kart chegar ao primeiro ponto de detecção e o tempo médio de final de volta, para os testes a faixa a ser testada será entre 13 e 59 a fim de se ter uma margem.

3.2.3 Sistema de comunicação

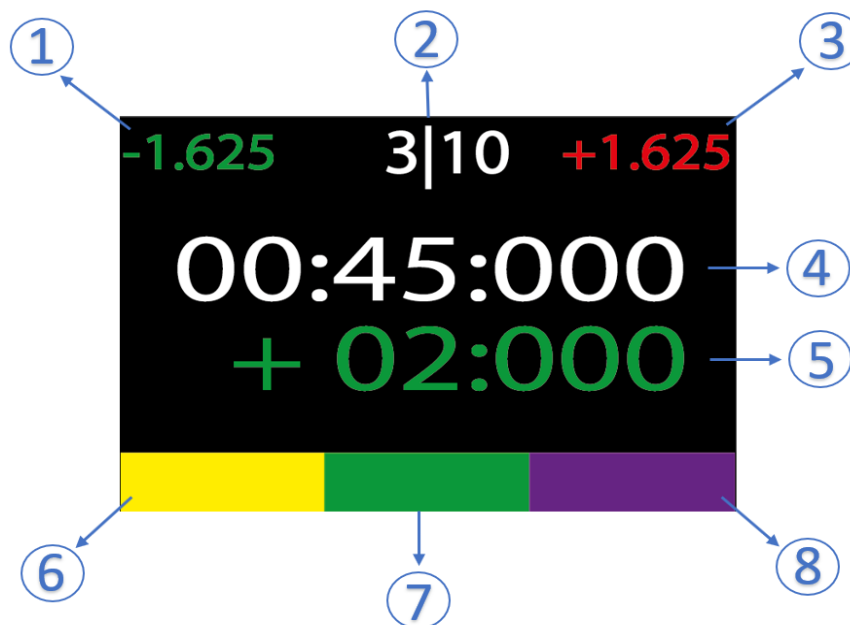
Após a formulação de um circuito para a aquisição de tempo, foi desenvolvido um circuito para a comunicação entre o sistema e o piloto. Com o intuito de possivelmente obter informações do piloto antes da corrida e evitando a utilização de botões foi escolhido um *display* de LCD *touchscreen*, dessa forma é possível estabelecer uma comunicação visual com o piloto informado tempos ou outras informações, além de poder receber dados como massa do piloto por exemplo. Foi pensado também em uma comunicação auditiva, dessa forma o piloto poderia receber informações mais extensas ou que trariam dificuldade para serem informadas pelo *display*. Acabou-se criando um circuito com um amplificador

de áudio para estabelecer a comunicação entre a máquina e o piloto.

Os áudios reproduzidos no sistema foram gravados pelo autor e editados através do *software* Audacity, para as mensagens de auxílio foi utilizado como base as mensagens passadas aos pilotos de F1.

O layout desenvolvido para a comunicação visual e que é exibido no sistema teve como base as informações em volantes de corrida, além de gráficos utilizados em transmissões de F1, essas escolhas se deram pela possível familiaridade dos pilotos com esses gráficos, na Figura 11 é possível visualizar o *layout* do sistema.

Figura 11 - Layout do sistema de comunicação visual durante as voltas de classificação e corrida.



Fonte: O autor.

Os itens acima representam as seguintes informações:

1. Apresenta a diferença de tempo do carro que está atrás, essa informação é atualizada ao final de cada volta.
2. Apresenta a volta atual e a estimativa de voltas para a corrida.
3. Apresenta a diferença de tempo do carro que está à frente, essa informação é atualizada ao final de cada volta.
4. Apresenta o tempo de volta, quando o carro passa em um dos três detectores de tempo o tempo exibido fica congelado por cinco segundos.
5. Apresenta a diferença de tempo, essa diferença é apresentada sempre que o

piloto passar em um dos detectores de tempo. A diferença exibida é em relação a melhor volta. A mensagem fica sendo exibida por cinco segundos a partir da detecção do tempo.

6. Apresenta o desempenho do piloto no setor 1, sendo considerado verde para o melhor tempo no setor, amarelo para um tempo acima do melhor tempo e roxo para o melhor tempo no setor entre todos os pilotos da corrida ou classificação.

7. Apresenta o desempenho do piloto no setor 2, sendo considerado verde para o melhor tempo no setor, amarelo para um tempo acima do melhor tempo e roxo para o melhor tempo no setor entre todos os pilotos da corrida ou classificação.

8. Apresenta o desempenho do piloto no setor 3, sendo considerado verde para o melhor tempo no setor, amarelo para um tempo acima do melhor tempo e roxo para o melhor tempo no setor entre todos os pilotos da corrida ou classificação.

3.2.4 Sistema de Processamento de Informações e Indicação Visual

O código desenvolvido tem como objetivo cronometrar o tempo de volta do piloto, identificar o seu desempenho e auxiliar o piloto a melhorá-lo, além de informar dados relativos a outros competidores.

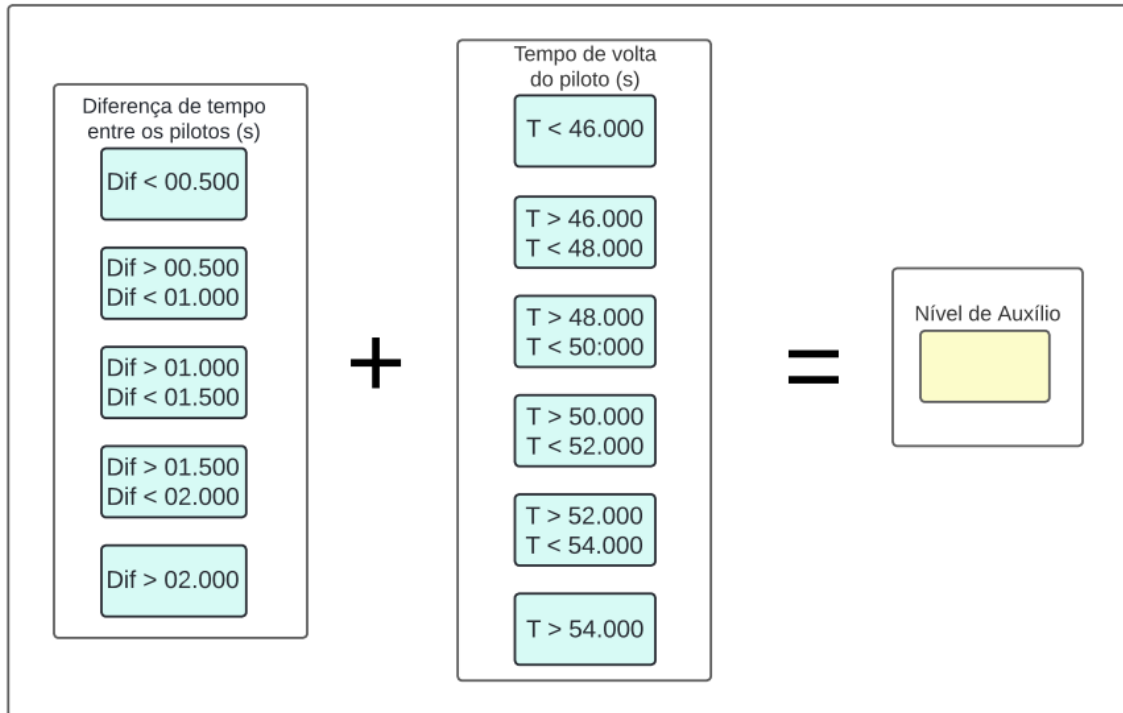
Durante as voltas de classificação o sistema cronometra o tempo e exibe para o piloto o tempo por trecho, a comparação com o mesmo trecho em voltas anteriores e a comparação do tempo de volta com as voltas anteriores. O sistema utiliza o protocolo de comunicação via *Wifi ESP NOW* do microcontrolador para enviar os tempos de cada setor e os tempos de voltas para o adversário.

As informações são enviadas em um número inteiro de até 9 algarismos, os dois primeiros algarismos são referentes a uma informação em específico, por exemplo o carro B ligou o seu sistema e para haver um tempo referência igual entre eles ele solicita através do código 99 o tempo geral do carro adversário. Desta forma é possível trocar até 99 tipos de informações diferentes entre os carros. O tempo geral citado acima é necessário para identificar com precisão a diferença de tempo entre os dois carros durante a corrida.

Após o fim da classificação, o código desenvolvido classifica o desempenho do piloto com base no seu tempo e utiliza a melhor volta do adversário para verificar a diferença de desempenho entre eles, com base nessas duas informações o sistema começa a auxiliar o piloto. Os tempos utilizados para classificar os níveis de desempenho são baseados nas observações feitas para o desenvolvimento do sistema. A Figura 12 ilustra as regras utilizadas para a classificação do desempenho do piloto, a partir da diferença entre

os tempos dos pilotos e o melhor tempo que o piloto teve ele é definido o nível de auxílio que ele irá receber.

Figura 12 - Regras para definição do nível de auxílio que o piloto vai ter.



Fonte: O autor.

As regras para definição do nível de ajuda para o piloto são baseadas no seu desempenho e no do piloto adversário, essa escolha se deu por dois motivos: primeiramente porque o piloto com um bom desempenho não irá necessitar muito auxílio, o segundo motivo é para buscar um equilíbrio de desempenho.

Após a avaliação do desempenho durante as voltas de classificação é repassado ao piloto a diferença entre ele e seu adversário, um resumo do seu desempenho nos três setores e uma série de dicas com base no desempenho dele. Todo esse repasse de informações é feito através do sistema de áudio e pelo *display*. Na Figura 13 temos um exemplo das mensagens exibidas para um piloto ao final das voltas de classificação. Depois de repassar as informações de desempenho, o sistema irá calcular uma meta de tempo de voltas para o piloto ganhar a corrida, essa meta é calculada com base nos melhores tempos das voltas de classificação.

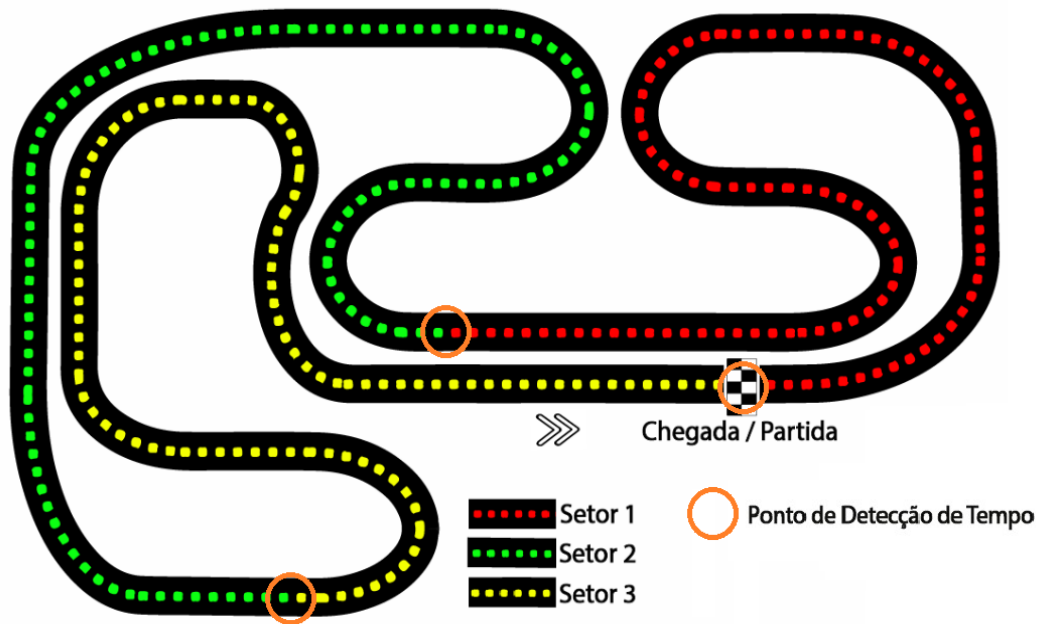
Figura 13 - Exemplo de mensagens exibidas ao piloto no final das voltas de classificação.



Fonte: O autor.

Como mencionado anteriormente a quantidade de auxílio ao piloto dependerá do seu desempenho nas voltas de classificação, um piloto que teve por exemplo tenha o tempo de volta maior que 54 segundos vai receber seis demonstrações de traçado ideal em curvas juntamente com o ponto de frenagem e aceleração ideal. Caso o piloto tenha um tempo de 46 segundos ele receberá somente uma demonstração. As curvas escolhidas para as demonstrações são as que mais apresentam possibilidade de traçados diferentes ou que exigem uma frenagem maior, dessa forma, foram escolhidas apenas duas curvas por setor para possíveis demonstrações aos pilotos. A escolha das curvas que serão apresentadas vai depender do desempenho do piloto, por exemplo: o piloto que tem direito a uma demonstração, terá a demonstração de uma curva no setor que ele teve o pior desempenho. O traçado ideal, os pontos de frenagem e aceleração tem como base a bibliografia de técnicas de pilotagem apresentadas na seção 2.6 deste trabalho. A Figura 14 apresenta o circuito que os testes práticos vão ser feitos e a divisão dos setores.

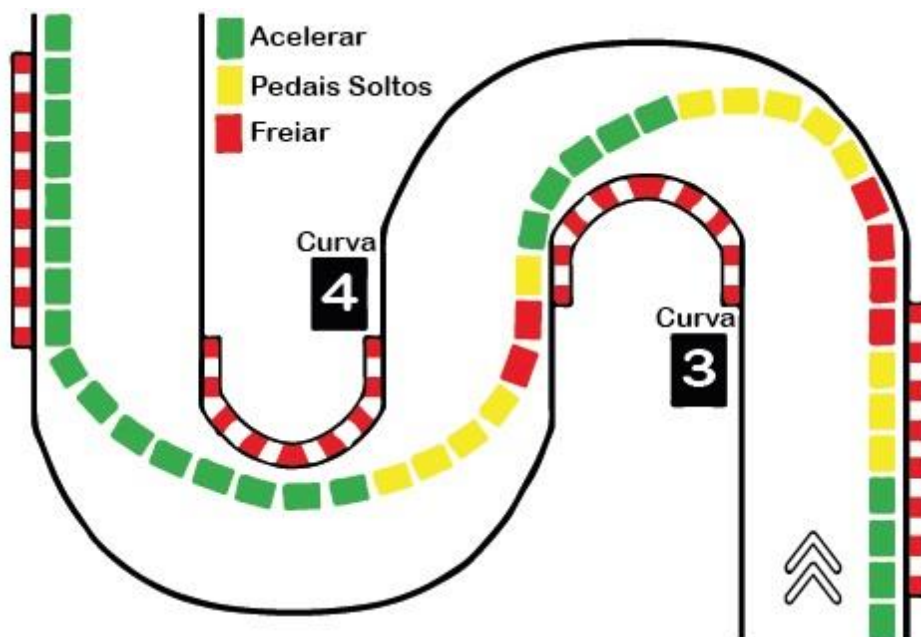
Figura 14 - Circuito dividido em três setores.



Fonte: O autor.

A Figura 15 demonstra um exemplo de traçado ideal para um ponto específico da pista, se o sistema identificar que o piloto está tendo um desempenho ruim nesse trecho da pista essa mensagem será exibida ao piloto após o fim das voltas de classificação.

Figura 15 - Demonstração de traçado ideal.



Fonte: O autor.

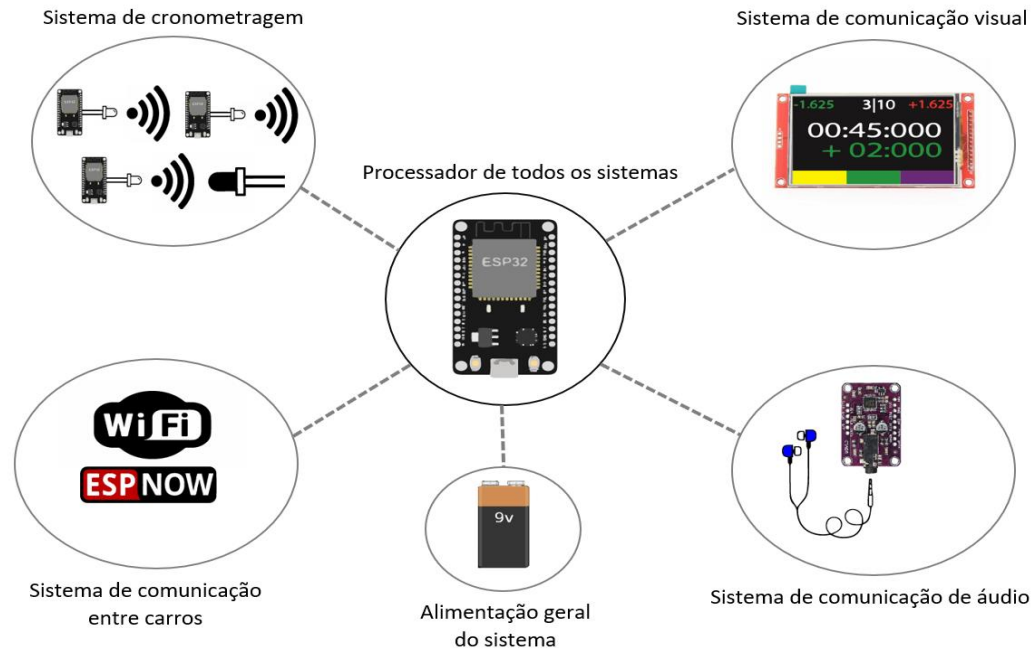
Ao fim dos primeiros auxílios, o sistema irá auxiliar o piloto predominantemente através de áudios, com o objetivo de ser mais direto possível e sem tirar muito o foco do piloto da pista. No total, há 69 mensagens diferentes. Em todas as voltas ímpares os pilotos recebem uma mensagem a depender do seu desempenho e diferença para o adversário, as voltas que marcam o meio e fim de corrida também serão passadas mensagens aos pilotos. Todos os pilotos recebem as mensagens no fim de cada volta, essa escolha se dá primeiramente por ter um ponto de aferição de tempo neste local, por entender que esse ponto fixo não irá atrapalhar o piloto, além disso o piloto entendendo que vai receber orientações sempre no mesmo ponto ele pode ficar mais atento para compreender a mensagem.

O sistema foi desenvolvido e testado em apenas dois carros, essa escolha se deu pela limitação do local escolhido para os testes e por acreditar que o aumento de carros traria a necessidade de pequenos ajustes. Sempre que um dos carros passa por um detector de passagem ele envia para o outro carro um código que informa o setor que ele passou, juntamente com o tempo que ele demorou nesse trecho. O carro que recebe o código enviado pelo outro carro processa imediatamente se esse tempo recebido é o melhor setor recebido dos adversários e guarda essa informação para ser processada posteriormente. Para haver comparação da diferença entre os carros, sempre que um carro completa uma volta ele envia para o outro carro o tempo do último trecho e um tempo geral contendo o número da volta. Para haver sincronismo de tempo geral entre os carros, um dos carros é responsável por enviar o seu tempo geral para o outro carro, quando o carro recebedor do tempo geral é ligado ele fica solicitando a informação até ser recebida.

3.2.5 Diagrama do sistema

A Figura 16 apresenta um diagrama geral do sistema desenvolvido.

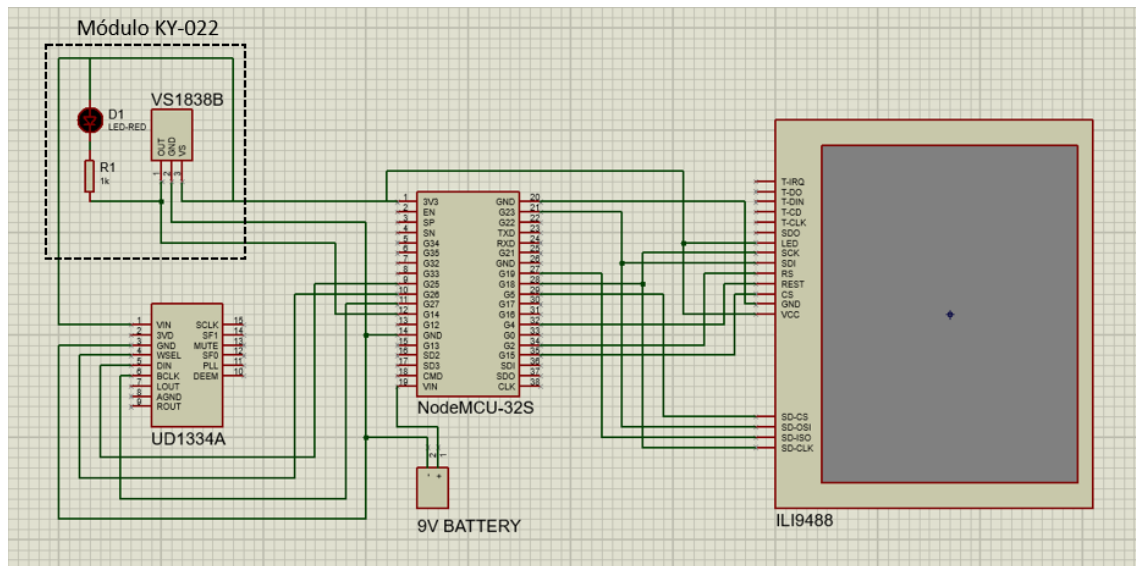
Figura 16 - Diagrama geral do sistema.



Fonte: O autor.

A Figura 17 apresenta o esquemático geral do sistema desenvolvido, a placa NodeMCU-32S e a placa UD1334A possuem capacitores de desacoplamento, porém não estão representados no esquemático.

Figura 17 - Esquemático geral do sistema.



Fonte: O autor.

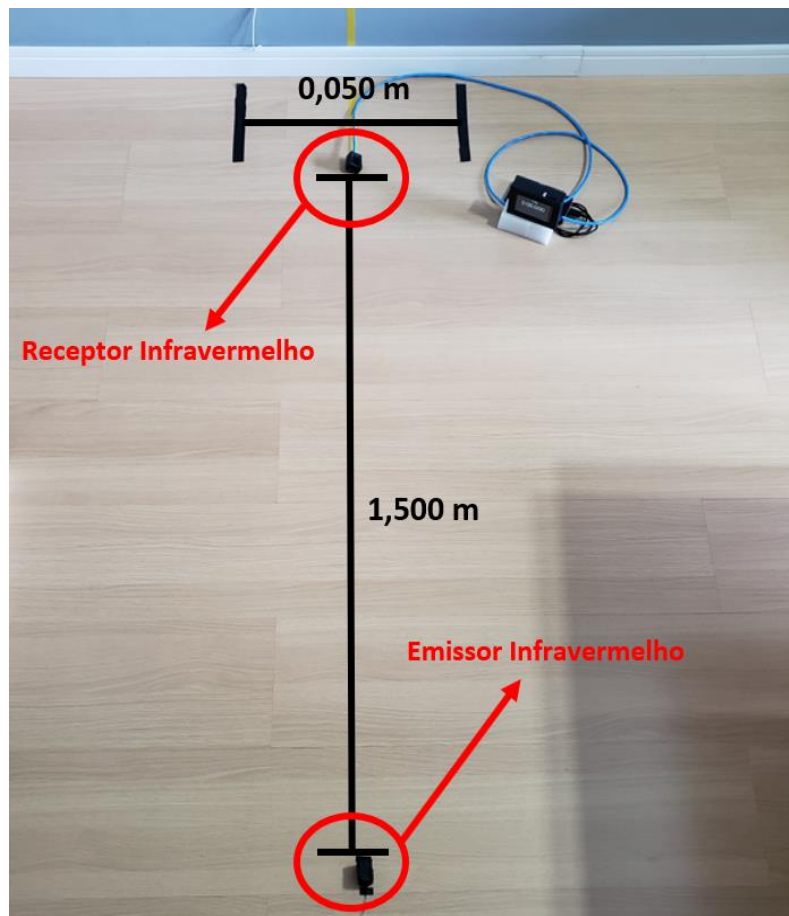
3.2.6 Testes em bancada

Após a criação do protótipo, a avaliação da funcionalidade do mesmo envolveu testes de bancada, utilizando os componentes citados acima foi projetado os circuitos previstos e testado o seu funcionamento, tendo como objetivo verificar se ambos funcionavam conforme o esperado e se ambos poderiam ser utilizados. Foi montado então um circuito com o intuito de simular a pista e o deslocamento do veículo. Os emissores infravermelhos emitiam um código definido pelo autor e o sensor infravermelho juntamente com o microprocessador identificava qual era o emissor e o tempo que ele estava demorando para se deslocar de um emissor ao outro.

Utilizando um código e um circuito adaptativo simulando os pontos de detecção da pista, o objetivo do teste era de identificar os possíveis erros de leitura dos sensores e identificar e melhorar o raio de leitura. Primeiramente foram traçadas duas linhas com distância de 0,050 m entre elas e instalado o emissor a uma distância de 1,500 metros do ponto onde um carro passaria a diferentes velocidades. A distância entre as linhas para identificação do sensor foi definida com base no intervalo entre as linhas da antena de laço indutivo do sistema de identificação da pista onde os testes práticos foram feitos. E a distância entre o emissor e o receptor foi definida com base na distância aproximada que os carros passam do local onde os emissores foram instalados no teste prático. Para haver um ajuste no raio de emissão do emissor infravermelho ele foi colocado de uma pequena

caixa com possíveis ajustes. A Figura 18 ilustra a montagem do sistema.

Figura 18 - Teste para precisão do sensor e cronometragem.



Fonte: O autor.

Foi utilizada a câmera de alta velocidade do smartphone Samsung Note 9 capaz de gravar vídeos com velocidade de 240 *frames* por segundo, dessa forma o foi possível visualizar com precisão os movimentos e cronometrar os tempos.

O teste foi conduzido da seguinte forma: o emissor ficava a todo instante emitindo um código, o autor passava o receptor infravermelho a uma distância de 1,500 m do emissor e de forma manual com a finalidade de simular a passagem de um carro. Em cada teste foram feitas duas passagens, a primeira para disparar o cronômetro do sistema e a segunda para parar a cronometragem. A comparação de tempo feita entre o sistema e a câmera foi feita da seguinte forma: o tempo considerado do sistema foi o exibido ao final da segunda identificação por parte do sensor, e o tempo considerado da câmera foi calculado a partir do momento que o sensor passa a primeira vez sobre a linha amarela até o momento que ele passa novamente sobre linha amarela. A Figura 19 ilustra a visão da câmera utilizada, bem como os pontos que foram considerados para o cálculo do seu tempo.

Figura 19 - Enquadramento da câmera e o ponto considerado para contagem dos tempos.



Fonte: O autor.

Como os tempos de detecção por parte do sistema desenvolvido podem ocorrer em momentos diferentes dentro do intervalo de 0,050m foi feito um cálculo para o erro de detecção.

A faixa de operação do sistema a ser testado foi de 13 a 59 segundos, pois essa faixa abrange o tempo médio de uma volta no circuito, além dos tempos esperados para cada um dos setores. Foi dividido em três regiões de tempo, cada uma se referindo a um dos setores, a faixa 1 é relacionada ao setor 1, a faixa 2 é relacionada ao setor 2 e a faixa 3 é relacionada ao setor 3. A escolha dessas três faixas e dos valores medidos se dão por serem próximos a valores esperados a serem registrados nesse estudo de caso.

Foram calculados os erros médios, além dos erros relativos e erros de linearidade referentes a máxima diferença entre os sistemas de cronometragem e ao fundo de escala.

Devido os momentos de detecção por parte do sistema desenvolvido serem diferentes dos momentos da câmera foi calculado um erro sistemático com o objetivo de correção de tempo. Esse erro busca igualar o momento de detecção dos dois sistemas, foi calculado um delta para ser somado ao tempo cronometrado pelo protótipo, pois o protótipo

pode estar começando a cronometragem após o começo da cronometragem da câmera e parando antes. Para o cálculo do delta foi considerando as velocidades da primeira e da segunda passagem, a partir dessa velocidade e da distância entre o intervalo de detecção do sistema foi calculado o tempo que o sensor percorre essa distância.

3.2.7 Testes do protótipo em campo

O teste do protótipo foi feito com o objetivo de comparar os tempos de volta cronometrados pelo sistema comercial da pista com o sistema desenvolvido para assistência do piloto, além de verificar o correto repasse de informações ao piloto. Para esse teste foram instalados três emissores infravermelhos na pista a uma altura de 40 cm nas paredes da pista conforme ilustrado na Figura 20. Cada emissor emite um código definido pelo autor para que o sistema identifique em qual parte do circuito o carro está.

Figura 20 - Emissor infravermelho instalado na pista.



Fonte: O autor.

Em dois veículos foram instalados o sistema completo, contendo o sensor receptor infravermelho, o *display* para exibição dos tempos e das mensagens, além do sistema de assistência por áudio, a Figura 21 ilustra a instalação do protótipo no kart.

Figura 21 - Protótipo instalado no kart.



Fonte: O autor.

A Figura 22 ilustra com maior detalhe o sensor receptor infravermelho instalado no kart.

Figura 22 – Sensor receptor infravermelho instalado no kart.



Fonte: O autor.

As voltas cronometradas pelo sistema são salvas automaticamente pelo microprocessador em um cartão de memória e também foi utilizada uma câmera para gravação dos tempos no *display*. As voltas cronometradas pelo sistema da pista foram coletadas junto ao *software LapTime*. Foram realizadas 15 voltas durante o teste, sendo 5 voltas de classificação e 10 voltas de corrida.

Na pista foram colocadas placas identificando algumas curvas com o intuito de serem repassadas informações aos pilotos de qual seria o traçado ideal para fazer aquela curva e qual o ponto certo para frear e acelerar. A Figura 23 ilustra as curvas que continham as placas de identificação.

Figura 23 - Curvas identificadas.



Fonte: O autor.

Foram calculados os erros médios, além dos erros relativos e erros de linearidade referentes a máxima diferença entre os sistemas de cronometragem e ao fundo de escala.

4 RESULTADOS

Neste capítulo será apresentado os resultados obtidos nos testes feitos, além de uma análise destes resultados.

4.1 OBSERVAÇÕES PARA CONSTRUÇÃO DO SISTEMA

As observações foram feitas com o objetivo de entender as necessidades em relação aos pontos de detecção de tempos e entender fatores que possam influenciar no desempenho dos pilotos. Durante 3 dias foram observadas 6 baterias de 25 minutos (sendo 5 minutos de voltas de classificação para o grid de largada e 20 minutos de corrida), tendo grupos diferentes nessas baterias e número de competidores variados. O circuito em que foram feitas as observações e posteriormente os testes possui tipos de curvas variadas e três pontos de alta aceleração seguidas de curvas de baixas velocidades. Os pontos da pista que se tem alta aceleração e em seguida curvas de baixas velocidades trazem desempenhos variados, como o piloto não sabe o momento certo de frear. Alguns pilotos podem perder tempo freando antes do necessário, ou perder tempo indo rápido demais e batendo, para isso é necessário auxiliar os pilotos principalmente nesses pontos.

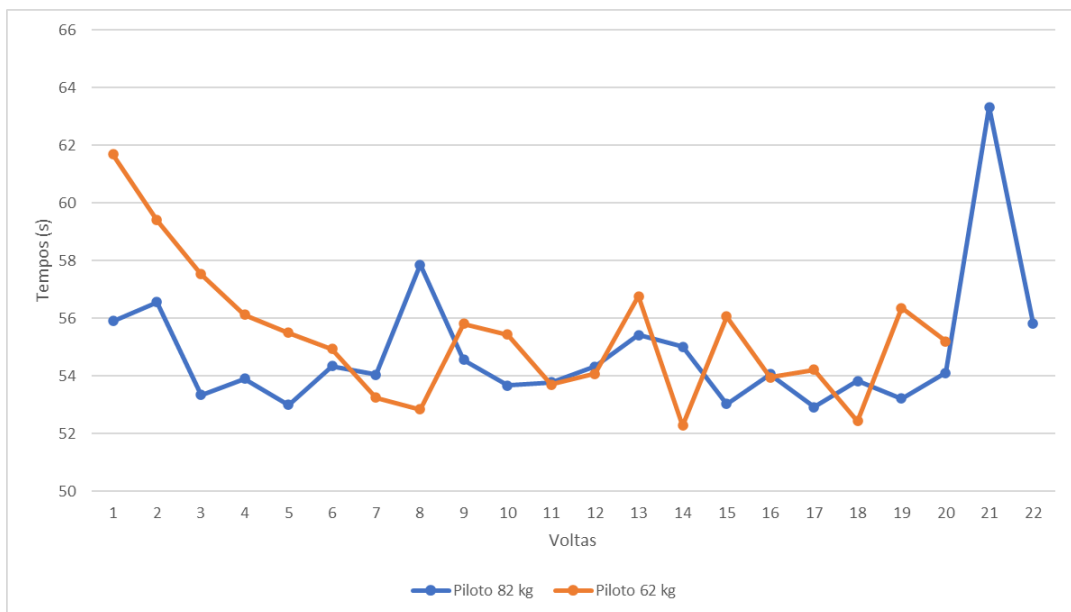
Durante as observações foi possível identificar as especificações para o sistema. As baterias duram 25 minutos, dessa forma é necessário que o sistema tenha duração de no mínimo 5 baterias, abrangendo o número médio de baterias realizadas por dia na pista em que os testes vão ser feitos. Se tem a necessidade de um display grande e colorido, dessa forma as mensagens podem ser facilmente lidas. É necessário que a comunicação via áudio se tenha qualidade, dessa forma o piloto pode ouvir as mensagens enviar pelo sistema com clareza. Para o sistema de cronometragem se tem a necessidade de utilizar um sistema de fácil ajuste, dessa forma foi escolhido o sistema de cronometragem através de infravermelho. É necessário que o emissor e o receptor tenham alcance de no mínimo 5 metros, pois essa é a distância entre as laterais da pista. O circuito tem aproximadamente 80 metros de distância entre suas extremidades, é necessário que a comunicação entre os carros tenha no mínimo 100 metros de alcance, dessa forma se tem uma margem de segurança para a comunicação.

4.1.1 Observação das massas dos pilotos

Durantes os testes foram observadas as possíveis influências para o desempenho

dos pilotos, antes da corrida os pilotos informam as suas massas, na pista há um *ranking* de melhores voltas dividido por massa. Por esse motivo durante as baterias foi observado a influência das massas dos pilotos no desempenho deles. Em geral não ocorreram muitas diferenças de tempo envolvendo a massa dos pilotos, alguns pilotos mais jovens pesavam menos que pilotos mais velhos, porém mais experientes, e os mais pesados tinham tempos melhores. Não se teve dados suficientes para concluir que a massa estava ou poderia estar interferindo no desempenho dos pilotos. A equipe de pista comentou que alguns karts possuem um banco levemente maior para pessoas mais pesadas e também um pouco mais de potência do motor, justamente para não ocorrer diferença de desempenho causadas pela massa. Na Figura 24 é possível observar dois pilotos com massas diferentes, o primeiro piloto com 82 kg e o segundo com 62 kg, é possível observar tempos próximos entre eles e até mesmo tempos menores para o piloto mais pesado.

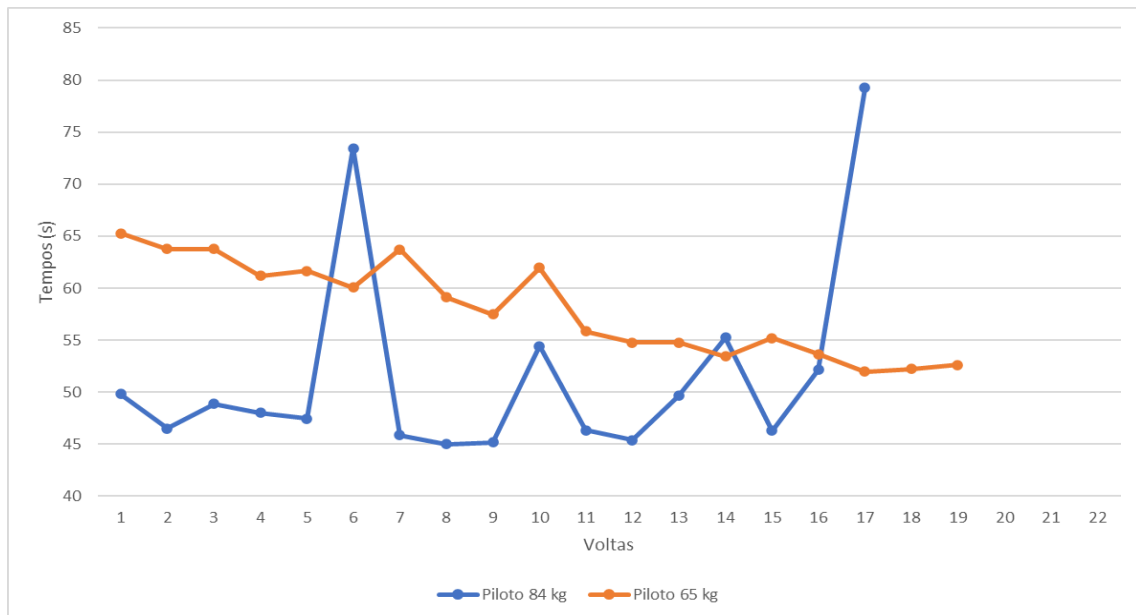
Figura 24 - Comparação do tempo de volta entre um piloto com 62 kg e um piloto com 82 kg.



Fonte: O autor.

Na Figura 25 foi comparado o desempenho de um piloto com 84 kg e um piloto com 65 kg, o piloto mais pesado conseguiu tempos menores comparado com o piloto mais leve. É importante observar que na volta 6 e 17 o piloto com 84 kg teve tempos anormais, o que pode ser explicado por um acidente envolvendo o piloto ou algum problema no circuito como por exemplo uma bandeira amarela sinalizando para os pilotos diminuírem a velocidade.

Figura 25 - Comparação do tempo de volta entre um piloto com 65 kg e um piloto com 84 kg.



Fonte: O autor.

Por haver casos como os anteriores de pilotos mais pesados terem desempenho superior ao mais leves foi decidido não utilizar esse tipo de informação no decorrer do sistema.

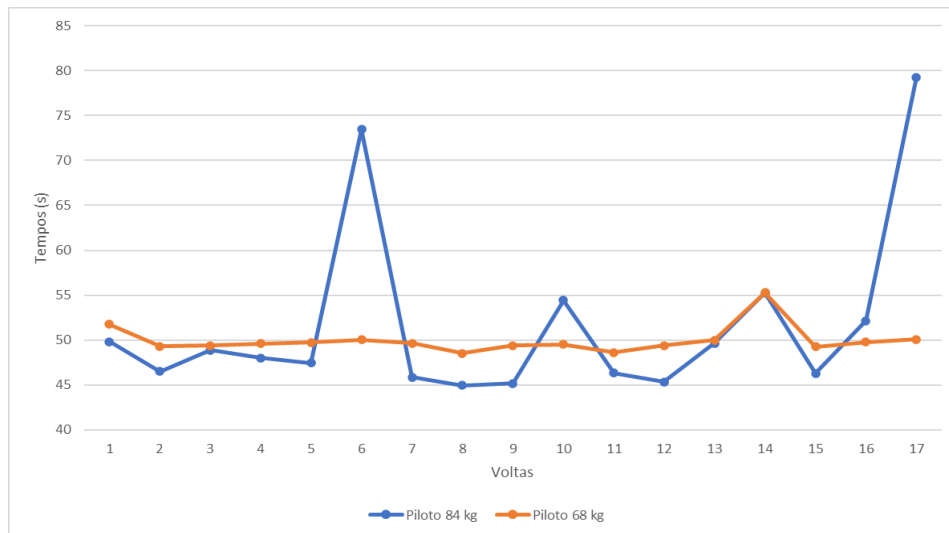
As observações retornaram à quantidade de pontos e os locais dos pontos de detecção de tempo, além de observar uma evolução de desempenho ao decorrer das voltas, o que pode ser observado com os tempos do piloto de 65 kg na Figura anterior, fator que pode ser explorado pelo sistema.

4.1.2 Observação de acidentes

Outro ponto importante observado durante as observações foi o tempo perdido por um piloto que se envolve em um acidente, como por exemplo fazer uma curva e bater na saída dela a ponto de ficar travado. Para destravar o piloto é necessário que um fiscal da pista se desloque até o ponto que ele está e empurre o carro, porém é necessário fazer isso com segurança caso tenha um carro se aproximando ele não pode fazer essa manobra, ocorreram casos que demorou mais de 30 segundos entre o momento que o carro parou até o momento que ele voltou a correr. Por terem poucos pontos de ultrapassagem, alguns acidentes ocorreram como mencionado acima. Ocorreram casos que pilotos com um desempenho melhor que os adversários perderam posições devido a esses acidentes. Dessa

forma é importante não se envolver em acidentes e mesmo que o piloto tenha um desempenho abaixo dos adversários é possível vencer a corrida, e para o piloto que está à frente é importante não forçar quando estiver com uma vantagem considerável. Na Figura 26 é possível observar dois pilotos que estavam disputando a mesma bateria, o piloto com os tempos marcados em azul teve um desempenho melhor em grande parte da corrida, porém na volta 6 e 17 o seu tempo foi superior comparado ao outro piloto, isso acabou fazendo o piloto com os tempos marcados em laranja chegar no final da corrida à frente do outro piloto, mesmo tendo muitas voltas com desempenho inferior.

Figura 26 - Comparativo entre dois pilotos em uma mesma bateria.



Fonte: O autor.

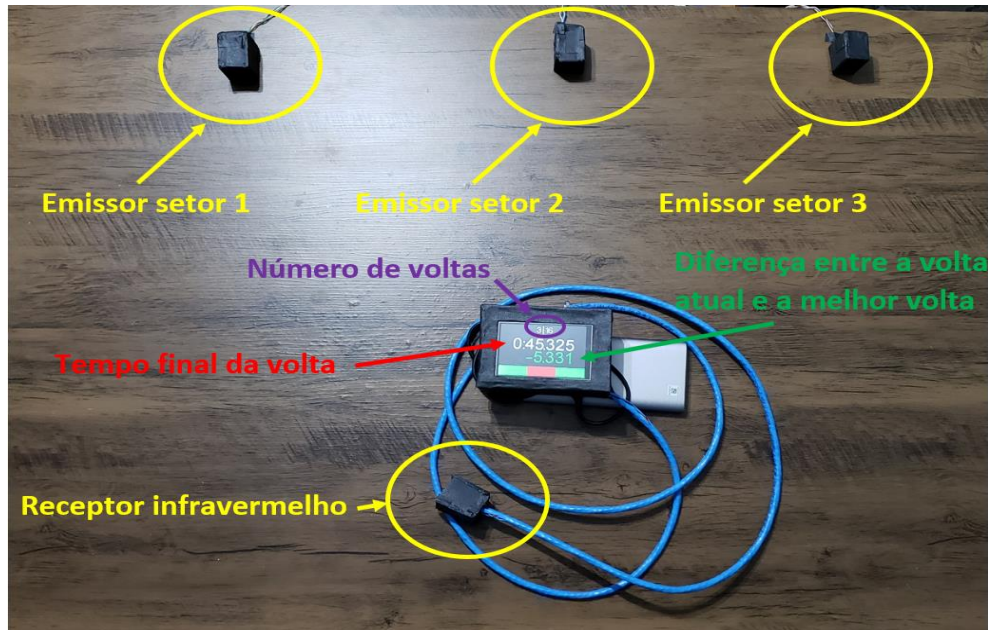
O sistema proposto então irá informar ao piloto a diferença que tem em relação ao piloto que está à frente ou que está atrás, dessa forma será possível administrar essa diferença.

Analisando os quatro pilotos citados acima é possível observar que não há um padrão de desempenho entre eles Seria necessária uma amostra grande de pilotos para começar a encontrar um padrão e dessa forma tentar prever algum tipo de ajuda mais aprofundado a depender de suas características.

4.1 TESTE EM BANCADA

Primeiramente foi testado se o sistema identificava os três setores e se os cálculos em relação aos tempos estavam de acordo. A Figura 27 ilustra essa montagem.

Figura 27 - Simulação do circuito com os três setores.



Fonte: O autor.

O sistema funcionou corretamente todos os setores e informando as diferenças de tempo. Na Figura 27 é possível verificar que o sistema contabilizou o tempo total de 0:45.325 s na simulação de volta 3, e ocorreu uma diferença menor de 5,331 s em relação à melhor volta até aquele momento. Na parte de baixo do *display* é possível identificar um retângulo verde, seguido de um vermelho e novamente um verde, isso significa que no setor 1 e 3 (que estão em verde) o tempo foi menor em relação aos mesmos setores nas voltas anteriores, e o setor 2 foi pior em relação ao melhor setor 2 até aquele momento. Foi possível identificar nesse teste que os cálculos de diferença de setor e diferença de volta estavam corretos.

Posteriormente foi testado a precisão dos tempos por parte do sistema, para esse teste foram gravados vídeos com velocidade de 240 *frames* por segundos e assistidos em um editor capaz de verificar a quantidade de quadros. A Figura 28 ilustra a passagem do receptor infravermelho de forma manual e o ponto onde foi considerado o início e término dos tempos da câmera.

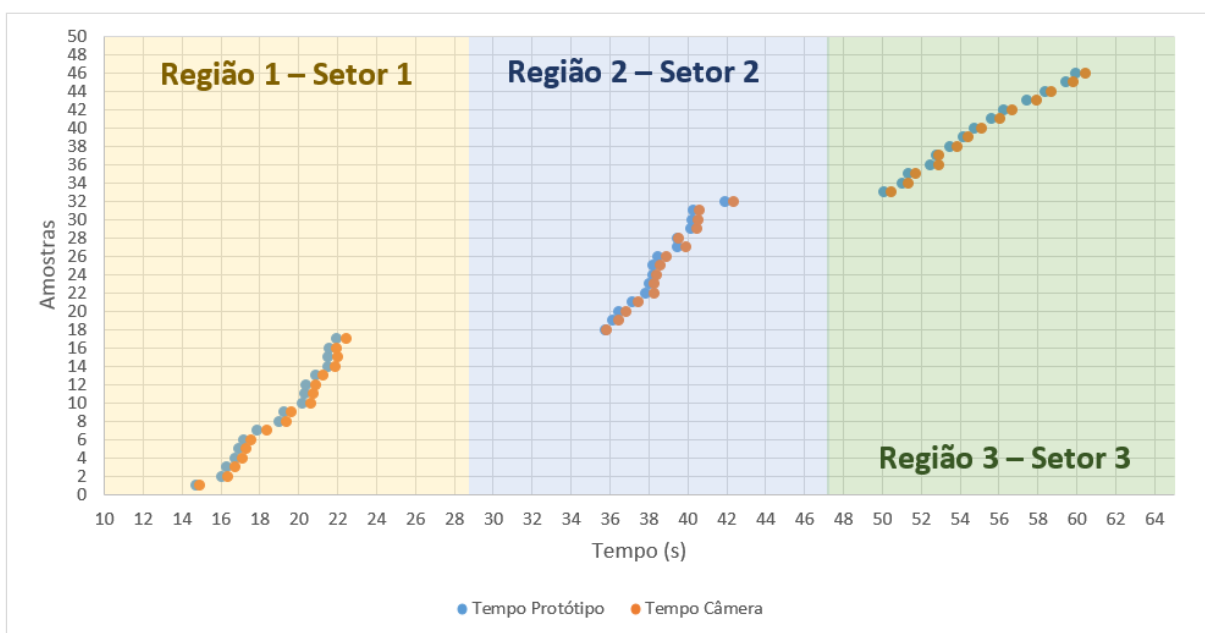
Figura 28 - Passagem do receptor infravermelho durante o teste.



Fonte: O autor.

Os resultados obtidos durante os testes estão demonstrados na Figura 29, sem considerar uma correção de erro sistemático na detecção por parte do sistema. Foram feitas 46 amostras de forma aleatória considerando três regiões de tempo, essas três regiões seriam em tempos aproximados de cada setor. No gráfico são plotados os valores do protótipo e os tempos calculados pela câmera.

Figura 29 - Gráfico contendo os tempos do protótipo e da câmera.

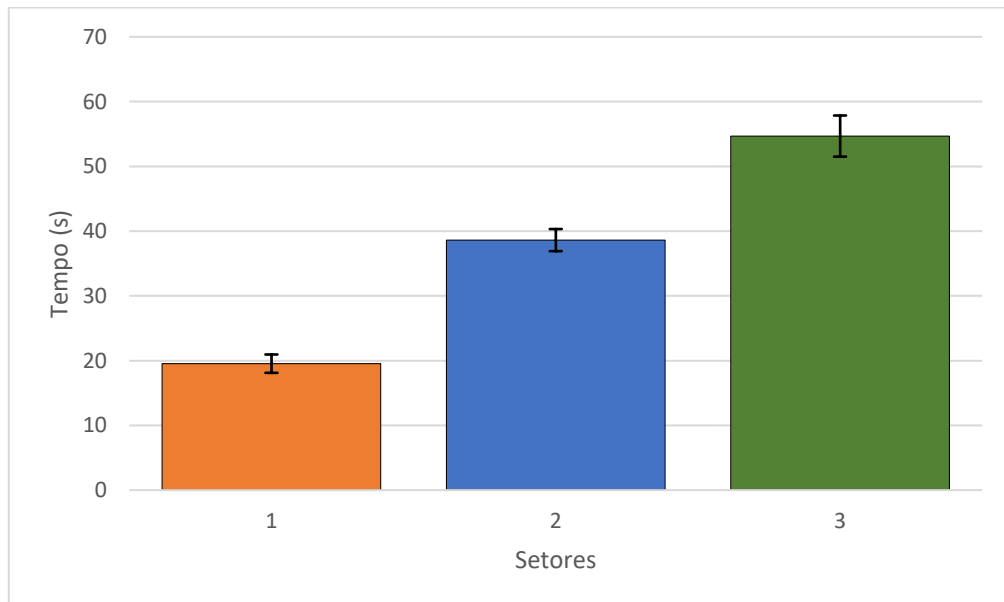


Fonte: O autor.

Para os valores obtidos durante o teste foi obtido o valor de 0,523 s como a maior diferença entre os dois sistemas de medida, o que representa um erro relativo de 2,5%. Foi obtida uma diferença média de 0,360 s entre as medidas feitas dos dois sistemas. O valor de fundo de escala foi de 60,414 s para a câmera e 59,922 s para o protótipo, obteve-se com uma diferença de 0,492 s, ou seja erro relativo de 2,3% para o valor de fundo de escala.

Foi calculada uma média de tempo para as medidas feitas pelo protótipo para cada setor, o setor 1 teve uma média de 19,531 s e o desvio padrão de 1,417 , o setor 2 teve uma média de 38,612 s e o desvio padrão de 1,706 , o setor 3 teve uma média de 54,676 s e o desvio padrão de 3,176. A Figura 30 ilustra os valores médio e o desvio padrão das médias obtidas pelo protótipo.

Figura 30 - Gráfico contendo as médias e o desvio padrão dos tempos separados por setores.

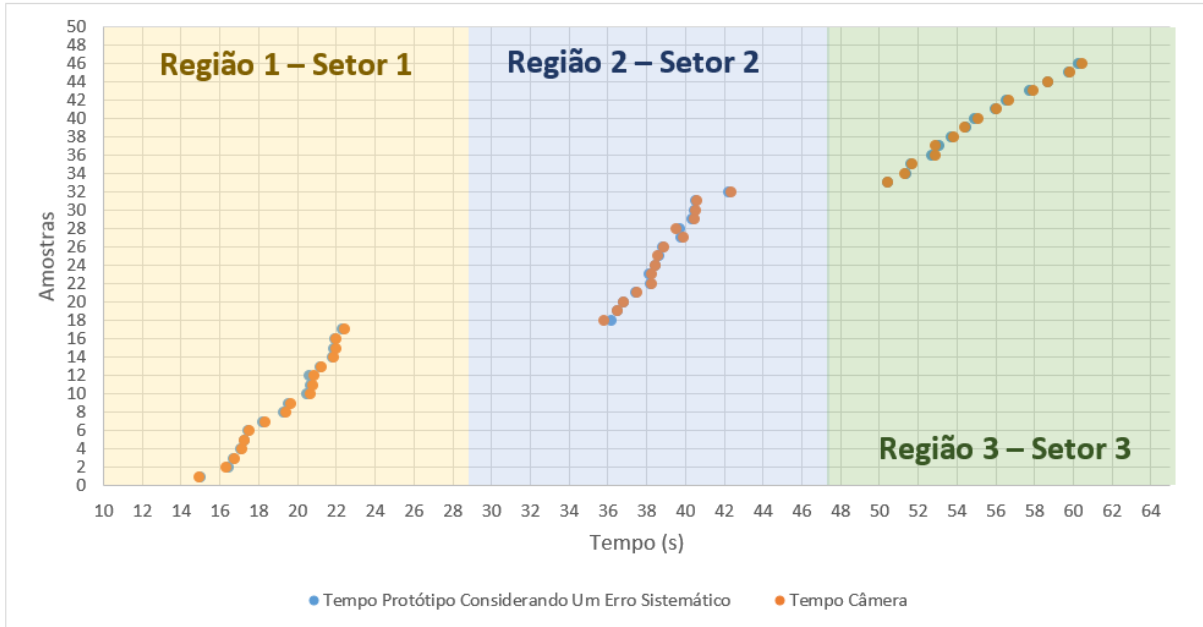


Fonte: O autor.

Considerando que a cronometragem feita através da câmera possui o mesmo ponto de início e final, linha amarela, e a cronometragem feita pelo sistema considera um intervalo, linhas pretas, o início e fim da cronometragem pode ocorrer em pontos diferentes, foi então calculado a diferença de tempo com a finalidade de equiparar os pontos de detecção dos dois métodos. Para o cálculo desta diferença foi considerando as velocidades da primeira e da segunda passagem, a partir dessa velocidade e da distância entre o intervalo de detecção do sistema foi calculado o tempo que o sensor percorre essa distância, esse tempo foi somado ao tempo do sistema, o que resultou na Figura 30 que

ilustra os tempos do sistema com os tempos do sistema somados ao delta calculado e os tempos da câmera.

Figura 31 - Gráfico com os tempos da câmera e do sistema somado a diferença calculada.

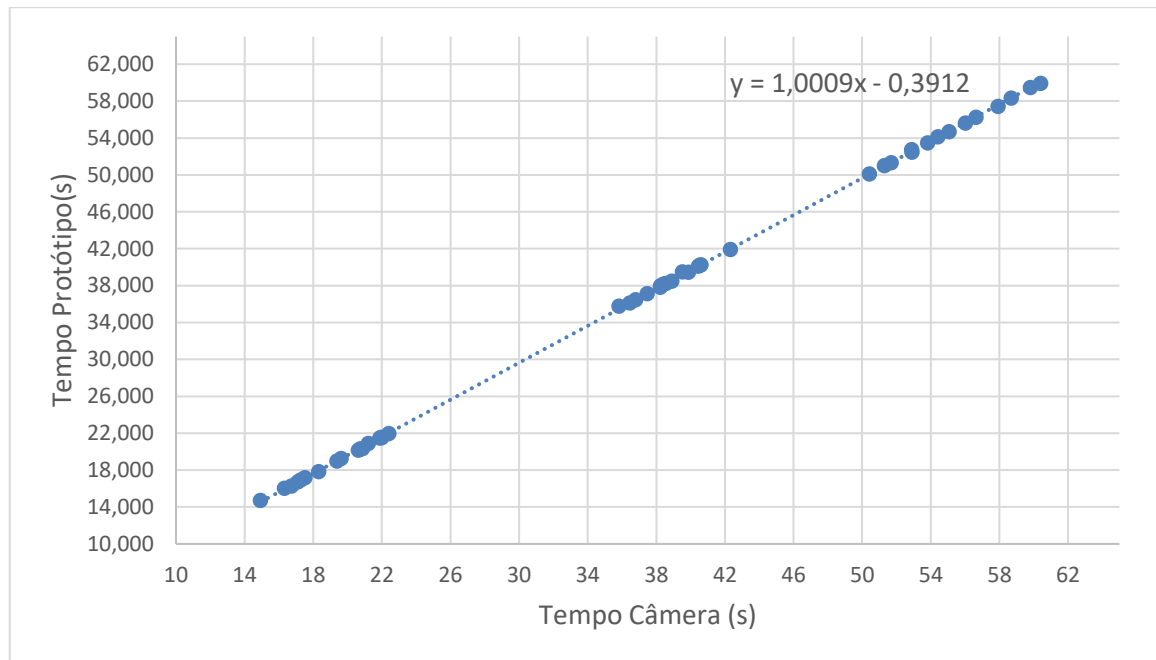


Fonte: O autor.

Para os valores obtidos durante o acréscimo do erro sistemático foi obtido o valor de 0,352 s como a maior diferença entre os dois sistemas de medida, com um erro relativo de 0,98%. Foi obtida uma diferença média de 0,051 s entre os valores obtidos dos dois sistemas. O valor de fundo de escala foi de 60,414 s para a câmera e 60,278 s para o protótipo, com uma diferença de 0,136 s, e o do erro relativo de 0,39 % referente ao valor de fundo de escala.

Foi traçado então a expressão da curva característica pelo método de regressão linear para os valores obtidos dos tempos dos valores do protótipo e os tempos calculados para a câmera, sendo plotado então um gráfico do Tempo do Protótipo X Tempo da Câmera, o qual é ilustrado na Figura 32.

Figura 32 - Gráfico com os tempos do Protótipo X Câmera.

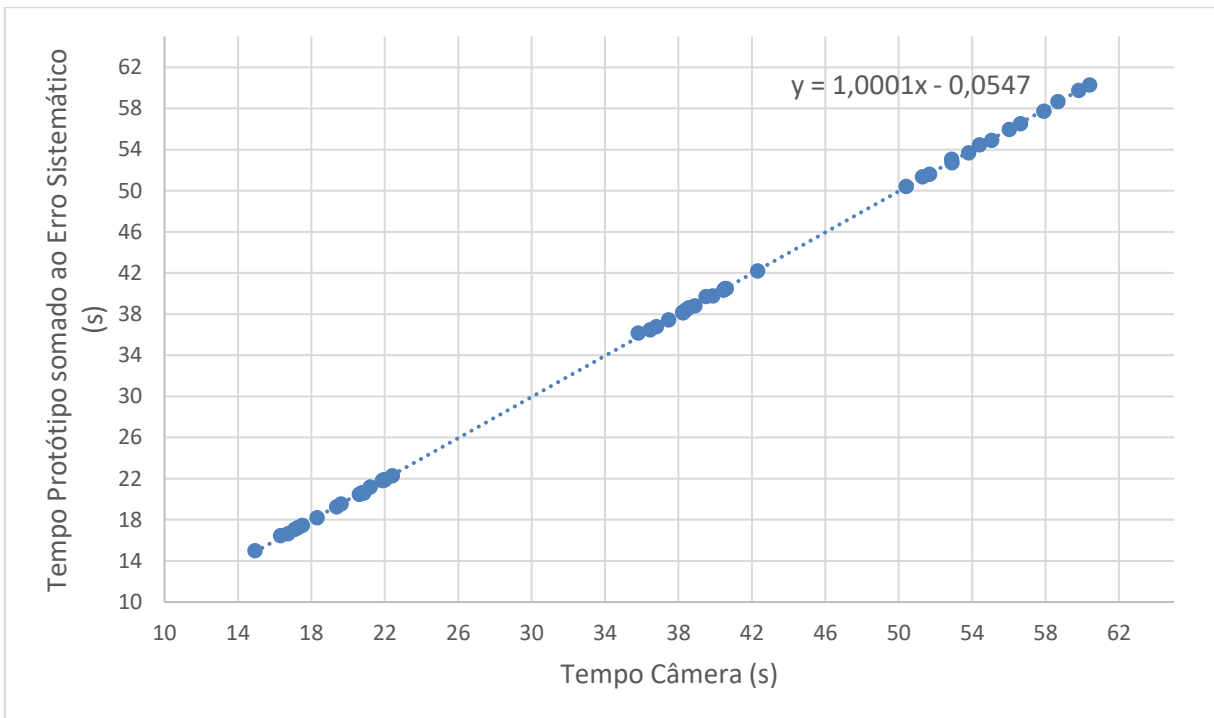


Fonte: O autor.

Foi obtido um erro absoluto de 0,317 s (erro relativo 0,88 %) no ponto de maior diferença entre o valor obtido e a regressão, com um erro absoluto de 0,153 s e um erro relativo 0,25 % em relação ao fundo de escala. A média de erro relativo de todos os valores foi de 0,13%.

Para os valores obtidos do protótipo somados ao erro sistemático foi traçado um gráfico contendo a regressão linear referente ao Tempo do Protótipo somado o erro sistemático X Tempo da Câmera, qual é ilustrado na Figura 33.

Figura 33 - Gráfico com os tempos do Protótipo considerando correção de erro sistemático X Câmera.



Fonte: O autor.

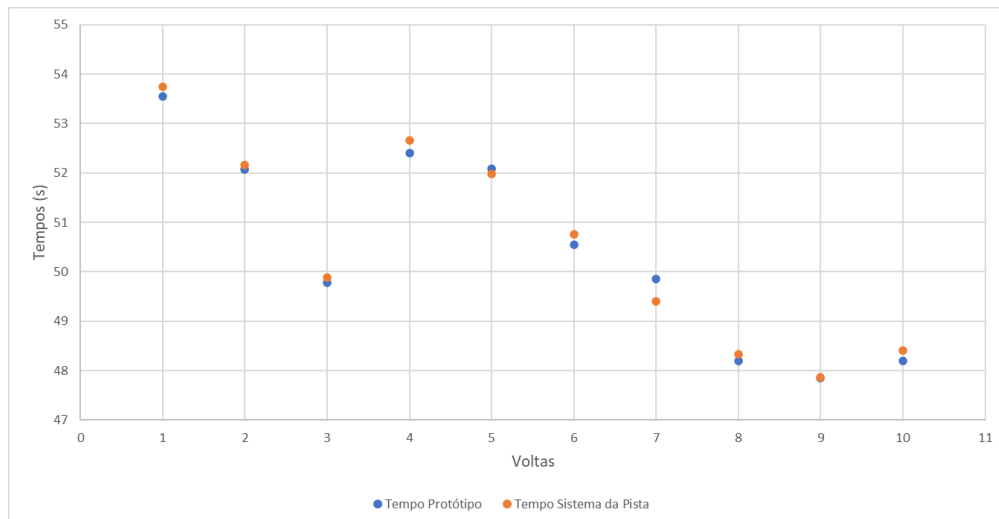
Foi obtido um erro absoluto de 0,232 s e um erro relativo 0,58 % no ponto de maior diferença entre o valor obtido e a regressão, com um erro absoluto de 0,087 s e um erro relativo 0,14 % em relação ao fundo de escala. A média de erro relativo de todos os valores foi de 0,09%.

Analisando a Figura 29 é possível verificar que os valores obtidos são próximos (2,3% erro máximo relativo ao fundo de escala). Na Figura 31 é possível observar que quando se é adicionado um erro sistemático, temos valores mais próximos. Como a repetição de valores é difícil de ser feita por depender de um fator humano para começar e parar a contagem, fica difícil o cálculo de incerteza do tipo A. Para se conseguir calcular a incerteza seria necessário uma ampliação dos testes em uma faixa de operação mais ampla, juntamente com um sistema que permita reproduzir condições de forma controlada. Observando as duas figuras também é possível verificar que o tempo da câmera é predominantemente maior que o do protótipo, a Figura 29 deixa isso mais claro, essa predominância já era esperada visto que o cronômetro do protótipo pode estar sendo disparado após passar a linha amarela e parar antes de passar a linha amarela. Embora se tenha adicionado um erro sistemático, essa diferença ainda ocorre, porém reduzido (0,352 s no ponto de maior diferença).

4.2 TESTE DO PROTÓTIPO EM CAMPO

Os tempos de volta cronometrados pelo sistema durante as voltas de classificação e corrida apresentaram algumas falhas. Devido à grande incidência de luz no local durante as voltas, ocorreram interferências durante a recepção dos sinais infravermelhos, a Figura 8 deste relatório ilustra a grande quantidade de janelas em volta da pista, a detecção dos tempos no setor 2 foi a mais afetada pela interferência devido o emissor estar próximo das janelas. O alto nível de vibração do kart pode ter afetado também a detecção dos tempos. Das 30 voltas totais feitas pelos dois pilotos foi possível utilizar 19 voltas para comparação com o sistema de cronometragem da pista, 10 voltas do piloto 1 e 9 voltas do piloto 2. A Figura 34 ilustra a comparação de tempo entre o sistema desenvolvido e o sistema de cronometragem da pista referentes às voltas do piloto 1.

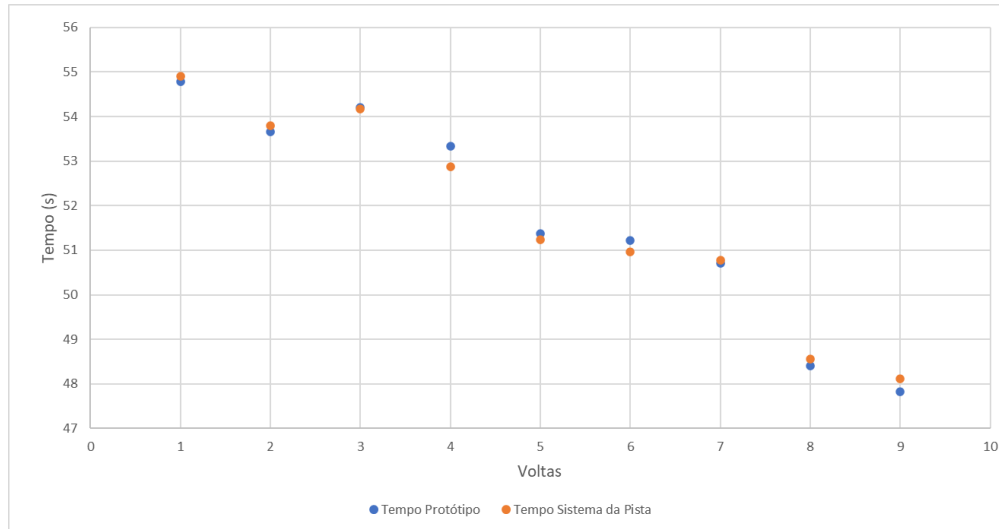
Figura 34 - Gráfico dos tempos de volta do piloto 1.



Fonte: O autor.

A Figura 35 ilustra a comparação de tempo entre o sistema desenvolvido e o sistema de cronometragem da pista referentes às voltas do piloto 2.

Figura 35 - Gráfico dos tempos de volta do piloto 2.

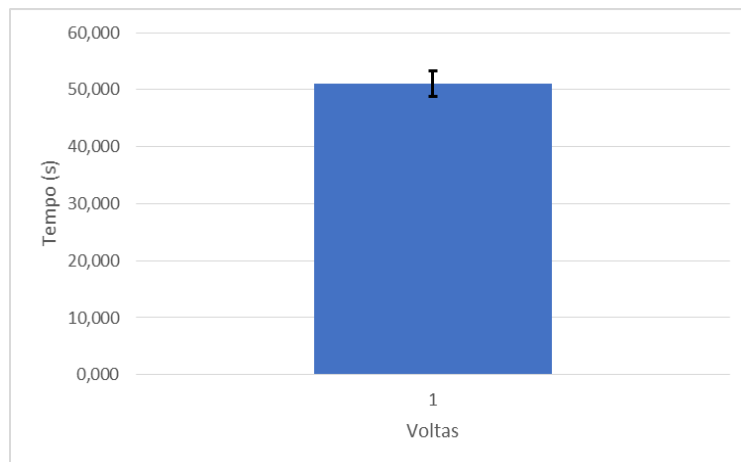


Fonte: O autor.

Analisando os resultados dos testes em campo foi possível identificar o valor de fundo de escala para o sistema do piloto 1 de 53,550 s e 54,780 s para o sistema do piloto 2. A diferença máxima que ocorreu para os dois sistemas de cronometragem foi de 0,461s para o piloto 1 e 0,378 s para o piloto 2. A diferença do valor de fundo de escala foi de 0,201 s para o piloto 1 e 0,175 para o piloto 2.

Para os tempos de volta obtidos pelo protótipo foi obtida uma média geral de 51,099 s e o desvio padrão de 2,234 s. A Figura 36 ilustra a média de tempo de volta juntamente com o desvio padrão.

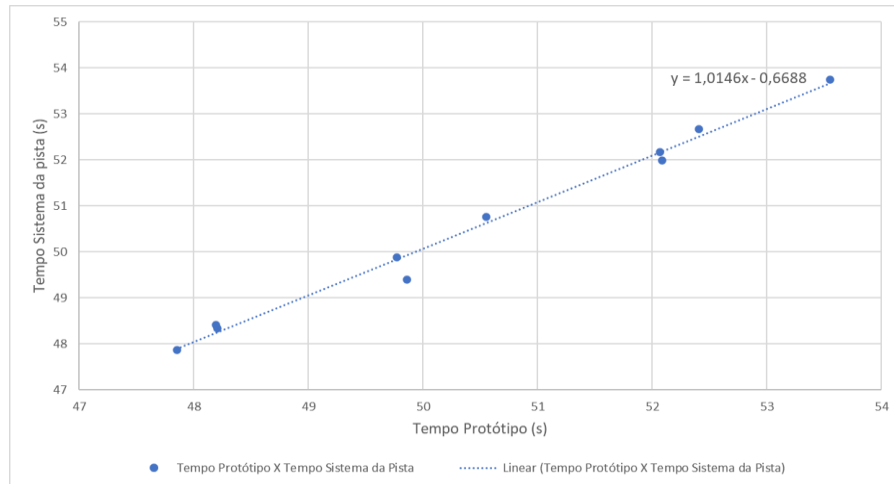
Figura 36 - Gráfico contendo a média e o desvio padrão dos tempos de volta.



Fonte: O autor.

Foi traçado então a expressão da curva característica pelo método de regressão linear para os valores obtidos do piloto 1, sendo plotado então um gráfico do Tempo do Protótipo X Tempo do Sistema da pista, o qual é ilustrado na Figura 37.

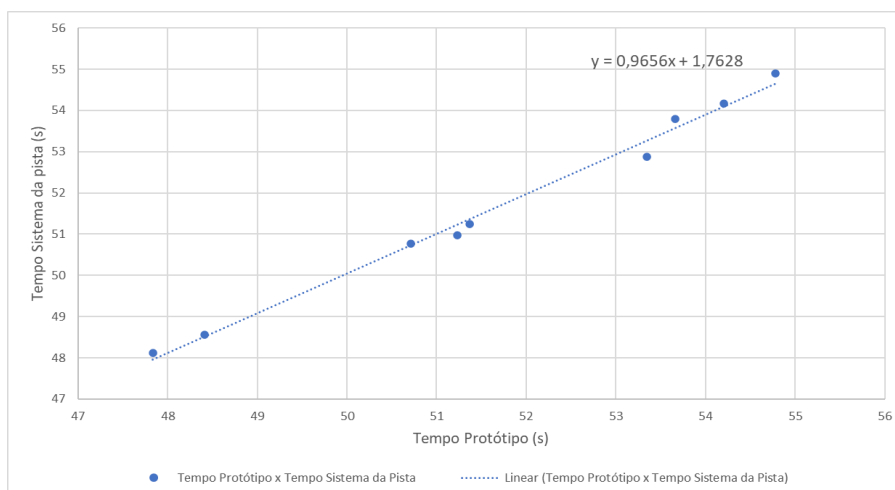
Figura 37 - Gráfico do tempo do protótipo x tempo do sistema da pista, referente ao piloto 1.



Fonte: O autor.

O mesmo procedimento de cálculo foi feito para o piloto 2, resultando no mesmo gráfico do Tempo do Protótipo X Tempo do Sistema da pista, gráfico que é ilustrado na Figura 38.

Figura 38 - Gráfico do tempo do protótipo x tempo do sistema da pista, referente ao piloto 2.



Fonte: O autor.

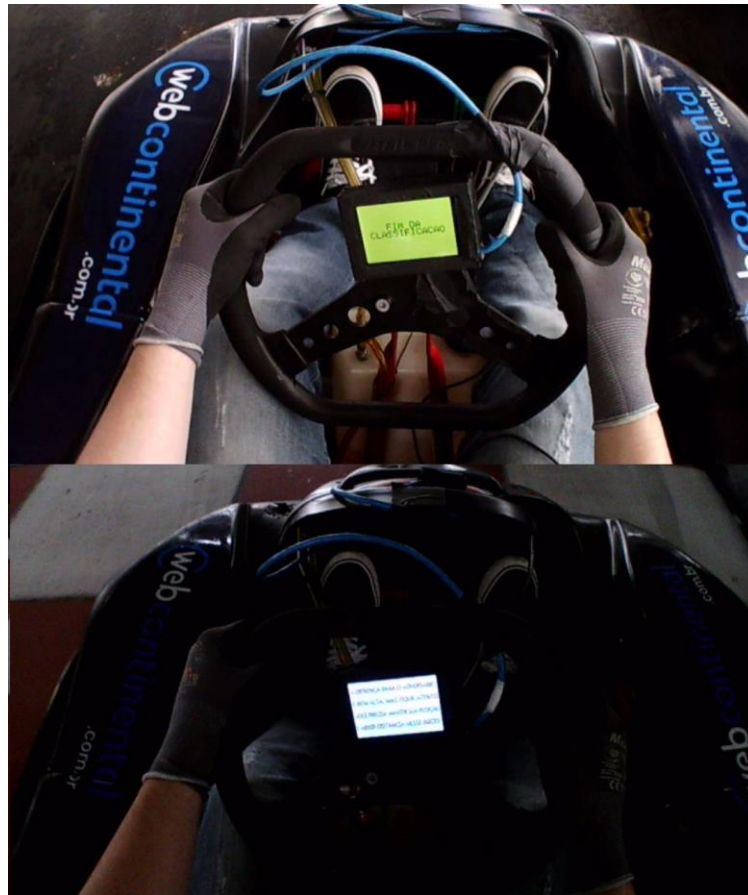
Para o piloto 1 foi obtido um erro absoluto de 0,409 s e um erro relativo de 0,82% para a maior diferença obtida, com um erro absoluto de 0,248 s e um erro relativo de 0,51%

para o valor de fundo de escala. Para o piloto 2 foi obtido um erro absoluto de 0,270 segundos e um erro relativo de 0,52% para a maior diferença obtida, com um erro absoluto de 0,170 s e um erro relativo de 0,35% para o valor de fundo de escala.

Os valores cronometrados durante os testes em campo trazem uma similaridade com os testes em bancada. É possível observar uma linearização dos valores comparando as tecnologias de cronometragem, porém diferente dos testes em bancada não se tem mais um padrão de qual tecnologia tende a ter um tempo maior que a outra. Analisando as figuras 34 e 35 é possível observar que algumas cronometragens feitas pelo protótipo são maiores que as do sistema da pista, porém em outras medidas é o contrário. Isso ocorre pelo fato dos dois sistemas terem um intervalo de detecção e também por possíveis reflexões da luz infravermelha, já que esse não é um ambiente controlado, ainda assim os resultados obtidos são bem próximos. Não se tem um relatório detalhado dos possíveis erros de medições do sistema da pista, desta forma não se tem como identificar se as diferenças de tempo entre as tecnologias são relevantes.

O sistema de assistência funcionou de forma correta, no fim das voltas de classificação foram repassadas aos pilotos mensagens informando o seu desempenho comparado ao piloto adversário e durante a corrida os pilotos receberam informações por áudio. Na Figura 39 é possível visualizar o piloto recebendo uma mensagem de fim de classificação e posteriormente uma mensagem visual, devido ao alto brilho e a baixa qualidade da câmera de ação que captou esses momentos fica difícil a leitura, porém o piloto conseguiu ler com nitidez a mensagem.

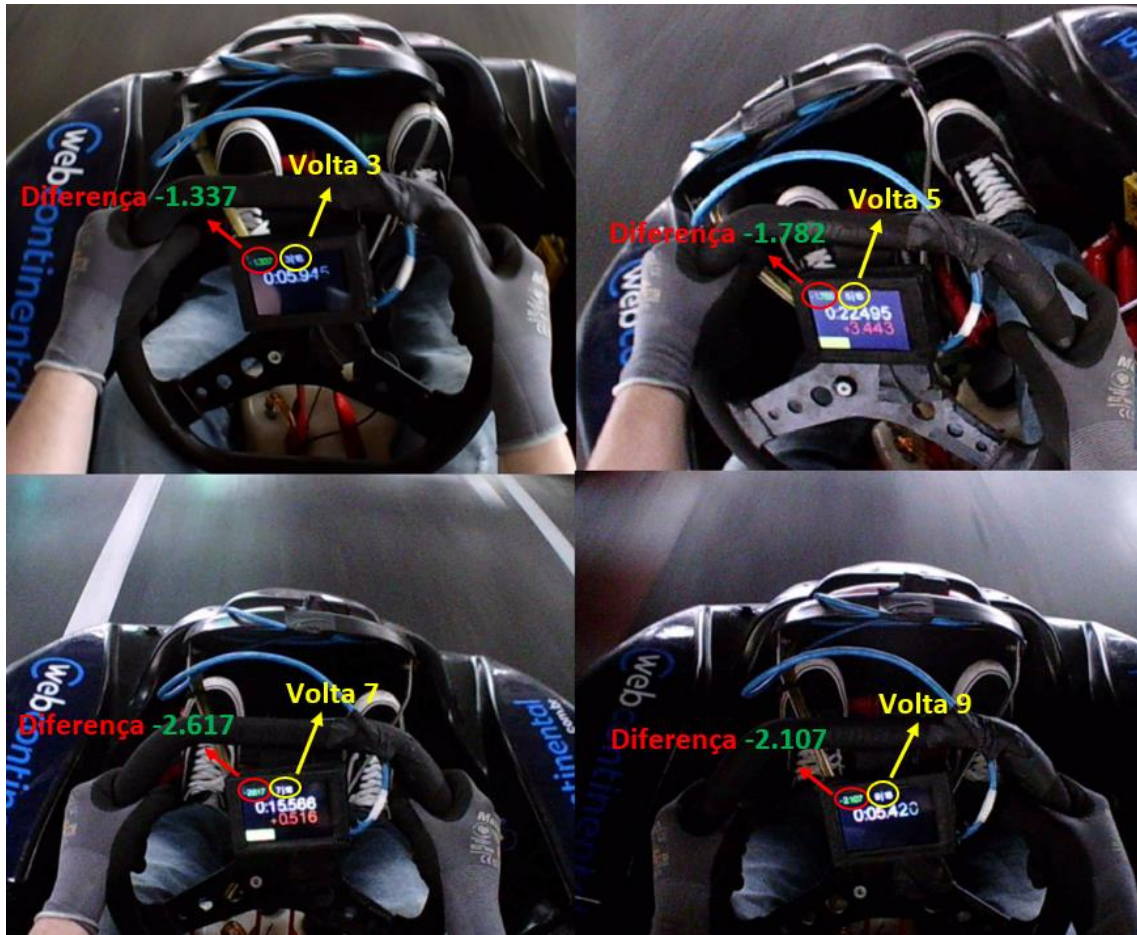
Figura 39 - Piloto recebendo mensagem do sistema durante a corrida.



Fonte: O autor.

Durante o teste os sistemas dos dois karts enviavam e recebiam mensagens informando os tempos dos pilotos. Durante as voltas de classificação algumas mensagens não foram repassadas, esse fato se deu pela grande distância entre os dois carros, porém não houve impacto no resultado final de classificação. Quando acabaram as voltas de classificação os dois karts se encontram para a largada e para receberem as mensagens de auxílio, nesse momento de aproximação ocorre um constante repasse de informações de um kart para o outro para recuperar mensagens perdidas durante as voltas de classificação. Durante a corrida não ocorreu esse problema de comunicação entre os dois carros, devido à proximidade dos karts. É possível verificar na Figura 40 a diferença de tempo para o kart atrás mudar conforme as voltas passam.

Figura 40 - Diferença de tempo para o adversário mudando conforme as voltas passam.



Fonte: O autor.

Ao final da corrida os pilotos fizeram alguns comentários a respeito do sistema; o sistema foi bem avaliado na opinião deles. O áudio realmente ajuda visto que fica difícil lembrar como foi o desempenho deles nas voltas anteriores e quais setores eles foram melhores em relação ao adversário. Assim em geral o áudio ajudou para trazer um resumo da corrida. As mensagens informadas antes da corrida ajudaram a descobrir o traçado ideal em algumas curvas, e que o traçado que eles achavam que era o melhor estava errado. Um exemplo disso é o traçado da curva 3 e 4 ilustrado na Figura 14 deste relatório. As mensagens de alerta informadas ao final das voltas classificatórias também serviram para prevenir exageros, como por exemplo as mensagens sobre as possíveis consequências de uma rodada que poderiam ser de perder a corrida. A cronometragem durante a corrida ajudou bastante para saber o desempenho, porém as voltas em que os tempos não eram marcados acabavam atrapalhando. O piloto 2 comentou que algumas vezes o *display* desligava e voltava a operação normal, isso ocorria em partes do circuito em que havia alta

trepidação do kart.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou o processo de desenvolvimento de um sistema para a aquisição de tempos de voltas para carros de corrida, bem como um sistema que avalia o desempenho do piloto que guia esse carro e auxilia o mesmo, além de utilizar informações do desempenho dos adversários para obter um melhor desempenho.

Observando que os valores obtidos pelo sistema desenvolvido comparado a outros métodos de cronometragem obteve-se resultados satisfatórios. Os valores obtidos no teste em bancada mostraram que há um funcionamento correto do sistema, a diferença média de 0,051 s entre as duas tecnologias, considerando um erro sistemático, revela que o protótipo é capaz de chegar a uma alta precisão. Entendendo as possíveis dificuldades de se cronometrar tempo utilizando infravermelho, ainda assim temos resultados próximo de outras tecnologias que exigem um investimento maior, por se tratar de um sistema de baixo custo, os materiais tiveram resultados positivos. Os erros obtidos durante o teste prático são positivos para entender em quais quesitos são necessários investimentos para se ter maior confiabilidade e precisão.

A comunicação entre os carros via WiFi teve resultado positivo, porém com uma quantidade maior de carros possivelmente ocorreriam falhas, seria necessária a montagem de uma rede WiFi com modems de maior alcance para evitar essas falhas.

O layout do sistema de comunicação com o piloto foi desenvolvido com base em outros sistemas presentes no mercado juntamente com o de grandes categorias do automobilismo. Os auxílios foram desenvolvidos pensando em se ter um rápido entendimento por parte do piloto, porém alguns termos, cores e funcionamento dependem de uma pequena convivência com o esporte.

A facilidade na instalação do sistema é um ponto positivo, isso torna o sistema prático. Comparando com o sistema da pista o protótipo traz muitas vantagens, em uma possível falta de energia o sistema ainda funcionaria, não há necessidade de colar ou penetrar um laço indutivo na pista, além de ter mais de um ponto de detecção e poder modificar ele a qualquer momento. Somando esses fatores ao fato do piloto saber o tempo de volta com uma volta de antecedência, o sistema desenvolvido se torna uma boa opção para os kartódromos.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Os resultados apresentados neste trabalho demonstram que há possibilidade de melhoria no sistema desenvolvido. A começar pela melhora na aquisição dos tempos por parte dos sensores, o que traria maior confiabilidade e informações ao sistema. O aumento de testes possibilitaria uma compreensão da efetividade de cada mensagem repassada ao piloto e a melhoria de desempenho que ela traz.

A proposta do trabalho foi aplicada em pilotos amadores, porém a aplicação do sistema com pilotos profissionais possibilitaria aprofundar o sistema. Com um aumento de sensores seria possível avaliar outros dados além do tempo para entender onde o piloto está errando e o que pode ser feito para melhorar o seu desempenho.

Um novo trabalho envolvendo um experimento para se conseguir calcular a incerteza seria de grande contribuição. É necessário uma ampliação dos testes em uma faixa de operação mais ampla juntamente com um sistema que permita reproduzir condições de forma controlada para se conseguir calcular a incerteza do tipo A.

Por fim, o aumento de protótipos em aplicação também traria resultados interessantes, visto que a tendência do sistema é ter mais disputas entre os pilotos na pista. A aplicação do sistema em outras categorias do automobilismo traria uma contribuição significativa.

6 REFERÊNCIAS

- ABNT, *Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade*, Rio de Janeiro, 1994.
- ALMEIDA, Rildo Afonso; SILVA, Gesiel Almeida Oliveira; FELIX, João Paulo Santos; GUIMARÃES, Emerson Carlos. *Sistema de monitoramento do consumo de energia elétrica utilizando a tecnologia Arduino*. Brazilian Journal of Development, [S. l.], p. 72961-72984, 21 jul. 2021.
- BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner João. *Instrumentação e Fundamentos de Medidas*. 2. ed. Rio de Janeiro: GEN, 2011. 403 p. v. Volume 1. ISBN 978-85-216-1754-9.
- BANNATYNE, Ross; VIOT, Greg. *Introdução aos microcontroladores. Divisão de Transporte, Setor de Produtos Semicondutores da Motorola*, [S. l.], 6 ago. 1997.
- BISSOLI, Alexandre; FERRARA, Flavio; SILVEIRA, Mariana; FILHO, Teodiano Bastos. *Interação com o Ambiente e Comando de Equipamentos por Infravermelho para Cadeiras*. - Milão, Italia., [S. l.], 2013.
- BRANCO, Henrique. Overfitting e underfitting em machine learning. <https://abracd.org/overfitting-e-underfitting-em-machine-learning/>, 2020. Online; Acesso em: 21 set. 2022.
- CAVALCANTE, Marisa Almeida; RODRIGUES, Thais Tokashiki Tavares; BUENO, Darlene Andrea. *Controle Remoto, princípio de funcionamento*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, [S. l.], p. 554-565, 2013.
- CERQUEIRA, Gabriel Muniz; PINHEIRO, Isabelle Matos; LIMA, Igor Alexandre; JESUS, Raimundo Jorge Abreu; SOUZA, Antonio Carlos dos Santos. *Sistema Embarcado para transferência de sinais vitais usando o padrão Health Level 7 (HL7)*. Brazilian Journal of health Review, [S. l.], p. 684-705, 31 jan. 2020.
- CUQUERELLA, Toni. *Os dados que transformam a Fórmula 1: é assim que se ganha uma corrida hoje em dia*. [S. l.], 31 jul. 2021. Disponível em: <https://www.universia.net/br/actualidad/orientacionacademica/os-dados-que-transformam-a-formula-1-e-assim-que-se-ganha-uma-corrida-hoje-em-dia.html>. Acesso em: 24 jun. 2022.
- FONSECA, Andrei. *Técnicas de Pilotagem*. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.3wideclub.com/escola-de-pilotagem-virtual-capitulo-5/#:~:text=%C3%89%20importante%20entrar%20cedo%20e,movimentos%20bruscos%20que%20gerem%20ro> dados. Acesso em: 11 ago. 2022.
- GOURIBHATLA, Raghuveer; PULUGURTHA, Srinivas S. *Comportamento dos motoristas ao dirigir veículos com ou sem sistemas avançados de assistência ao motorista: Um estudo baseado em simulador de motorista*. [S. l.], 8 jan. 2022.
- GOURIBHATLA, Raghuveer; PULUGURTHA, Srinivas S. *Comportamento dos*

motoristas ao dirigir veículos com ou sem sistemas avançados de assistência ao motorista: Um estudo baseado em simulador de motorista: Perspectivas Interdisciplinares de Pesquisa em Transporte. [S. l.: s. n.], 2022. cap. 13.

GRAHAM, Robert M. *Calibration Techniques for Stopwatches and Timers.* Proc. 2003 National Conference of Standards Laboratories (NCSLI), 6 p., August 2003.

GUST, Jeff C.; GRAHAM, Robert M.; LOMBARDI, Michael A. *Cronômetro e Calibrações do temporizador: Guia de Prática.* [S. l.: s. n.], 2009.

KOLAJA, Jan; EHLEROVA, Jana Kolaja. *Eficácia do sistema RFID de cronometragem esportiva, estudo de campo.* Conferência Internacional sobre Tecnologia RFID e Aplicativos (RFID-TA 2019): [s. n.], 2019.

LIMA, Daniel Hermom de Oliveira. *Estudo comparado do Microcontrolador Atmega328p: Utilização com cristal interno vs. cristal externo.* Curso de Tecnologia em Manufatura Avançada, [S. l.], 2021.

LOMBARDI, Michael A. *Legal and Technical Measurement Requirements for Time and Frequency.* National Institute of Standards and Technology, [S. l.], 2006.

NETO, Vicente Machado; GONÇALVES, Felipe Gabardo; SOUSA, Maria Augusta Alves. *Frequência de operação de microcontroladores comerciais.* Congresso Brasileiro de Metrologia, 2015.

OKI, Nobuo; MANTOVANI, Suely Cunha Amaro. *Microcontroladores -PIC.* TEEE I-Projeto de Robôs Móveis , [S. l.], 2013.

ORELL, Jenny; UDDEBORG, Ulrika. *Designing Driver Assistance for Racing Games Guidelines for creating driver assistance for aiding less experienced players.* Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciência da Computação e Engenharia) - [S. l.], 2019.

POWELL, Nicholas; LUMSDEN, Jo. *Explorando novos displays auditórios para suporte aquisição acelerada e aprimorado de competências desempenho no motorsport:* Conferência Internacional sobre Exibição Auditiva. In: Graz, Áustria. [S. l.: s. n.], 2015.

PUHLMANN, Henrique Frank Werner. *Sistemas Operacionais de Tempo Real -Timers.* Instituto de Pesquisas Tecnológicas, [S. l.], 2014.

REZENDE, S. *Materiais e Dispositivos Elétricos.* Livraria da Física, São Paulo, 2ª edition, 2004.

SENNA DA SILVA, Ayrton. *Guidare in Pista.* [S. l.: s. n.], 1991.

SINCLAIR, Ian. *Sensors and Transducers.* Third Edition. ed. [S. l.: s. n.], 2001.

SILVA, Bruno Lima. *Sistema de medição não invasiva de glicose sanguínea baseado em princípios de espectroscopia de infravermelho próximo.* Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2017.

STRAND, Stephen. Análise de desempenho do motorsport: uma abordagem espacial-temporal. 2015. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual da Califórnia Long Beach, [S. l.], 205.

SYSTEMS, E. *ESP32 Series datasheet*. 2022.

TSUI, C. M.; YAN, Y. Kk; CHAN, H. M. *Calibration of Stopwatches by Utilizing High Speed Video Recordings and a Synchronous Counter*. *The Journal of Measurement Science*, [S. l.], p. 64-71, 13 may. 2016.

VERONESE, P. R. *Osciladores*. SEL-EESC-USP, [S. l.], 2022.

WEBER, Eugene. *França Fin de Siècle*. São Paulo: Companhia das Letras, 1988.

WHAT Manufacturers Can Learn From Formula One's Industrial Optimization Model. [S. l.], 6 jul. 2020. Disponível em: <https://www.tibco.com/blog/2020/07/06/what-manufacturers-can-learn-from-formula-ones-industrial-optimization-model/>. Acesso em: 8 ago. 2022.

WILSON, Ming. *Medição de temperatura*. In: WILSON, Ming. *Anestesia e Medicina Intensiva*. Edição 3 . ed. [S. l.], março de 2021. v. Volume 22, p. 202-207.

WOELLIK, H.; MUELLER, A.; HERRIGER, J. *Sistema permanente de cronometragem RFID em um estádio de atletismo para fins de treinamento e análise*. Conferência de 2014 da Associação Internacional de Engenharia Esportiva: [s. n.], 2014.