

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
CURSO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA

GUILHERME LICZIKOVSKI DE LIMA

VISUALIZAÇÃO DE DADOS EM TEMPO REAL PARA VEÍCULOS DE COMPETIÇÃO  
COM ÊNFASE NA MELHOR VOLTA

Joinville  
2024

GUILHERME LICZIKOVSKI DE LIMA

VISUALIZAÇÃO DE DADOS EM TEMPO REAL PARA VEÍCULOS DE COMPETIÇÃO  
COM ÊNFASE NA MELHOR VOLTA

Trabalho apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecatrônica, no Curso de Engenharia Mecatrônica, do Centro Tecnológico de Joinville, da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Dr. Ricardo José Pfitscher

Joinville

2024

Este trabalho é dedicado ao meu pai, à minha mãe, ao meu irmão e meus colegas.

## **AGRADECIMENTOS**

Começo agradecendo a Deus, pois Ele foi a minha força durante todo esse período, foi o meu sustento em toda caminhada e proporcionou-me finalizar este trabalho. Sem sua bondade e luz, jamais estaria apto a finalizar esta etapa.

Agradeço ao meu pai, Claudemir, por acreditar em mim desde o começo e por ter me incentivado a continuar, sendo sempre um grande exemplo. Agradeço à minha mãe, Josefa, por todo o esforço e suporte nessa longa etapa, nunca medindo esforços para me ajudar em todos os momentos em que precisei. Agradeço ao meu irmão, Henrique, por sempre estar comigo, me motivando em todos os momentos e sendo um grande auxílio nessa jornada. Agradeço aos demais familiares por todos os momentos em que me encorajaram e me ajudaram a progredir, sendo sempre um grande apoio.

Agradeço aos meus amigos da faculdade que auxiliaram nas dificuldades que surgiram ao longo da graduação, sempre tornando os momentos difíceis mais alegres. Agradeço aos meus amigos do grupo de jovens, Luz das Nações, por sempre estarem comigo e compreenderem todas as dificuldades, me auxiliando a superá-las.

Agradeço ao professor Ricardo José Pfitscher, pela orientação no trabalho e toda a atenção prestada ao longo da execução desse projeto. Também agradeço aos professores da banca por aceitarem participar da avaliação.

Sem cada um de vocês não seria possível a execução desse trabalho, vocês foram essenciais para que tudo acontecesse da melhor forma. Meus sinceros agradecimentos.

*“ Disciplina, trabalho duro e o vosso talento. ”*

Abel Ferreira

## RESUMO

Diversas associações e empresas promovem competições universitárias na área automotiva visando desenvolver as habilidades dos estudantes de graduação e aproximá-los de situações presentes no mercado de trabalho, como a Fórmula SAE, Baja SAE e Shell Eco-Marathon Brasil. Nessas competições, os pilotos das equipes universitárias precisam otimizar o tempo gasto para vencerem os desafios, para isso, possuem diversos recursos para coletar os dados ao longo da prova e analisar os erros e acertos durante a corrida. Contudo, esses dados são, geralmente, apresentados em números ou em gráficos que podem dificultar a tomada de decisão rápida pelo piloto das equipes de competição, viabilizando somente a análise posterior das informações. Por isso, é importante buscar uma forma de demonstrar, de maneira clara e direta, os dados recebidos pelo sistema para o piloto do carro da equipe de competição, de maneira que escolha os dados que considera importante para as decisões que serão tomadas, pois, enquanto o condutor dirige, é necessário que essas escolhas sejam feitas de forma célere. Mostra-se nesse trabalho de conclusão de curso o desenvolvimento de uma simulação que apresenta, em tempo real, as decisões tomadas pelo piloto na melhor volta, quando esse estava naquela posição da pista, além de informar se a velocidade estava acima ou abaixo da atual, melhorando o processo de tomada de decisão, uma vez que possui uma volta de referência. Para isso, desenvolveu-se um algoritmo para esse cálculo, foi definido um padrão de comunicação para o recebimento das informações e mantém-se em memória a melhor volta para apresentação ao piloto, até que haja uma volta melhor para se tornar referência. O sistema foi avaliado qualitativamente e os resultados mostram que o sistema pode melhorar o desempenho do piloto através do acesso fornecido aos dados do veículo. Também avaliou-se quantitativamente através de um protótipo, onde houve erros em 5,26% dos pontos da volta de teste.

**Palavra-chave:** visualização de posição; mapa de circuito; visualização do piloto.

## ABSTRACT

Several associations and companies promote university competitions in the automotive field to develop undergraduate students' skills and bring them closer to real-world scenarios, such as Formula SAE, Baja SAE, and Shell Eco-Marathon Brazil. In these competitions, the university team drivers must optimize the time spent overcoming challenges. To achieve this, they have various resources to collect data during the race and analyze successes and mistakes afterward. However, this data is usually presented as numbers or graphs, which can impact the driver's ability to make quick decisions during the race, enabling only post-race analysis of the information. Therefore, it is crucial to find a way to clearly and directly display the data received by the system to the competition team's driver, allowing them to choose the most relevant information for decision-making. While driving, the driver must make these choices swiftly. The purpose of this final graduation project is to develop a simulation that displays, in real-time and from a first-person perspective, the decisions made by the driver during the best lap, showing their position on the track and indicating whether the current speed is higher or lower than the reference. This aids decision-making by providing a benchmark lap as a reference. To achieve this, an algorithm was developed for this calculation, a communication standard was defined for receiving the information, and the best lap is stored in memory to present to the driver until a better lap is completed and becomes the new reference. The system was qualitatively evaluated, and results demonstrate that it can improve driver performance by providing access to vehicle data. Quantitative evaluation through a prototype revealed errors in 5.26% of the test lap points.

**Keywords:** position visualization; circuit map; pilot view.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – HUD da empresa Sygic . . . . .	19
Figura 2 – Simulador de HUD para piloto . . . . .	20
Figura 3 – Exemplo de Gran Turismo 5 . . . . .	20
Figura 4 – Visualização superior do trajeto do veículo . . . . .	22
Figura 5 – Sistema de comunicação visual durante as voltas de classificação e corrida . . . . .	23
Figura 6 – Diagrama de comunicação geral . . . . .	24
Figura 7 – Diagrama de fluxo de dados . . . . .	25
Figura 8 – Exemplo dos dados gerados . . . . .	27
Figura 9 – Diagrama de fluxo de <code>EscreveDados.py</code> . . . . .	27
Figura 10 – Diagrama de fluxo de <code>LeDados.py</code> . . . . .	28
Figura 11 – Exemplo de geração de segmento de reta para formar as regiões .	31
Figura 12 – Exemplo de volta com a geração dos pontos para as regiões . . . .	32
Figura 13 – Ponto atual desenhado na região da volta de referência . . . . .	32
Figura 14 – Exemplo de saída das informações mostrada no display . . . . .	34
Figura 15 – Exemplo de saída mostrada no display . . . . .	35
Figura 16 – Exemplo de saída mostrada no display . . . . .	36
Figura 17 – Exemplo de saída mostrada no display . . . . .	37
Figura 18 – Visualização de todas as voltas . . . . .	37
Figura 19 – Tela completa de visualização do piloto . . . . .	38
Figura 20 – Segunda pergunta . . . . .	40
Figura 21 – Terceira pergunta . . . . .	40
Figura 22 – Quarta pergunta . . . . .	41
Figura 23 – Quinta pergunta . . . . .	41
Figura 24 – Sexta pergunta . . . . .	42
Figura 25 – Sétima pergunta . . . . .	42
Figura 26 – Oitava pergunta . . . . .	43
Figura 27 – Segunda volta com as regiões e pontos da primeira volta . . . . .	44
Figura 28 – Logs da segunda volta . . . . .	45
Figura 29 – Terceira volta com as regiões e pontos da segunda volta . . . . .	45
Figura 30 – Logs da terceira volta . . . . .	46
Figura 31 – Quarta volta com as regiões e pontos da terceira volta . . . . .	46
Figura 32 – Logs da quarta volta . . . . .	47
Figura 33 – Quinta volta com as regiões e pontos da terceira volta . . . . .	47
Figura 34 – Logs da quinta volta . . . . .	48
Figura 35 – Sexta volta com as regiões e pontos da terceira volta . . . . .	48

Figura 36 – Logs da sexta volta . . . . .	49
Figura 37 – Regiões com sobreposição . . . . .	49

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
1.1	OBJETIVOS	12
<b>1.1.1</b>	<b>Objetivo geral</b>	<b>12</b>
<b>1.1.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>14</b>
2.1	TELEMETRIA	14
2.2	COMUNICAÇÃO DE DADOS	15
2.3	EQUIPES DE COMPETIÇÃO UNIVERSITÁRIAS	15
<b>2.3.1</b>	<b>Shell Eco Marathon</b>	<b>16</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Competições da SAE Brasil</b>	<b>16</b>
2.4	INTERPOLAÇÕES DE PONTOS	17
2.5	INTERFACES PARA VISUALIZAÇÃO DE DADOS	17
2.6	TRABALHOS RELACIONADOS	21
<b>2.6.1</b>	<b>Racecar tracking and its visualization using sparse data</b>	<b>21</b>
<b>2.6.2</b>	<b>Development of Electric Formula SAE Real-time Telemetry Software</b>	<b>21</b>
<b>2.6.3</b>	<b>Sistema de assistência para pilotos de automobilismo aplicado para pilotos amadores de Kart</b>	<b>22</b>
<b>3</b>	<b>SISTEMA PARA LOCALIZAÇÃO E VISUALIZAÇÃO DE TRAJETÓRIA</b>	<b>24</b>
3.1	ARQUITETURA GERAL DO SISTEMA	24
3.2	AQUISIÇÃO DE DADOS	26
<b>3.2.1</b>	<b>Estrutura dos dados</b>	<b>26</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Interface de comunicação</b>	<b>26</b>
3.3	LÓGICA DE FUNCIONAMENTO	29
<b>3.3.1</b>	<b>Escrita de dados</b>	<b>29</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Leitura e processamento</b>	<b>29</b>
3.3.2.1	Parâmetros de configuração	29
3.3.2.2	Volta de referência inicial	30
3.3.2.3	Geração das regiões	30
3.3.2.4	Deteção e projecção dos pontos	31
3.3.2.5	Verificações da nova volta	33
3.4	VISUALIZAÇÃO	33
<b>3.4.1</b>	<b>Velocidades e voltas</b>	<b>34</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Projecção das posições na pista</b>	<b>34</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Cores</b>	<b>35</b>

3.5	PROTÓTIPO . . . . .	35
<b>3.5.1</b>	<b>Caracterização da base de dados . . . . .</b>	<b>36</b>
3.6	QUESTIONÁRIO . . . . .	38
<b>4</b>	<b>RESULTADOS . . . . .</b>	<b>39</b>
4.1	AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO SISTEMA . . . . .	39
<b>4.1.1</b>	<b>Primeira etapa . . . . .</b>	<b>39</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Segunda etapa . . . . .</b>	<b>40</b>
4.2	AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DO SISTEMA . . . . .	43
<b>4.2.1</b>	<b>Medições . . . . .</b>	<b>43</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Primeira e segunda volta . . . . .</b>	<b>44</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Terceira volta . . . . .</b>	<b>45</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Quarta volta . . . . .</b>	<b>46</b>
<b>4.2.5</b>	<b>Quinta volta . . . . .</b>	<b>46</b>
<b>4.2.6</b>	<b>Sexta volta . . . . .</b>	<b>47</b>
4.3	DISCUSSÕES E LIMITAÇÕES . . . . .	48
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .</b>	<b>50</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com o intuito de aprimorar, na prática, os conhecimentos teóricos adquiridos nas disciplinas ao longo da graduação, associações como a Society of Automotive Engineers (SAE) Brasil, desenvolvem competições como a Fórmula SAE Brasil, na qual os estudantes podem participar do projeto completo de um carro (SAE BRASIL, 2023a). Outro exemplo é a Shell Eco-Marathon Brasil, realizada pela empresa Shell, que visa desafiar os graduandos a desenvolverem novas soluções energéticas com dificuldades reais (Shell, 2023a), aprendendo formas de resolver problemas cotidianos na engenharia.

Esses veículos das equipes de competição apresentam a mesma tendência geral dos automóveis comerciais, com um aumento expressivo de componentes eletrônicos embarcados e dos dados gerados por esses (Navet; Simonot-Lion, 2017 apud Lauro; Bernardi, 2021). Com a utilização desses dados para compreender em quais aspectos o veículo pode ser aprimorado, análise quantitativa, e com a percepção do piloto sobre os parâmetros do automóvel ao dirigi-lo, análise qualitativa, pode-se alcançar um desempenho satisfatório na prova (Marchesin, 2012).

Em muitos casos o piloto só tem acesso aos dados do próprio desempenho ao finalizar a prova, impossibilitando que o agente da análise qualitativa una os dados quantitativos para uma tomada de decisão embasada em tempo de prova. Assim, possibilitar que o piloto tenha acesso aos dados do próprio desempenho enquanto percorre a pista pode criar a oportunidade de melhorar os tempos das voltas enquanto está na competição, alterando a maneira com que faz as curvas para se aproximar de uma volta de referência, por exemplo.

Essas informações devem ser apresentadas ao piloto de maneira visível e direta enquanto dirigem para poderem agir de modo rápido, contudo, normalmente esses dados são mostrados sem uma análise detalhada, mas simplesmente em valores. Isso foi demonstrado por Lauro e Bernardi (2021), onde a forma de visualização dos dados obtidos por telemetria caracteriza-se por gráficos ao longo do tempo, sem apresentar um mapa das posições do carro ou uma implementação das voltas percorridas.

Em Stoll *et al.* (2013), apresentam-se formas de visualizar num mapa os dados obtidos de maneira esparsa de um carro e como pode ser feita a manipulação das informações para gerar uma atualização fluida entre as posições do carro, ou seja, há uma preocupação em como demonstrar esses dados. Dessa forma, percebe-se como uma visualização dinâmica dos trajetos feitos pelo piloto podem gerar um melhor entendimento dos impactos de cada tomada de decisão efetuada pelo piloto nas manobras durante a corrida.

Vê-se em Tan (2011), que uma das formas de se apresentar essas informações é produzir um mapa do circuito contendo os principais dados sobre o carro ao longo do percurso, como velocidade, aceleração, direção do carro, potência consumida, dentre outros fatores que sejam importantes para o condutor do veículo. Nota-se ainda a importância de apresentar o tempo das melhores voltas via áudio, auxiliando o piloto no decorrer da corrida (Cunha, 2022).

Dessa forma, foi desenvolvido um algoritmo que verifica a posição atual do veículo e gera para o piloto uma visualização do que foi feito na melhor volta, com base nessa posição, possibilitando que esse condutor possa se aproximar da volta de referência e melhorar o desempenho. Seguiu-se uma abordagem semelhante ao conceito de carro *ghost* presente em jogos digitais de corrida, onde o *ghost* representa o veículo em sua melhor volta. Além disso, desenvolveu-se uma simulação dessa interface de visualização, que apresenta por característica uma visão clara das informações de velocidade e melhor volta, para o piloto poder decidir de maneira rápida o caminho que deseja seguir, bem como acelerar ou frear.

A metodologia seguida aproxima-se da apresentada por Tan (2011), onde se encontra o desenvolvimento de uma interface que visa apresentar em tempo real os dados obtidos por telemetria, via simulação ou por dados compartilhados. Porém, o enfoque maior do presente trabalho é no desenvolvimento de um algoritmo que calcula qual o ponto da melhor volta é equivalente à posição atual, além de projetar uma visualização intuitiva para o piloto que apresente a trajetória feita na melhor volta em primeira pessoa e que compare as velocidades das voltas.

Os resultados foram analisados qualitativamente através de um formulário que foi preenchido por membros de equipes de competição, onde se notou uma melhora nos aspectos avaliados com a possível implementação do algoritmo no veículo. Além disso, implementou-se um protótipo numa base de dados coletada numa volta de teste percorrido por um veículo de competição, onde mediu-se a quantidade de acertos do algoritmo para cada posição e o desempenho quanto ao tempo de resposta e a memória utilizada.

## 1.1 OBJETIVOS

Para serem tomadas decisões ágeis pelo piloto de um veículo de equipe de competição, propõe-se os seguintes objetivos.

### 1.1.1 Objetivo geral

Apresentar os dados de uma volta de referência para o piloto de equipe de competição com informações do trajeto percorrido na melhor volta com base na posição atual e em tempo real.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Desenvolver e implementar algoritmo para correlacionar o percurso da melhor volta com a posição atual do piloto;
- Definir uma interface de comunicação para a recepção dos dados;
- Desenvolver um protótipo do sistema de visualização da melhor volta;
- Avaliar o sistema de visualização quanto ao cumprimento dos requisitos qualitativos e quantitativos.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão discutidos os fundamentos necessários para o entendimento do sistema de visualização de volta em tempo real para pilotos de equipes de competição. Para isso, é apresentada a definição de um sistema de telemetria, princípios da comunicação de dados, as principais equipes de competição universitária, a técnica de interpolação de pontos, tipos de interfaces para visualização de dados e trabalhos relacionados.

### 2.1 TELEMETRIA

Telemetria é uma técnica que utiliza equipamentos de medição para fazer aferições de dados coletados e que se localizam distante da estação central, onde se concentra a parte de processamento (Michaelis, 2023). Essa tecnologia avançou na última década, especialmente para medições fisiológicas, verificação remota de animais e localizações geográficas, auxiliando em várias pesquisas (Rodgers, 2001).

A telemetria é aplicada em locais de difícil acesso, como na agricultura, onde, em muitos casos, não se consegue monitorar os animais que estão sob estudo (Dias *et al.*, 1998). A medicina é outra área em que se destaca a utilização dessa tecnologia, onde é chamada de telemedicina e utiliza-se esse envio de informações para monitoramento de fatores risco, como relatado por Almeida (2016), onde a telemetria é utilizada para monitoramento cardíaco.

Já no ramo automotivo, a telemetria é utilizada na detecção de possíveis falhas e diagnósticos dos dispositivos presentes no carro, apresentando análises até mesmo com aparelhos celulares, conforme demonstrado em Teixeira e Tournier (2015). Em equipes de competição automotivas, nota-se também um avanço no uso dessa técnica, pois estes veículos têm apresentado, em relação aos anos anteriores, uma maior quantidade de dispositivos eletrônicos embarcados, responsáveis por gerar uma maior quantidade de dados (Lauro; Bernardi, 2021).

Os sistemas de telemetria apresentam três subdivisões para a aquisição dos dados pelos sensores, processamento desses e a visualização dessas informações pelos usuários. Assim, a primeira etapa é onde ocorre a obtenção dos dados pelo hardware embarcado, como sensores e transdutores, a segunda é a parte de transmissão dos dados adquiridos, enquanto a terceira é o software que realiza a supervisão do sistema (Miotto, 2023).

## 2.2 COMUNICAÇÃO DE DADOS

Num mundo altamente conectado, a comunicação de dados apresenta papel fundamental na transmissão de informações entre os diversos dispositivos e usuários interconectados (Sen, 2012). A comunicação de dados é a transferência de informações, de modo local ou remoto, entre as partes que estão conectadas, e ocorre a partir de um acordo entre os dispositivos para essa troca de mensagens (Forouzan, 2009).

Como apresentado por Forouzan (2009), existem quatro métricas utilizadas para medir a eficácia da comunicação dos dados, sendo a entrega, a precisão, a sincronização e o jitter. A entrega é o recebimento por parte do usuário correto, a precisão é a entrega dos dados corretos para esse usuário, a sincronização significa entregar os dados no tempo correto e o jitter é uma métrica que mede a variação do tempo de entrega dos pacotes (Forouzan, 2009).

Na métrica de sincronização, surge ainda a definição de transmissão em tempo real, que seria a entrega de dados que são gerados e já enviados, sem atrasos consideráveis para um receptor. Para a exibição de áudios e vídeos, por exemplo, há a necessidade desse sincronismo para que sejam evitados longos travamentos ao longo dessa visualização, perdendo a parte dinâmica do processo (Forouzan, 2009).

## 2.3 EQUIPES DE COMPETIÇÃO UNIVERSITÁRIAS

As relações entre empresas e universidades têm apresentado dificuldades para se estabelecer devido a motivos como a separação cultural entre os dois segmentos e a falta de compreensão das missões de cada setor. Entretanto, a relação entre pesquisa, desenvolvimento, criação e inovação passa por ambos os setores e pode ser facilitada se houver a comunicação entre a indústria e o ambiente acadêmico (Chaimovich, 1999).

Visando relacionar esses setores, as equipes de competição universitárias são uma forma de preparar os estudantes universitários para o mercado de trabalho, incentivar a pesquisa no ambiente acadêmico e desenvolver soluções inovadoras nas respectivas áreas de atuação (Miotto, 2023). Como apresentado por Passos e Bazani (2015), tais competições estimulam o desenvolvimento prático aprendido, aplicando isso na sociedade e fazendo com que os estudantes lidem com problemas cotidianos do ambiente empresarial.

Dentre as competições automobilísticas universitárias, destacam-se a Shell Eco Marathon, organizado pela empresa Shell, e a Fórmula SAE Brasil, desenvolvido pela SAE. Enquanto a Shell Eco Marathon é voltada para o desenvolvimento de um veículo com melhor aproveitamento energético, a Fórmula SAE Brasil tem o intuito de promover duas competições: uma em que os estudantes desenvolvem um veículo do

tipo fórmula e outra onde constroem um veículo off-road (SAE BRASIL, 2023a; SAE BRASIL, 2023b; Shell, 2023a).

### **2.3.1 Shell Eco Marathon**

A Shell é uma empresa global do ramo energético que possui milhares de funcionários e diversas tecnologias voltadas a inovação, buscando solucionar problemas energéticos do futuro. Com esse intuito, a Shell desenvolve a Shell Eco Marathon, uma competição com o intuito de fomentar os jovens universitários a participarem do projeto de um carro, objetivando que esses criem suas próprias soluções e a apresentem anualmente no Rio de Janeiro (Shell, 2023a; Shell, 2023b).

O foco é voltado em carros eficientes, ou seja, as soluções são desenvolvidas buscando aumentar a eficiência energética dos automóveis desenvolvidos pelos jovens universitários. Para se separar em diferentes áreas de energia veicular e buscando soluções inovadoras para o futuro, essa competição se divide nas categorias de etanol, bateria elétrica e gasolina (Shell, 2023a).

Nessa competição, os veículos devem percorrer 12 voltas em no máximo 27 minutos, sendo que o quesito avaliado ao final da prova é qual veículo utilizou a menor quantidade de energia para esse percurso. Além desses critérios de eficiência para cada categoria, também são analisados o quesito de segurança, design, inovação técnica, segurança de viagem e o espírito da equipe (Shell, 2022).

### **2.3.2 Competições da SAE Brasil**

Diante do processo de globalização e visando solucionar problemas da mobilidade, executivos decidiram criar uma afiliada da SAE internacional no Brasil no ano de 1991, a SAE Brasil. Essa é uma organização que atua disseminando o conhecimento nos campos automotivos e aeroespaciais, por meio de palestras, cursos, simpósios e colóquios que estimulam a difusão de conhecimentos e tecnologias nessa área (SAE BRASIL, 2023c).

Uma das formas de incentivar a inovação é por meio de competições universitárias que estimulem os estudantes a desenvolver suas capacidades teóricas e práticas num projeto real. Com esse objetivo, a SAE Brasil organiza anualmente uma competição off-road para os estudantes desenvolverem seus próprios projetos e aplicarem seus conhecimentos num exemplo prático da engenharia (SAE BRASIL, 2023b).

Com o mesmo intuito, a SAE Brasil organiza a Fórmula SAE, uma competição que analisa o projeto real de um carro do tipo fórmula, avaliando as partes estáticas e dinâmicas, além de custos, detalhes do projeto e marketing da equipe. A competição aconteceu primeiramente nos Estados Unidos no ano de 1981, estimulada por grandes montadoras que objetivavam garimpar engenheiros para suas equipes e inovar nesse ramo do conhecimento (SAE BRASIL, 2023a).

Nessa competição, a primeira avaliação ocorre com o envio de relatórios sobre o projeto do veículo alguns meses antes da prova para que engenheiros especialistas avaliem o que foi elaborado pelas equipes nesse protótipo. Nos três dias da prova, são feitos testes estáticos que verificam se o projeto enviado por relatório é igual ao físico, enquanto nas provas dinâmicas são medidos o desempenho de cada veículo na corrida (SAE BRASIL, 2023a).

## 2.4 INTERPOLAÇÕES DE PONTOS

No presente trabalho serão tratados dados que representam posições do veículo ao longo do tempo em duas dimensões, dados necessários para compreender o desempenho do piloto na pista. Dessa forma, entender como métodos de aproximação de funções são caracterizados e de que maneira se pode tratar essas posições visando operações mais contínuas dos algoritmos é essencial para a formulação do trabalho (Lobão, 2017).

A interpolação de pontos é uma técnica do cálculo numérico que visa aproximar uma função que possui um conjunto limitado e finito de pontos discretos. Ou seja, possuindo um conjunto de pontos para uma função  $f(x)$ , aproxima-se uma função contínua  $g(x)$  que satisfaz determinadas propriedades visando compreender como o determinado conjunto de dados se comporta em valores intermediários (Lobão, 2017).

Existem diversos métodos para se obter essa função  $g(x)$  a partir do conjunto de dados de  $f(x)$ , como através da interpolação linear, quadrática, cúbica ou de Gregory-Newton. A interpolação linear ocorre ao aproximar dois pontos consecutivos distintos por uma reta entre eles, calculando os coeficientes dessa reta a partir das posições  $(x, y)$  dos pontos e considerando que o comportamento da função entre os pontos é uma reta (Lobão, 2017).

De modo semelhante, a interpolação quadrática aproxima  $g(x)$  de  $f(x)$  considerando que a função entre os pontos se comporta como uma parábola, porém necessitando de três pontos para determinar os coeficientes necessários. Ao aumentar os graus dos polinômios, aumenta-se a necessidade de pontos para tal aproximação, com um acréscimo na suavidade da curva visando captar variações intermediárias sutis com a  $g(x)$  gerada (Lobão, 2017).

## 2.5 INTERFACES PARA VISUALIZAÇÃO DE DADOS

Uma interface para visualização de dados é uma metáfora visual utilizada para apresentar uma variada quantidade de informações, facilitando a compreensão dos valores demonstrados para o usuário. Dessa forma, esse pode analisar os dados de uma maneira ampla e com profundidade, ao considerar uma maior quantidade de

variáveis, de forma que sintetize as principais informações de interesse (Oliveira, 2012 apud Golfetto, 2018).

Como apresentado por Zammito (2008), o excesso dos dados coletados e apresentados em jogos virtuais tornam a visualização dessas informações dependentes de diversas ferramentas como menus, minimapas e cursor de mira. A perda ou atraso dessas informações pode resultar em prejuízos na tomada de decisão durante as jogadas, tornando uma experiência que visa a diversão num momento de frustração.

Já em jogos de corrida, apresenta-se importante mostrar aos jogadores uma visualização de maneira imersiva, com o objetivo de tornar a experiência do usuário a mais realista possível (Bowman *et al.*, 2012). Uma técnica utilizada nessa categoria é conhecida como player ghosts, ou fantasmas de jogadores, sendo a representação de um ex-jogador ou do próprio jogador em uma tentativa anterior na corrida, enquanto o corredor atual percorre a pista (Medler, 2009).

Nos veículos comerciais existem algumas abordagens para as informações serem visualizadas pelo piloto, por exemplo, através de um velocímetro ou indicador de combustível. Como citado por Lauro e Bernardi (2021), com o aumento da quantidade de dados embarcados nesses veículos há a possibilidade de apresentar mais dados para o piloto, porém não se deve comprometer a segurança devido à quantidade de informações.

Atrair excessivamente a atenção do piloto e desviar o foco da condução pode ser evitado ao filtrar os dados apresentados ao piloto nessas interfaces de visualização de dados (Charissis *et al.*, 2006). Além disso, um dos enfoques dessa visualização de dados é justamente evitar acidentes e desatenção, mas para isso é importante mostrar de maneira intuitiva os dados que são fundamentais ao condutor.

Visando essa diminuição de acidentes, De-Las-Heras *et al.* (2021) apresenta alguns aspectos da segurança proporcionada ao piloto pelos Advanced Driver Assistance Systems, ADAS, através de sistemas de detecção e atuação no veículo. Esses sistemas podem ser tanto ativos, quando atuam diretamente no veículo com base nas entradas, quanto passivos, alertando o motorista de possíveis erros e falhas (Fan *et al.*, 2018).

De modo mais específico, os Head-Up Displays, HUDs, são dispositivos que possibilitam ao motorista visualizar informações sobre o veículo ou trânsito sem que o piloto precise desviar o olhar, devido ao fato da informação estar na linha de visão do condutor. Essa visualização pode, por exemplo, aparecer no próprio para-brisa do veículo, onde o usuário já está olhando ao dirigir (Ankith *et al.*, 2022).

Algumas empresas como BMW, Audi, Mercedes Benz e Hyundai têm avançado nessas interfaces de visualização, com as principais funcionalidades sendo para apresentar o limite de velocidade da pista, melhorar a navegação do piloto e opera-

ções do automóvel. De outra forma, as principais características apresentadas são para prover informações para o piloto, como a quantidade de combustível, acidentes nas vias, más condições climáticas, dentre outros (Marin *et al.*, 2016).

Na Figura 1 pode ser visto um exemplo utilizando o smartphone como hardware, com uma interface desenvolvida pela empresa Sygic para apresentar ao piloto informações sobre a velocidade atual e máxima, distância para a próxima curva e para qual lado será. Além da Sygic, as empresas HUDWAY e Navier HUD apresentam também soluções utilizando os celulares como dispositivo para projetar as informações para o piloto, diferindo de montadoras como Chevrolet e BMW nessa tecnologia (Marin *et al.*, 2016).

Figura 1 – HUD da empresa Sygic



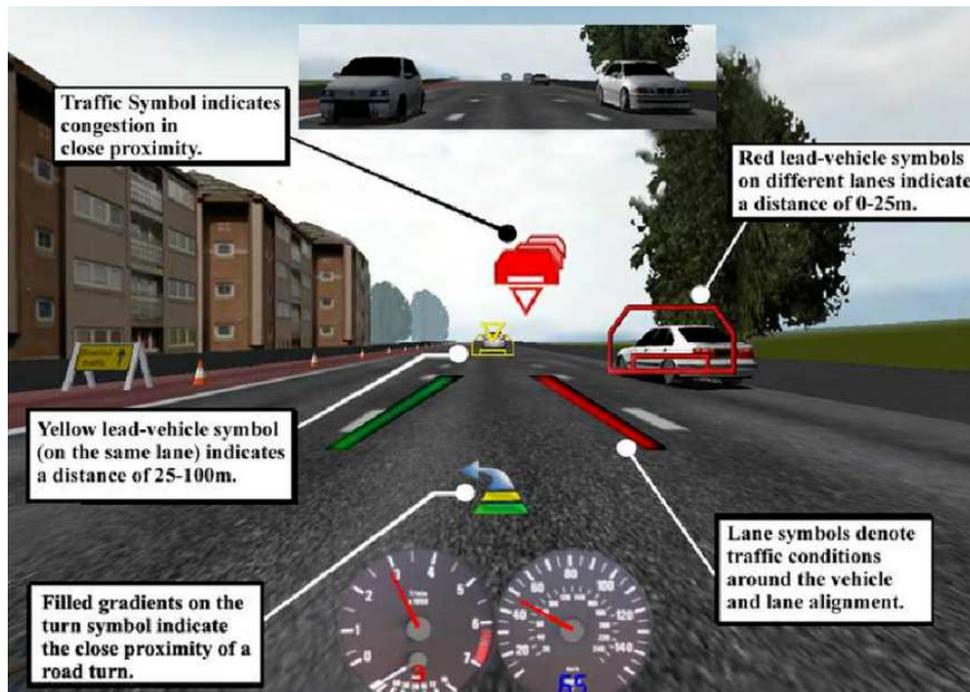
Fonte: Marin *et al.* (2016, p. 5).

A visualização é principalmente utilizada no para-brisa, ao apresentar maior eficiência que o Liquid Crystal Display, LCD, e possuir uma visualização limpa e independente das condições de iluminação externas (Ankith *et al.*, 2022). Uma das maneiras de entender como será a reação dos pilotos com essa tecnologia é por simuladores, onde Charissis *et al.* (2006) testou um HUD de para-brisa com enfoque na diminuição de acidentes dos pilotos, devido aos números de incidentes ocorridos por falha dos condutores.

No projeto desenvolvido por Charissis *et al.* (2006), nota-se um cuidado ao adicionar marcadores intuitivos na tela para o piloto poder rapidamente embasar sua decisão nesses dados, conseguindo evitar acidentes nas ruas. Como pode ser visto na Figura 2, essa visualização apresenta símbolos para as faixas detectadas, para os veículos à frente na mesma faixa ou em faixa diferente, além de informações sobre a velocidade e qual a próxima curva (Charissis *et al.*, 2006).

Embora essa diminuição de acidentes seja importante para todos os veículos, para carros de competição também há preocupação com a velocidade visando dimi-

Figura 2 – Simulador de HUD para piloto



Fonte: Charissis *et al.* (2006, p. 5).

nuir o tempo de volta do condutor (SAE BRASIL, 2023a). Por exemplo, na Figura 3 é apresentado um exemplo de player ghost para o usuário no jogo Gran Turismo 5, para comparar voltas e apresentar uma referência com relação à volta atual percorrida pelo jogador.

Figura 3 – Exemplo de Gran Turismo 5



Fonte: GamingStylez (2011)

Além disso, para equipes de competição universitárias, existe também a pre-

ocupação com o custo de desenvolvimento do projeto, como apresentado no trabalho de Miura e Maruyama (2017) visando a competição Fórmula SAE. No trabalho de Cunha (2022), para karts amadores também pode ser vista essa preocupação, algo recorrente nesses projetos de engenharia.

## 2.6 TRABALHOS RELACIONADOS

Foram encontrados alguns trabalhos relacionados com objetivos semelhantes ao deste texto e, nesta seção, serão apresentadas as semelhanças e respectivas diferenças.

### 2.6.1 Racecar tracking and its visualization using sparse data

No trabalho realizado por Stoll *et al.* (2013), as equipes de corridas amadoras apresentam uma necessidade de fazerem a captura dos dados gerados pelos veículos em longas pistas de subida de montanha. Há um enfoque em como utilizar os dados esparsados, ou seja, uma menor quantidade de dados adquiridos e ainda gerando saídas informativas, lidando com graus de incerteza dos dados e ainda extraindo o máximo com o baixo custo.

Uma necessidade apresentada no trabalho de Stoll *et al.* (2013) é mostrar a posição atual do veículo sem possuir o dado atual, somente estimando essa posição ao utilizar técnicas como interpolação por setores e aproximação por setores, sendo necessário por conta dos dados serem esparsos. Nesse caso, não são mostradas em primeira pessoa as posições do veículo, mas sim em uma vista superior, para que a equipe do piloto tenha uma visão mais fluída e menos travada da posição do carro.

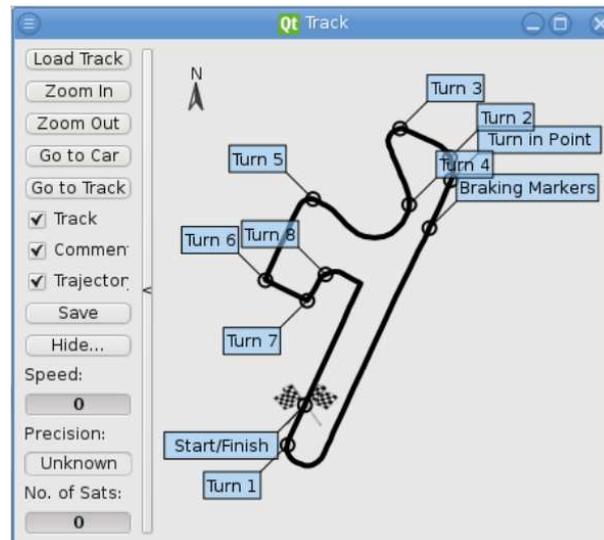
### 2.6.2 Development of Electric Formula SAE Real-time Telemetry Software

Em Tan (2011), percebe-se um enfoque no desenvolvimento de software para análise dos dados de telemetria coletados e enviados ao time de engenharia visando entender melhor o que está ocorrendo na pista. Dentre alguns dos dados coletados do veículo e enviados por telemetria estão a latitude, longitude, velocidade, timestamp e outros parâmetros, semelhantemente ao que será apresentado no protótipo do presente trabalho.

O sistema, desenvolvido para competições da Fórmula SAE, apresenta diversos tratamentos dos dados recebidos, porém, a principal diferença para o trabalho que será apresentado consiste em não focar na visão em primeira pessoa do piloto. Além disso, difere em não trabalhar com enfoque na melhor volta nem no desenvolvimento de um algoritmo que tenha referência na volta base para comparar com a atual (Tan, 2011).

Como pode ser visto na Figura 4, a vista superior apresenta alguns marcadores de curva ao longo do percurso, além de uma visualização da pista que foi percorrida. No trabalho também são desenvolvidos algumas visualizações de gráficos e telas para poderem ser analisados os dados coletados pelo sistema de telemetria do veículo (Tan, 2011).

Figura 4 – Visualização superior do trajeto do veículo



Fonte: Tan (2011, p. 65).

### 2.6.3 Sistema de assistência para pilotos de automobilismo aplicado para pilotos amadores de Kart

No trabalho realizado por Cunha (2022) percebe-se um enfoque na criação e desenvolvimento de melhorias e ganhos de desempenho para o piloto durante o percurso da corrida através de um sistema de assistência. Esse sistema, via mensagens visuais e auditivas, proporciona compreender em quais partes da pista o piloto não teve um bom desempenho, bem como possibilita comparar com outros pilotos a própria velocidade nesses trechos.

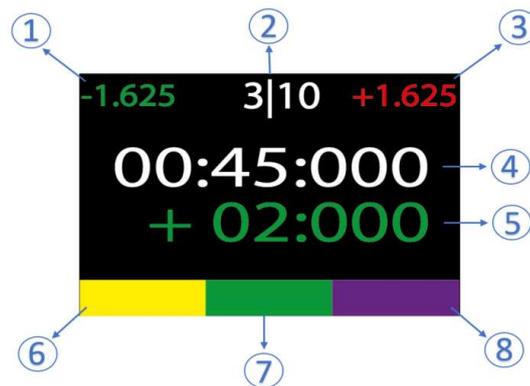
Cunha (2022) optou por dividir a pista em três setores distintos, para possibilitar que o piloto compreenda em quais regiões da pista teve melhor ou pior desempenho em comparação com a melhor volta. Para isso, foram utilizados emissores infravermelhos instalados ao longo da pista e, além disso, foi instalado um receptor infravermelho localizado no kart, para ser alertado sempre que ele finalizasse o percurso do setor.

Na Figura 5, os seguintes itens representam as respectivas informações:

- 1: Tempo para o carro que está atrás na corrida.
- 2: Volta atual e estimativa de voltas.

- 3: Tempo para o carro que está à frente na corrida.
- 4: Exibe o tempo de volta.
- 5: Apresenta a diferença de tempo em relação a melhor volta.
- 6: Apresenta o desempenho do piloto no setor 1.
- 7: Apresenta o desempenho do piloto no setor 2.
- 8: Apresenta o desempenho do piloto no setor 3.

Figura 5 – Sistema de comunicação visual durante as voltas de classificação e corrida



Fonte: Cunha (2022, p. 40).

Ainda na Figura 5, para os itens 6, 7 e 8, verde significa o melhor tempo no setor, amarelo, para acima do melhor tempo no setor, enquanto o roxo significa que teve a melhor volta entre todos os competidores naquele setor. No entanto, no presente trabalho não será utilizado o método dos sensores infravermelhos, mas através dos dados de posição da melhor volta será calculado qual dessas regiões se aproximam geograficamente do ponto que o piloto está no instante atual.

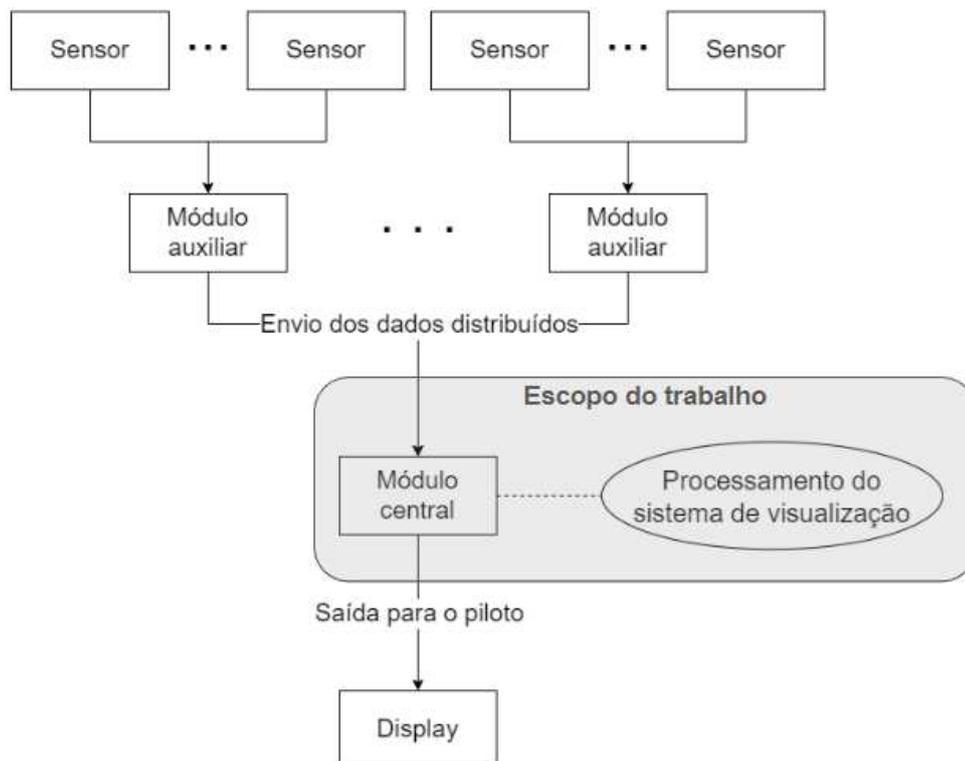
### 3 SISTEMA PARA LOCALIZAÇÃO E VISUALIZAÇÃO DE TRAJETÓRIA

Neste capítulo são apresentados os materiais utilizados para elaboração da pesquisa e os métodos empregados no decorrer desse. É apresentada a arquitetura geral do sistema, a maneira de aquisição dos dados, a lógica de funcionamento da comunicação, a interface de visualização, o protótipo desenvolvido e a estruturação do questionário.

#### 3.1 ARQUITETURA GERAL DO SISTEMA

Para possibilitar a visualização da melhor volta do piloto e comparar com os pontos atuais, faz-se necessário a captura de dados do carro ao longo da trajetória na pista. Para isso, são utilizados sensores de posicionamento e velocidade, por exemplo, que fornecem essas informações atualizadas aos módulos auxiliares, podendo então centralizar os dados no módulo central, que faz todo o processamento do sistema de visualização, como pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 – Diagrama de comunicação geral



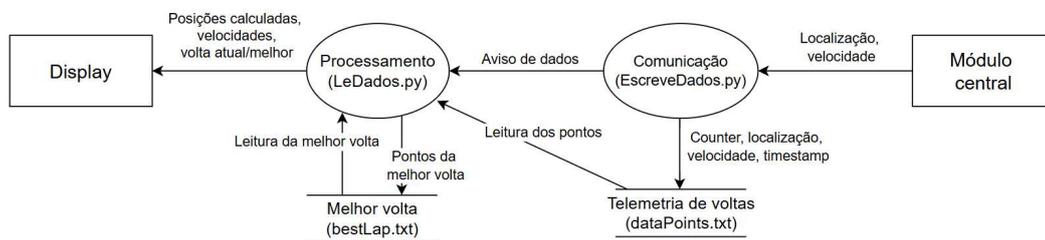
Fonte: Autor (2024).

A partir dos dados recebidos, podendo ser enviados ou não a módulos auxiliares, o módulo central é responsável pela parte de processamento do sistema proposto, onde faz-se necessária uma interface para comunicação desses dados (apresentada

na Seção 3.2). Como saída do módulo central, está o display que deve apresentar ao piloto a saída do sistema, mostrando de maneira clara e objetiva o que foi feito na melhor volta em comparação com o que está sendo feito no momento.

Como apresentado na Figura 6, o escopo do presente trabalho é o processamento do sistema de visualização, bem como, o desenvolvimento lógico-matemático necessário para alcançar tais funcionalidades, que será executado no módulo central. Na Figura 7 é apresentado o diagrama de fluxo de dados entre a geração desses e a leitura do sistema de processamento, com os principais arquivos que são manipulados por esses.

Figura 7 – Diagrama de fluxo de dados



Fonte: Autor (2024).

Os dados são enviados do Módulo central (uma entidade externa) para o processo de Comunicação, que escreve os dados em `dataPoints.txt` e comunica ao Processamento, como será visto na Seção 3.3. O Processamento faz a leitura dos dados armazenados em `dataPoints.txt`, calcula a melhor volta e a posição atual, escrevendo e lendo no arquivo `bestLap.txt`, finalizando ao enviar para o Display o conjunto de pixels de visualização.

Como as voltas de referência precisam ser reescritas constantemente, o armazenamento da informação por arquivos de texto se mostrou uma solução coerente, devido à facilidade para comunicação. Para a interface entre a captura dos dados e leitura para o processamento do sistema são utilizados dois códigos principais:

- `EscreveDados.py`: é responsável pela formatação e escrita dos novos dados no arquivo `dataPoints.txt`, sempre que estiverem disponíveis;
- `LeDados.py`: responsável pela leitura dos dados no arquivo `dataPoints.txt`, além de processar todas as informações e os algoritmos para gerar a saída pro piloto.

Devido à natureza dos dados e simplicidade desses, a comunicação via arquivos de texto foi uma alternativa válida, pois apresenta facilidade de implementação e rapidez na interface entre os algoritmos. Esses processos, ao invés da comunicação direta inter-processos, se utilizam desses arquivos de texto para comunicarem-se e armazenarem os dados para execução do sistema:

- `dataPoints.txt`: o script `EscreveDados.py` escreve os dados enquanto `LeDados.py` faz a leitura dos dados;
- `bestLap.txt`: utilizado por `LeDados.py` para armazenar os dados da melhor volta;
- `communication.txt`: quando há dados novos em `dataPoints.txt`, `EscreveDados.py` escreve o valor de 1 e `LeDados.py` sobrescreve o valor 1 com 0 quando faz a leitura dos novos dados.

## 3.2 AQUISIÇÃO DE DADOS

Nesta seção será apresentada a base de dados necessária para o sistema conseguir efetuar os cálculos e aplicar o algoritmo para identificar qual a posição atual do veículo na pista, para calcular qual a melhor volta, dentre outras funcionalidades. Por isso, uma estrutura de dados é definida entre os dois sistemas (Seção 3.2.1), bem como uma interface de comunicação adequada para não haver conflitos de acesso aos dados (Seção 3.2.2).

### 3.2.1 Estrutura dos dados

A estrutura dos dados segue um formato padrão, onde, os atributos no arquivo `dataPoints.txt` são separados por espaço, e os dados apresentam os seguintes tipos e papéis:

- índice: número para indicar o identificador do dado (inteiro não negativo);
- timestamp: dado necessário para avaliar se a volta atual completada possui menor tempo que a melhor volta (no formato HH:MM:SS.ffffff, onde HH representam as horas, MM os minutos, SS os segundos e ffffff os microssegundos);
- lap: parâmetro que indica qual a volta atual do piloto (inteiro não negativo);
- posX: latitude do veículo (valor do tipo ponto flutuante com 8 casas decimais);
- posY: longitude do veículo (valor do tipo ponto flutuante com 8 casas decimais);
- speed: velocidade escalar do piloto (valor do tipo ponto flutuante não negativo).

Na Figura 8 é apresentado um exemplo do arquivo `dataPoints.txt`, onde os dados são mostrados conforme a estrutura definida pela interface de comunicação entre o módulo e o sistema de processamento. Pode-se notar que do índice 40 para o 41 ocorre a mudança de volta do piloto, ponto importante para etapa de processamento, que será discutida na Seção 3.3.

### 3.2.2 Interface de comunicação

A etapa de comunicação é feita através do arquivo de texto `communication.txt`, no qual sempre que existem novos dados, o processo de Comunicação escreve o va-

Figura 8 – Exemplo dos dados gerados

```

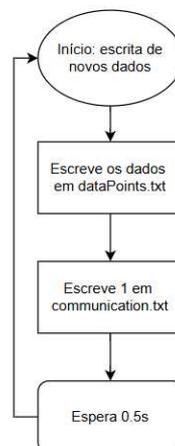
30 20:22:58.000000 0 -26.23574833 -48.88523667 7.215
31 20:22:59.000000 0 -26.235695 -48.88518 7.008
32 20:23:00.000000 0 -26.23563833 -48.88513667 7.037
33 20:23:01.000000 0 -26.2356 -48.88509 6.653
34 20:23:02.000000 0 -26.23556833 -48.88504667 5.496
35 20:23:03.000000 0 -26.23553333 -48.88504167 4.194
36 20:23:04.000000 0 -26.23553333 -48.88503167 3.437
37 20:23:05.000000 0 -26.235515 -48.88505833 3.086
38 20:23:06.000000 0 -26.23550667 -48.88511667 3.537
39 20:23:07.000000 0 -26.235495 -48.88520333 5.270
40 20:23:08.000000 0 -26.23547333 -48.88539 12.943
41 20:23:09.000000 1 -26.23543833 -48.88555333 15.781
42 20:23:10.000000 1 -26.23540833 -48.88570667 14.741
43 20:23:11.000000 1 -26.23539333 -48.88584833 12.301
44 20:23:12.000000 1 -26.23540333 -48.88594833 10.557
45 20:23:13.000000 1 -26.23544667 -48.88604167 9.620
46 20:23:14.000000 1 -26.23550167 -48.886095 8.988
47 20:23:15.000000 1 -26.23557833 -48.886095 7.637
48 20:23:16.000000 1 -26.23566333 -48.88603 7.473

```

Fonte: Autor (2024).

lor 1, enquanto, após efetuar a leitura, o sistema de Processamento escreve 0, sinalizando que o dado já foi tratado. Para essa interface são utilizados o script de escrita de dados, `EscreveDados.py`, e o de leitura dos dados, `LeDados.py`.

`EscreveDados.py` é responsável por coletar os dados advindos de sensores e módulos, formatá-los segundo a estrutura apresentada na Seção 3.2.1 e escrevê-los no arquivo de comunicação, `dataPoints.txt`. Na Figura 9 é apresentado o diagrama de fluxo do sistema, que é iniciado sempre que há novos dados gerados, visando alimentar os dados do sistema de processamento do formato correto.

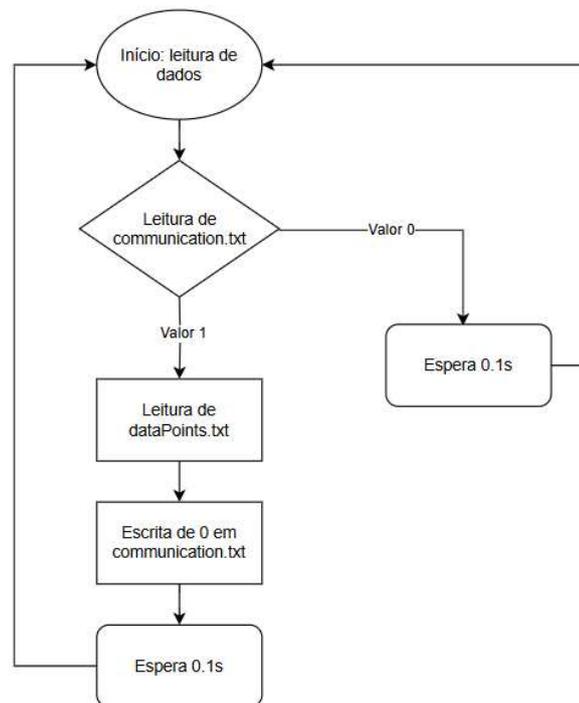
Figura 9 – Diagrama de fluxo de `EscreveDados.py`

Fonte: Autor (2024).

Como mostrado, após iniciar o fluxo de escrita dos novos dados coletados,

`EscreveDados.py` escreve em `dataPoints.txt` os dados coletados, e depois escreve o valor 1 no arquivo `communication.txt`, indicando que há novos dados para serem lidos, esperando 0.5s, valor escolhido para os testes, mas que pode ser alterado a depender do tempo de coleta dos sensores, para reiniciar o fluxo. Já `LeDados.py`, possui a responsabilidade de leitura dos dados escritos, para poder processar esses dados, como mostra o diagrama de fluxo da Figura 10

Figura 10 – Diagrama de fluxo de `LeDados.py`



Fonte: Autor (2024).

Após iniciar o fluxo de leitura dos dados, o script `LeDados.py` faz a leitura em `communication.txt`, verificando se há novos dados para serem lidos, a depender do número inserido no arquivo. Caso o valor seja 0, não existem novos dados em `dataPoints.txt`, esperando 0.1s, também um valor utilizado para testes, mas que pode ser alterado a depender das configurações do sistema, para reiniciar o ciclo, se o valor for 1, significa que existem informações novas a serem processadas.

Quando existem novos dados, `LeDados.py` faz a leitura desses valores em `dataPoints.txt`, visando processar essas informações e tratar essas entradas, escrevendo 0 em `communication.txt`, indicando que os dados já foram armazenados e finalizando com uma espera de 0.1s. Com a ocorrência desses fluxos, essas funções conseguem cumprir o objetivo de coletar os dados e formatá-los da maneira correta (`EscreveDados.py`), além de processar e armazená-los (`LeDados.py`)

### 3.3 LÓGICA DE FUNCIONAMENTO

Nesta seção é apresentado o funcionamento da escrita dos dados coletados na interface de comunicação (Seção 3.3.1) e a maneira como é feita a leitura e os algoritmos de processamento (Seção 3.3.2) que são os dois principais sistemas do presente trabalho.

#### 3.3.1 Escrita de dados

Como existem diversas fontes de dados, de variados sensores no veículo, é importante que sejam centralizados esses dados, para serem enviados ao mesmo tempo para o sistema de processamento. Além disso, o tratamento dos dados é necessário para que não haja inconsistências na futura leitura, pois sensores e módulos diferentes podem apresentar erros na saída dos dados.

Como exemplo, as informações de data podem apresentar horas negativas devido a alguma falha, ou até alguma velocidade inconsistente com a realidade, necessitando corrigir o erro ou considerar o dado como inválido. Além disso, diversas unidades de medida são utilizadas pelos sensores, velocidade em metros por segundo ou quilômetros por hora, horário em HH:MM:SS.ffffff ou HH:MM:SS e, por isso, muitas vezes necessitam de conversão.

Por esses motivos, na etapa de escrita é importante executar essas atividades com o objetivo de evitar possíveis inconsistências na etapa de leitura e processamento. Após essas verificações e tratamentos, são escritos os dados seguindo a estrutura descrita na Seção 3.2.1 e em conformidade com a comunicação detalhada na Seção 3.2.2.

#### 3.3.2 Leitura e processamento

A etapa de leitura e processamento é composta de diversas partes necessárias para a geração da saída para o piloto, sendo que cada parte será detalhada. Será apresentado os parâmetros para configuração do sistema, indicado a volta de referência inicial, como é feita a geração das regiões, detecção e projeção dos pontos, além de mostrar quais verificações são feitas à cada volta.

##### 3.3.2.1 Parâmetros de configuração

Os parâmetros de configuração necessários para o funcionamento do algoritmo variam para cada pista, por isso, precisam ser configurados em cada novo circuito, a depender da largura máxima da pista, do comprimento do percurso e do tempo de coleta dos dados dos sensores. Assim, algumas variáveis no código precisam ser determinadas, visando maior precisão do algoritmo.

O primeiro valor a ser detalhado é a largura máxima da pista na trajetória, variável de nome `maxLaneWidth`, que será fundamental para comparar os pontos da melhor volta com o ponto atual do veículo e mostrar o que foi feito na ocasião. Essa variável necessita estar na mesma unidade de medida dos dados de posição, pois será comparada diretamente com esses valores no decorrer do percurso.

Uma das maneiras de se descobrir a largura máxima da pista é analisar qual foi a maior variação dos pontos na mesma parte do circuito, utilizando os dados gerados numa volta de teste. Outro modo é posicionar o veículo nas duas extremidades de uma parte da pista que possua a maior largura, coletar os pontos enviados pelo sensor de posição e calcular a distância entre eles.

Outra variável é `minValueValidLap`, que representa o mínimo de pontos necessários coletados ao longo de uma volta para que essa seja validada, evitando que uma volta sem muitos pontos se torne a melhor, pois não possui muitas informações para serem referência. Recomenda-se que para o cálculo dessa variável sejam feitas algumas voltas de teste, para compreender qual a média de pontos que os sensores e módulos capturam nessa pista ao longo do percurso.

### 3.3.2.2 Volta de referência inicial

Os dados da melhor volta são alimentados pelo sistema de leitura e processamento, que verifica sempre que se conclui uma volta se essa foi melhor que a referência, a partir da comparação entre os tempos. Ao trocar a volta, sendo o tempo da volta de referência maior que o tempo da última volta percorrida, e tendo essa volta a quantidade mínima necessária de pontos para ser validada, a volta de referência é atualizada para ser a última.

Porém, no caso da primeira vez que se roda o algoritmo, existe a opção de a volta de referência ser uma volta prévia, já percorrida num momento de testes, onde foram coletados os dados visando alimentar o sistema. Outra opção é não apresentar os dados na primeira volta, apenas coletando os dados até que essa volta se torne a referência, executando o algoritmo apenas partir da segunda volta.

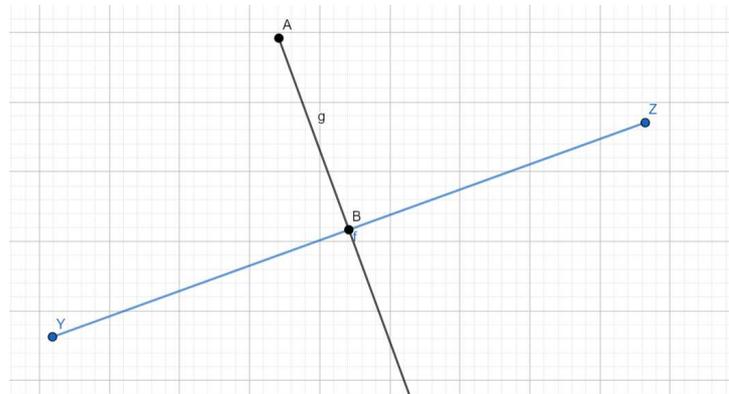
### 3.3.2.3 Geração das regiões

Uma parte fundamental do trabalho é a geração de regiões a partir das posições coletadas na melhor volta, que são utilizadas para comparar com o ponto atual e mostrar qual foi a trajetória na volta de referência. Essas regiões são geradas todas as vezes que se atualiza a melhor volta, não sendo necessário atualizar quando a volta atual foi pior que a referência, haja vista que aquela não será utilizada como padrão.

A Figura 11 é apresentada para demonstrar o funcionamento da geração das retas, etapa que precede a geração das regiões, onde B é o ponto atual, A o ponto anterior e g uma semirreta gerada partindo de A e indo até B. O segmento de reta

YZ é perpendicular à reta g, passando por B, onde as distâncias YB e BZ possuem o valor de  $\text{maxLaneWidth}/2$ .

Figura 11 – Exemplo de geração de segmento de reta para formar as regiões



Fonte: Autor (2024).

Para cada ponto da volta de referência são gerados esses segmentos de retas, onde são armazenados os pontos mostrados na Figura 12a. Na imagem, os pontos vermelhos e azuis-escuros são os formadores dos segmentos de reta e em azul-claro estão os pontos da volta referencial com interpolação linear entre esses, para demonstrar de maneira aproximada o circuito percorrido.

Esses segmentos de reta são então conectados, formando quadriláteros e construindo uma área associada ao determinado ponto. Essa área é utilizada como uma aproximação para o ponto em que se está visualizando, pois numa volta futura, o piloto pode não passar exatamente no ponto atual, mas sim de maneira aproximada. Na Figura 12b são mostradas as regiões geradas para o percurso, destacando que cada ponto em verde possui o quadrilátero com área associada. A lógica de processamento na volta atual para detecção de qual região está o piloto será detalhada na Seção 3.3.2.4.

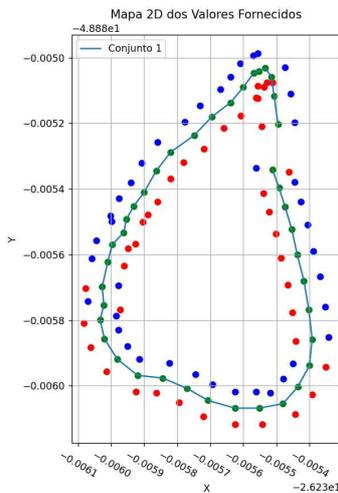
#### 3.3.2.4 Detecção e projeção dos pontos

Com as regiões calculadas, pode-se agora verificar se a posição atual do piloto está dentro de alguma região calculada na melhor volta, possibilitando os cálculos de projeção dos pontos. Na Figura 12c, mostra-se um exemplo onde o ponto A, da volta atual, está localizado fora das regiões geradas, ou seja, não possibilitando para o sistema identificar qual ponto na melhor volta é mais próximo do ponto atual, e pode ser usado como base para mostrar ao piloto o que foi feito na volta de melhor tempo.

Entretanto, o ponto B está dentro de uma das regiões geradas pelo piloto na melhor volta, sendo possível efetuar os cálculos seguintes a partir desse ponto e do quadrilátero que ele pertence. Uma vez identificada essa região, o sistema irá

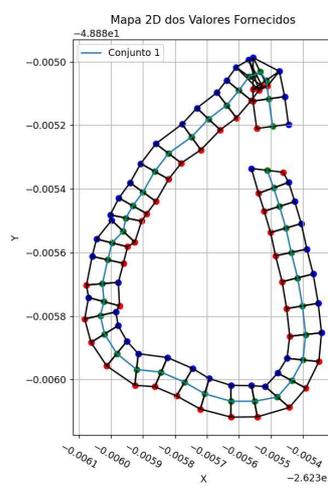
Figura 12 – Exemplo de volta com a geração dos pontos para as regiões

(a) Pontos gerados.



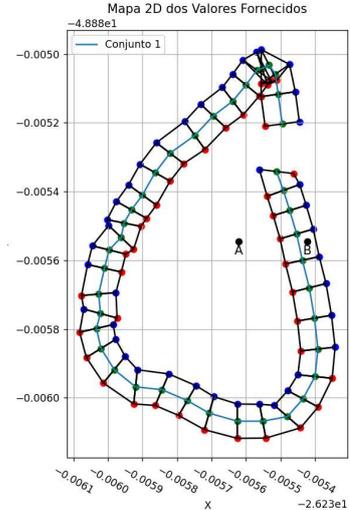
Fonte: Autor (2024).

(b) Regiões geradas.



Fonte: Autor (2024).

(c) Pontos e regiões.

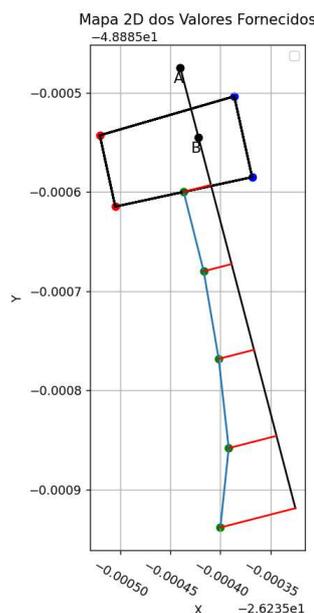


Fonte: Autor (2024).

projetar os pontos subsequentes da melhor volta baseada onde ele está atualmente, com maior assertividade nas recomendações.

Na Figura 13 é mostrado o ponto atual B e o ponto exatamente anterior A, os pontos em verde são a trajetória na volta de referência, enquanto os pontos vermelhos e azuis mostram a região onde está o ponto B. Entre os pontos A e B é mostrada uma semirreta, partindo de A e passando por B, que será usada para referência de distâncias.

Figura 13 – Ponto atual desenhado na região da volta de referência



Fonte: Autor (2024).

Como pode ser visto na Figura 13, são utilizados o ponto respectivo à região em que se encontra o ponto B e os próximos quatro pontos, todos da volta de referência. Os segmentos de reta, em vermelho, formam um ângulo de  $90^\circ$  com a semirreta em preto, partindo dos pontos da volta de referência e essa distância será utilizada para projetar as posições e colocá-las em visualização, como descrito na Seção 3.4

#### 3.3.2.5 Verificações da nova volta

Outra verificação que deve ser feita ao chegarem novos pontos para processamento é com relação à mudança de voltas. Ao finalizar uma volta, o programa deve verificar se a volta que acabou de ser percorrida foi melhor que a volta de referência, para caso positivo, atualizar a melhor volta. A primeira verificação feita é com relação a quantos pontos existem nessa volta que foi completada, comparando com `minValueValidLap`, que é um valor definido pelo usuário e especifica quantos pontos a volta precisa para ser validada como referência. Se o valor de pontos da volta atual for menor que esse parâmetro, então a volta atual é descartada como candidata à melhor volta.

Essa verificação precisa ser feita por conta da possibilidade de uma volta não possuir muitos pontos, devido a falhas nos módulos ou na comunicação do sistema de aquisição dos dados. Caso o sistema tenha adquirido poucos pontos, em voltas futuras o programa não possuirá muitas referências para comparar, e as regiões serão escassas. Caso passe da primeira verificação, deve-se verificar a diferença de tempos entre o primeiro ponto na volta completada e o último e, caso seja menor que o tempo da volta de referência, deve-se alterar a melhor a volta no arquivo `bestLap.txt`, bem como gerar novamente as regiões descritas na Seção 3.3.2.3. Um outro motivo para justificar a necessidade de `minValueValidLap` é que o sistema de coleta de dados pode ter iniciado o funcionamento mais tarde na volta, alterando significativamente o tempo da volta completada, mas de modo incorreto.

Ao chegarem novos dados, se forem continuação da volta atual, deve-se encontrar a região em que se encontra o carro baseado nos dados da volta de referência, capturando a distância desses para o segmento de reta, como foi mostrado na Figura 13. Caso seja uma nova volta, devem ser seguidos os passos descritos nessa seção, para depois iniciar novamente a verificação de regiões.

### 3.4 VISUALIZAÇÃO

Nessa seção são abordados os componentes da tela que será visualizada pelo piloto, que foram geradas após a etapa de processamento dos dados e da execução dos algoritmos para calcular as projeções do carro. A apresentação dessa etapa

do projeto é dividida em três partes: velocidades e voltas; projeção das posições do carro na pista, e; cores utilizadas.

### 3.4.1 Velocidades e voltas

Na parte superior da tela são apresentados quatro dados essenciais para visualização do piloto e o entendimento das circunstâncias em que se encontra relativos à volta de referência:

- Velocidade atual: mostrada ao piloto para compreender qual a sua velocidade atual;
- Velocidade na melhor volta: indica ao motorista qual era a velocidade quando ele estava na melhor volta, dentro daquela mesma região;
- Volta atual: apresenta ao piloto a volta que está sendo percorrida;
- Melhor volta: exhibe ao motorista qual foi a melhor volta percorrida até o momento.

Na Figura 14 podem ser vistas as informações que foram descritas, destacando que as unidades de velocidade também são apresentadas no display, no caso, metros por segundo. Ressalta-se que os dados apresentados são os básicos para que o sistema apresente o mínimo necessário ao piloto, mas caso existam mais dados no sensoramento, como combustível ou temperatura do motor, também podem ser apresentados na visualização.

Figura 14 – Exemplo de saída das informações mostrada no display



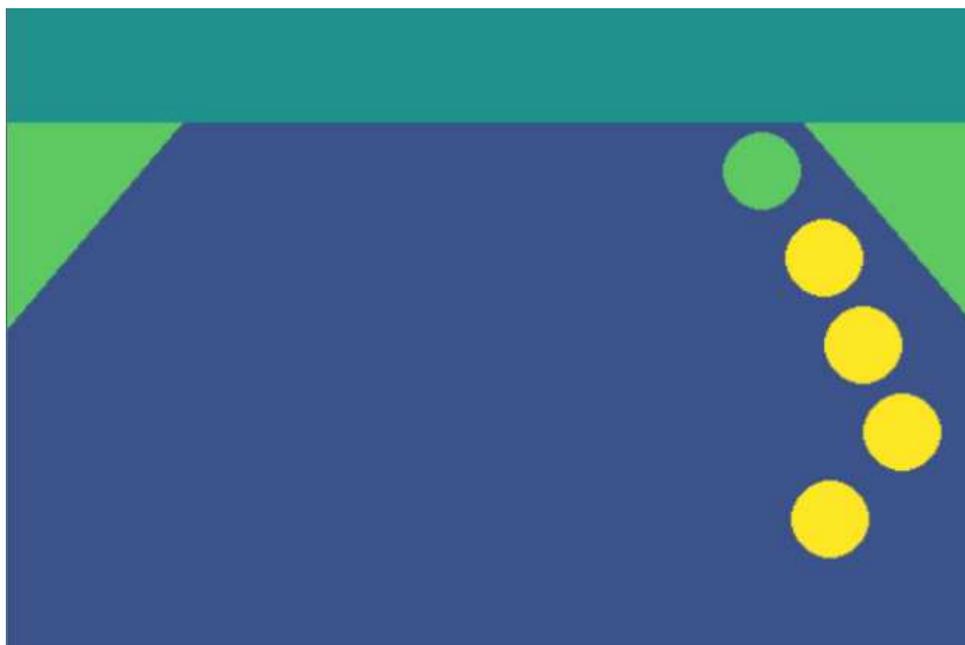
Fonte: Autor (2024).

### 3.4.2 Projeção das posições na pista

Conforme apresentado na Seção 3.3.2.4, a posição atual do piloto é utilizada para identificar em qual região o carro estava na melhor volta, utilizando o ponto respectivo àquela volta e os quatro próximos para projetar na pista. Na Figura 15 é apresentado um exemplo dessa saída, estando os pontos projetados na pista para o piloto.

Destaca-se que o piloto está andando mais à esquerda da pista na volta atual do que na volta de referência, além de estar numa velocidade maior, pois os pontos em amarelo representam que a velocidade atual é maior que na melhor volta, enquanto os verdes representam que é menor. Para essa projeção, foram utilizadas as distâncias apresentadas em vermelho na Figura 13 de modo proporcional ao `maxLaneWidth`,

Figura 15 – Exemplo de saída mostrada no display



Fonte: Autor (2024).

sendo que todos os valores que ultrapassem esse parâmetro, são apresentados na distância extrema da pista.

### 3.4.3 Cores

As cores utilizadas visam amenizar as dificuldades de visualização dos daltônicos, possibilitando que pilotos com essa característica genética não tenham problemas em perceber o trajeto e as projeções. Para tanto, foram utilizadas cores baseadas na paleta da ferramenta de visualização de dados<sup>1</sup>. Portanto, as cores utilizadas, em escala RGB (Red, Green, Blue), foram:

- (33,145,40): utilizada para o céu;
- (94,201,98): utilizada para a grama e para posições com velocidade maior na volta de referência;
- (59,82,139): utilizada para a pista;
- (253,231,37): utilizada para posições com velocidade menor na volta de referência;

## 3.5 PROTÓTIPO

Para avaliar o desempenho quantitativo do sistema e do algoritmo, utilizou-se uma base de dados da equipe de competição do Centro Tecnológico de Joinville, Fórmula CEM, num circuito de teste percorrido onde foram armazenados os dados num

<sup>1</sup> Disponível em: <https://waldyrious.net/viridis-palette-generator/>

data logger. Nessa seção são apresentados o formato dos dados e os tratamentos necessários para se utilizar o algoritmo. Os códigos foram adicionados no repositório do GitHub<sup>2</sup>.

### 3.5.1 Caracterização da base de dados

Os dados obtidos pela equipe de competição foram armazenados num arquivo de extensão gpx, utilizado para aplicações que utilizam dados via GPS. Na Figura 16 é apresentado um trecho dos dados do arquivo, que possui informações sobre a trajetória do carro, velocidade, tempo e o número de satélites para referência do ponto.

Figura 16 – Exemplo de saída mostrada no display

```

174 <trkpt lat="-26.23602667" lon="-48.88569833"><ele>14.900</ele><time>2024-07-27T20:22:47Z</time><speed>4.945</speed><sat>20</sat></trkpt>
175 <trkpt lat="-26.23602167" lon="-48.88575500"><ele>13.800</ele><time>2024-07-27T20:22:48Z</time><speed>4.653</speed><sat>20</sat></trkpt>
176 <trkpt lat="-26.23602667" lon="-48.88569833"><ele>14.900</ele><time>2024-07-27T20:22:49Z</time><speed>4.945</speed><sat>21</sat></trkpt>
177 <trkpt lat="-26.23601000" lon="-48.88562333"><ele>16.300</ele><time>2024-07-27T20:22:50Z</time><speed>5.414</speed><sat>19</sat></trkpt>
178 <trkpt lat="-26.23599667" lon="-48.88557000"><ele>17.600</ele><time>2024-07-27T20:22:51Z</time><speed>5.078</speed><sat>21</sat></trkpt>
179 <trkpt lat="-26.23596167" lon="-48.88553333"><ele>18.500</ele><time>2024-07-27T20:22:52Z</time><speed>4.282</speed><sat>22</sat></trkpt>
180 <trkpt lat="-26.23595333" lon="-48.88549167"><ele>18.900</ele><time>2024-07-27T20:22:53Z</time><speed>3.860</speed><sat>23</sat></trkpt>
181 <trkpt lat="-26.23593167" lon="-48.88545333"><ele>20.300</ele><time>2024-07-27T20:22:54Z</time><speed>4.302</speed><sat>22</sat></trkpt>
182 <trkpt lat="-26.23590000" lon="-48.88541000"><ele>20.600</ele><time>2024-07-27T20:22:55Z</time><speed>5.083</speed><sat>22</sat></trkpt>
183 <trkpt lat="-26.23586333" lon="-48.88534500"><ele>21.000</ele><time>2024-07-27T20:22:56Z</time><speed>6.166</speed><sat>22</sat></trkpt>
184 <trkpt lat="-26.23582000" lon="-48.88528833"><ele>21.300</ele><time>2024-07-27T20:22:57Z</time><speed>6.468</speed><sat>22</sat></trkpt>
185 <trkpt lat="-26.23574833" lon="-48.88523667"><ele>21.700</ele><time>2024-07-27T20:22:58Z</time><speed>7.215</speed><sat>23</sat></trkpt>
186 <trkpt lat="-26.23569500" lon="-48.88518000"><ele>22.500</ele><time>2024-07-27T20:22:59Z</time><speed>7.008</speed><sat>23</sat></trkpt>
187 <trkpt lat="-26.23563833" lon="-48.88513667"><ele>22.400</ele><time>2024-07-27T20:23:00Z</time><speed>7.037</speed><sat>23</sat></trkpt>
188 <trkpt lat="-26.23560000" lon="-48.88509000"><ele>22.300</ele><time>2024-07-27T20:23:01Z</time><speed>6.653</speed><sat>22</sat></trkpt>
189 <trkpt lat="-26.23556333" lon="-48.88504667"><ele>22.600</ele><time>2024-07-27T20:23:02Z</time><speed>5.496</speed><sat>23</sat></trkpt>
190 <trkpt lat="-26.23553333" lon="-48.88501167"><ele>22.100</ele><time>2024-07-27T20:23:03Z</time><speed>4.194</speed><sat>23</sat></trkpt>
191 <trkpt lat="-26.23553333" lon="-48.88503167"><ele>20.600</ele><time>2024-07-27T20:23:04Z</time><speed>3.437</speed><sat>23</sat></trkpt>
192 <trkpt lat="-26.23551500" lon="-48.88505833"><ele>19.800</ele><time>2024-07-27T20:23:05Z</time><speed>3.086</speed><sat>21</sat></trkpt>

```

Fonte: Autor (2024).

Esses dados foram transformados em um arquivo .txt, retirando as tags características do arquivo .gpx, para que pudesse se enquadrar com a comunicação de entrada de dados. O primeiro filtro aplicado foi para retirar os pontos com velocidade igual a zero, pois era um percurso de teste, onde a equipe parou diversas vezes para conversar com o piloto, ficando longo tempo parado. Além disso, descartou-se os dados da elevação do veículo no percurso, pois o algoritmo não utiliza esse parâmetro para os cálculos de interpolação realizados. Também foram retiradas as informações de quantos satélites foram utilizados para calcular o respectivo ponto, pois também não impacta na maneira que o programa calcula a projeção da melhor volta.

Na Figura 17 podem ser vistos os dados após as transformações feitas, estando formatados conforme apresentado na Seção 3.2.1, exceto pelo índice. Esses valores são gerados pela função de escrita, a `EscreveDados.py`, que coleta as informações do arquivo de texto e fica responsável por comunicar com `LeDados.py`, como descrito na Seção 3.2.2

O valor de configuração utilizado, tal como descrito na Seção 3.3.2.1, foi de 0.00008° para `maxLaneWidth`, na mesma unidade que os valores de posição, e 27 para `minValueValidLap`. Para determinar `maxLaneWidth` foram plotados os gráficos das

<sup>2</sup> Disponível em: <https://github.com/guilhermelic/prototipo-TCC>

Figura 17 – Exemplo de saída mostrada no display

```

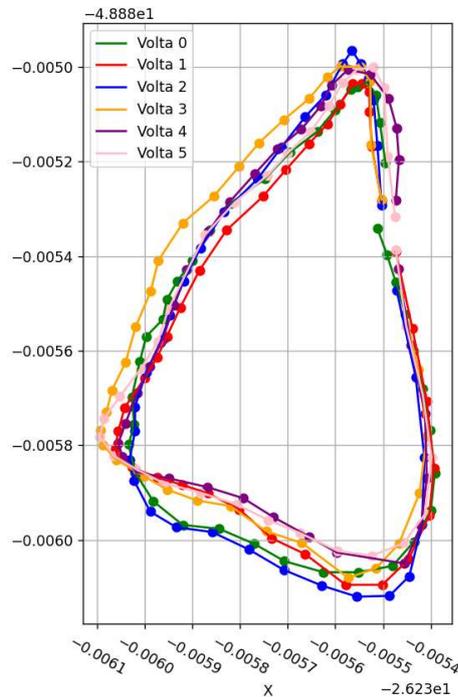
20:22:48.000000 0 -26.23602167 -48.885755 4.653 1
20:22:49.000000 0 -26.23602667 -48.88569833 4.945 1
20:22:50.000000 0 -26.23601 -48.88562333 5.414 1
20:22:51.000000 0 -26.23599667 -48.88557 5.078 1
20:22:52.000000 0 -26.23596167 -48.88553333 4.282 1
20:22:53.000000 0 -26.23595333 -48.88549167 3.860 1
20:22:54.000000 0 -26.23593167 -48.88545333 4.302 1
20:22:55.000000 0 -26.2359 -48.88541 5.083 1
20:22:56.000000 0 -26.23586333 -48.885345 6.166 1
20:22:57.000000 0 -26.23582 -48.88528833 6.468 1
20:22:58.000000 0 -26.23574833 -48.88523667 7.215 1
20:22:59.000000 0 -26.235695 -48.88518 7.008 1
20:23:00.000000 0 -26.23563833 -48.88513667 7.037 1
20:23:01.000000 0 -26.2356 -48.88509 6.653 1
20:23:02.000000 0 -26.23556833 -48.88504667 5.496 1
20:23:03.000000 0 -26.23555333 -48.88504167 4.194 1

```

Fonte: Autor (2024).

voltas, como pode ser visto na Figura 18 e verificadas as distâncias que não geravam tantas intersecções nem perdas para as regiões. Para `minValueValidLap` analisou-se a quantidade de pontos que cada volta possuía, verificando-se que na primeira haviam 40 pontos, na segunda 36 pontos e da terceira à sexta haviam 34. Com isso, utilizando uma margem de erro com 7 pontos, válido para que não houvesse tanto decréscimo de tempo, escolheu-se o valor de 27 pontos para a essa variável.

Figura 18 – Visualização de todas as voltas

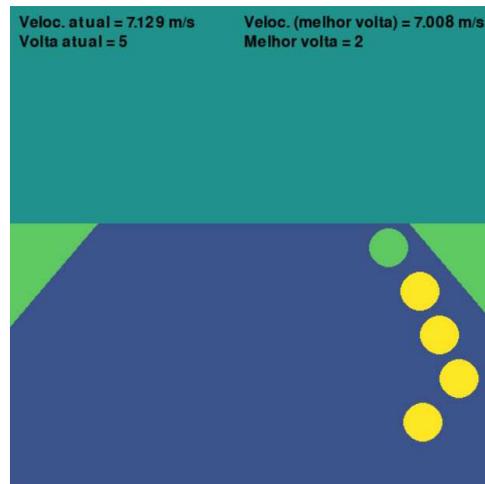


Fonte: Autor (2024).

A tela completa para visualização do piloto está mostrada na Figura 19, onde é apresentado as velocidades, as voltas e a trajetória na volta de referência. Nessa imagem, nota-se que o conjunto de informações está disponível com poucas informações para o usuário, mas com o essencial para o embasamento da decisão de trajetória e

velocidade.

Figura 19 – Tela completa de visualização do piloto



Fonte: Autor (2024).

Dessa forma, como é interpretado pela Figura 19, se o piloto quer se aproximar da volta de referência, deve conduzir mais à direita da pista, além de frear um pouco a velocidade para facilitar numa possível manobra. Essa visualização se mostra como uma sugestão para o piloto poder alcançar aquele tempo da melhor volta, mas é importante ressaltar que é possível atingir tempos melhores ainda sem seguir essas recomendações e, caso ocorra, essa nova volta se torna a referência do modelo.

### 3.6 QUESTIONÁRIO

Para avaliação qualitativa do trabalho foi elaborado um formulário para que integrantes de equipes de competição da UFSC pudessem responder e avaliar o projeto. Essa avaliação foi dividida em duas etapas, uma primeira mensurando quanto o piloto tem de acesso atualmente aos dados e na segunda parte compreendendo quanto ele teria de ganho ao ser implementado o sistema.

Para os integrantes das equipes de competições compreenderem como seria após a implementação do sistema, foi gravado um vídeo explicativo de sete minutos para apresentar, de maneira geral, as motivações do trabalho, além do funcionamento do algoritmo, do protótipo e do sistema<sup>3</sup>. Além das perguntas avaliativas do projeto, os usuários colocaram seus e-mails para identificação, o que tornou as respostas do formulário não anônimas. Todas as perguntas de múltipla escolha tiveram cinco alternativas, onde os níveis variam desde 1, representando valor baixo, e 5, como valor alto.

<sup>3</sup> Disponível em: [https://youtu.be/\\_QirETabkNM](https://youtu.be/_QirETabkNM)

## 4 RESULTADOS

Neste capítulo são mostrados e discutidos os resultados de avaliação do sistema. Primeiramente, na Seção 4.1, é apresentado os resultados do formulário respondido pelos participantes de equipes de competição, enquanto na Seção 4.2 é discutida a avaliação do sistema quanto ao consumo de recursos e quanto aos aspectos qualitativos observados pelos usuários.

### 4.1 AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO SISTEMA

Nesta seção são apresentados os resultados do questionário descrito na Seção 3.6, comparando as diferenças de respostas dos avaliadores entre as duas etapas, ou seja, sem a implementação do sistema na primeira parte e, na segunda etapa, como seriam os resultados com essa implementação nos veículos.

#### 4.1.1 Primeira etapa

A primeira etapa foi composta por quatro perguntas obrigatórias para resposta, sendo uma descritiva (para preenchimento do e-mail) e três de múltipla escolha. A primeira pergunta foi a descritiva, perguntando qual a equipe de competição que o avaliador pertence, havendo 11 respostas de integrantes da equipe Fórmula CEM e 2 respostas da equipe EFICEM, ambas da UFSC.

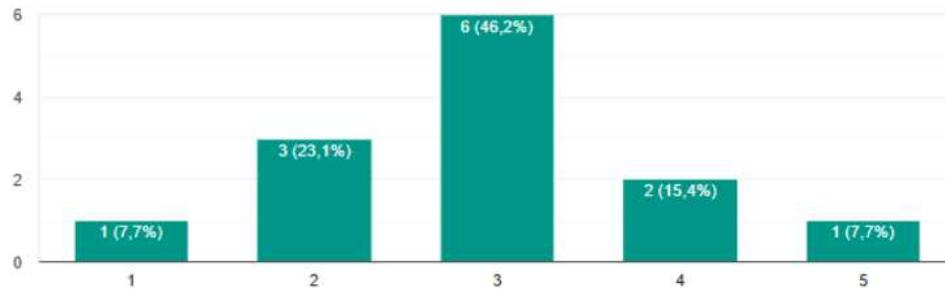
A segunda pergunta, como pode ser visto na Figura 20, questiona sobre a quantidade de acesso aos dados coletados que o piloto tem acesso enquanto percorre a pista. Além disso, são mostradas todas as respostas para essa pergunta, com a maior quantidade de respostas no valor de 3, com 6 respostas. Esse resultado mostra que, apesar de haver um equilíbrio entre as percepções de alto (3 respostas maiores que 3) e baixo acesso (4 para menores que 3), a maioria entende que o piloto não tem acesso suficiente às informações durante a prova.

A terceira pergunta, mostrada na Figura 21, indaga sobre a melhoria de desempenho nas voltas que esse acesso aos dados possibilitaria para o piloto. As respostas para essa pergunta também são apresentadas, sendo que a maior quantidade de avaliações foi para o valor 2, com 4 respostas. Porém, nota-se uma variação na perspectiva geral da avaliação dessa pergunta, indicando não haver uma resposta clara e igual entre os integrantes das equipes.

A quarta pergunta, a última da primeira etapa, é mostrada na Figura 22, e questiona sobre o quanto o piloto consegue identificar se a volta que ele está fazendo atualmente está sendo melhor ou pior que as voltas anteriores. Nota-se nas respostas

Figura 20 – Segunda pergunta

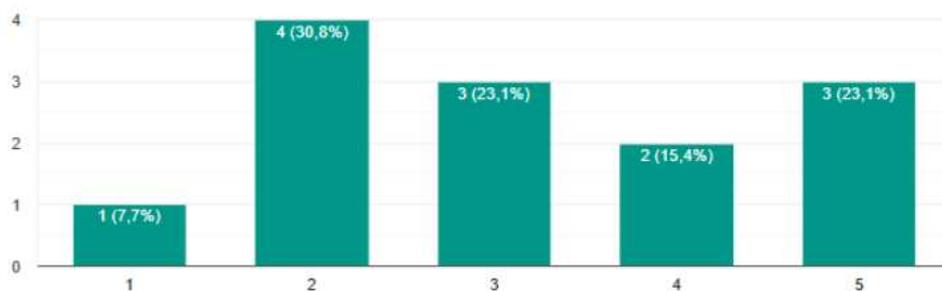
O quanto o piloto tem de acesso às informações coletadas pelo veículo enquanto faz a prova?  
(1 para baixo acesso e 5 para alto acesso)



Fonte: Autor (2024).

Figura 21 – Terceira pergunta

Em quanto esse acesso aos dados possibilita uma melhora nos tempos de volta do piloto? \*  
(1 para baixa melhora e 5 para alta melhora)



Fonte: Autor (2024).

para a quarta pergunta uma tendência para valores mais baixos e médios, havendo somente uma resposta para o valor 5.

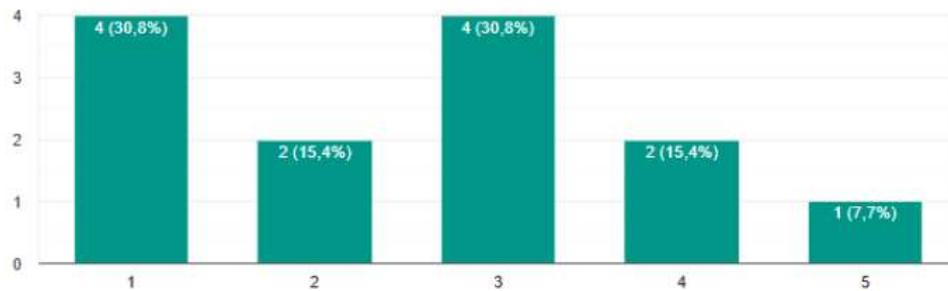
#### 4.1.2 Segunda etapa

As três primeiras perguntas da segunda etapa são equivalentes às perguntas de múltipla escolha da primeira etapa, mas considerando a implementação desse projeto no veículo da equipe. Dessa forma, pode-se avaliar como o desempenho do piloto pode ser aprimorado se implementar esse projeto num veículo de equipe de competição.

Na quinta pergunta, relacionada à segunda da primeira etapa, questiona-se o quanto haveria de acesso às informações para o piloto ao haver a implementação do trabalho no veículo da equipe de competição, como pode ser visto na Figura 23. Apresenta-se também as respostas para essa pergunta, notando que a maior concentração de notas que estava em 3 passou para 4, além de diminuir para zero as avaliações em 2.

Figura 22 – Quarta pergunta

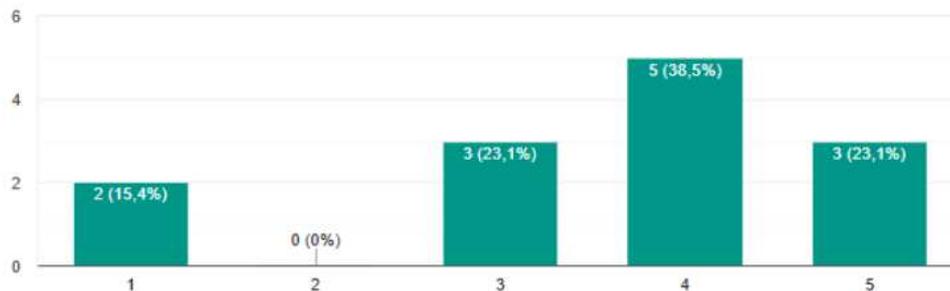
Como você avalia o nível de conhecimento do piloto quanto ao seu desempenho na volta atual em comparação com as anteriores? Por exemplo, na volta atual, o piloto consegue identificar se está performando melhor ou pior que em outras voltas?  
(1 para baixo conhecimento e 5 para alto conhecimento)



Fonte: Autor (2024).

Figura 23 – Quinta pergunta

O quanto o piloto teria de acesso às informações coletadas pelo veículo enquanto faz a prova?  
(1 para baixo acesso e 5 para alto acesso)



Fonte: Autor (2024).

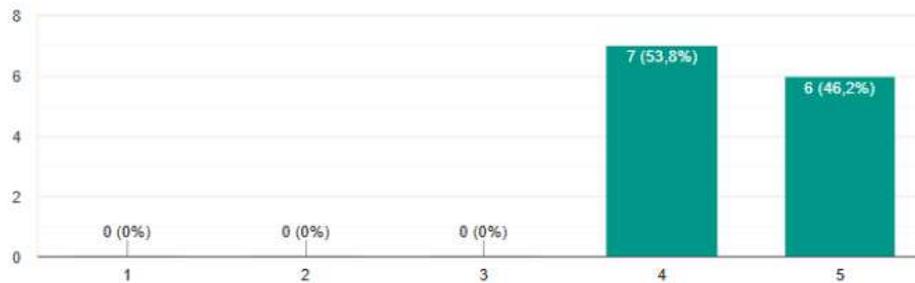
A sexta pergunta, relacionada à terceira da primeira etapa, indaga o quanto esse acesso aos dados possibilitaria ao piloto uma melhora no desempenho das voltas, como pode ser visto na Figura 24. Comparando a avaliação da terceira pergunta, onde haviam oito respostas com valores de 1 a 3, incluindo esses, nota-se uma melhora, pois, pode ser visto na Figura 24 que nenhuma avaliação ficou nessa região.

A sétima pergunta é uma adaptação da quarta, onde o intuito é compreender em quanto o piloto conseguiria entender qual a relação de desempenho da volta atual com as voltas passadas, conforme demonstrado na Figura 25. Percebe-se também que não houve notas abaixo de 3, e somente uma igual a 3, enquanto na quarta a maior concentração estava em 1 e 3, demonstrando uma melhora na percepção do piloto quanto ao desempenho na volta atual.

Por fim, foi avaliado no âmbito geral o trabalho desenvolvido, conforme é mostrado Figura 26, onde se mostra a pergunta e respostas de avaliação, com uma res-

Figura 24 – Sexta pergunta

Em quanto esse acesso aos dados possibilitaria uma melhora nos tempos de volta do piloto?  
(1 para baixa melhoria e 5 para alta melhoria)

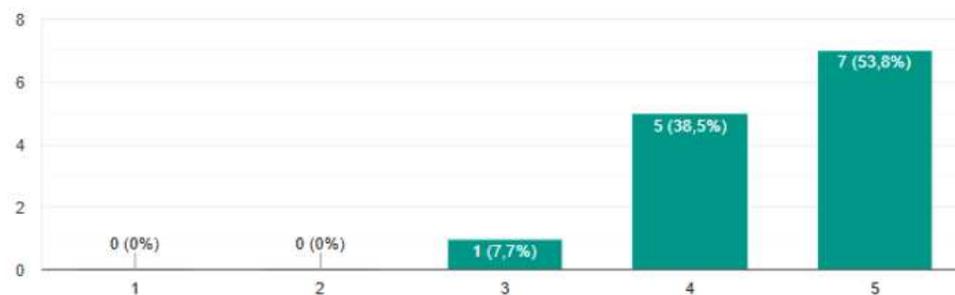


Fonte: Autor (2024).

Figura 25 – Sétima pergunta

Como você avalia o nível de conhecimento do piloto quanto ao seu desempenho na volta atual em comparação com as anteriores, após a implementação do projeto? Por exemplo, na volta atual, o piloto conseguiria identificar se está performando melhor ou pior que em outras voltas?

(1 para baixo conhecimento e 5 para alto conhecimento)



Fonte: Autor (2024).

posta em 3, uma em 4 e onze respostas em 5. Nota-se que houve um aumento significativo nas notas com relação ao desempenho do piloto, havendo a implementação do sistema nos veículos de equipes de competição.

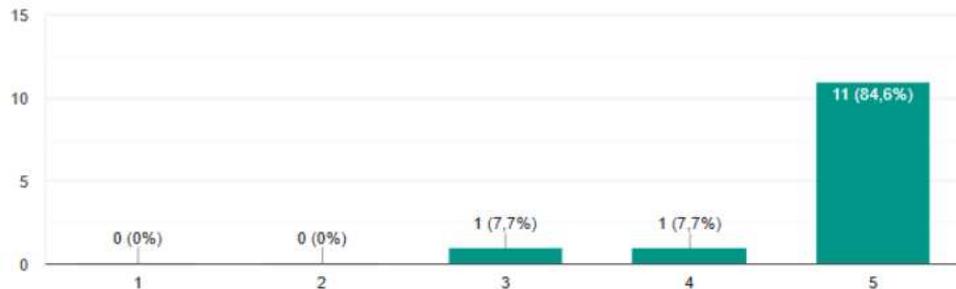
De modo mais detalhado, o piloto teria maior acesso aos dados do veículo caso o sistema fosse implementado, pois os dados de velocidade e volta atual estão em destaque na tela de visualização. Ao implementar o sistema também há um acréscimo significativo para a melhora no tempo de volta do piloto, sendo que este é o principal objetivo da corrida.

A pergunta que teve o aumento mais significativo de notas, da terceira para a sexta, mostra que o piloto pode ter maior consciência do desempenho da volta atual com relação às voltas anteriores, podendo compreender se está evoluindo na prova. Com relação à última pergunta, o trabalho apresentou um desempenho de avaliação predominantemente com notas altas, o que mostra que a implementação do trabalho

pode agregar robustez aos trabalhos das equipes de competição.

Figura 26 – Oitava pergunta

Qual a sua avaliação geral para o trabalho desenvolvido?



Fonte: Autor (2024).

## 4.2 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DO SISTEMA

Nesta seção serão apresentadas medições realizadas para testes de memória e os resultados obtidos no teste efetuado com os dados da equipe Fórmula CEM, tal como descrito na Seção 3.5. Para cada uma das voltas será mostrado:

- uma vista superior da volta, juntamente com a melhor volta e as regiões geradas;
- o tempo do percurso e se possui tempo inferior à melhor volta;
- quantidade de erros por não identificar o ponto com a respectiva região.

### 4.2.1 Medições

Os testes realizados nesta seção visam mostrar de maneira aproximada como se comporta o sistema com relação à memória consumida pelos programas e o tempo de resposta do projeto. Para executar o código foi utilizado um notebook com processador Intel i7-9750H e uma memória de 16 GB de RAM com 6 GB em cache.

Foram feitos testes para mensurar o atraso de visualização, medindo a diferença de tempo em que `EscreveDados.py` escreve os valores no arquivo de dados e o momento em que `LeDados.py` apresenta o dado lido para visualização. Foram utilizados 143 pontos numa volta de teste, onde o tempo médio foi de 0,202s e o desvio padrão foi de 0,098s.

Também foram medidos o uso de memória dos processos, tanto para as funções de leitura quanto de escrita dos dados. No caso de escrita, em 86 amostras coletadas a cada 1s, obteve-se uma média de 15,109MB, com desvio padrão de 0,024MB, enquanto para a função de leitura foram coletados 113 amostras, com uma média de 54,060MB e desvio padrão de 0,142MB.

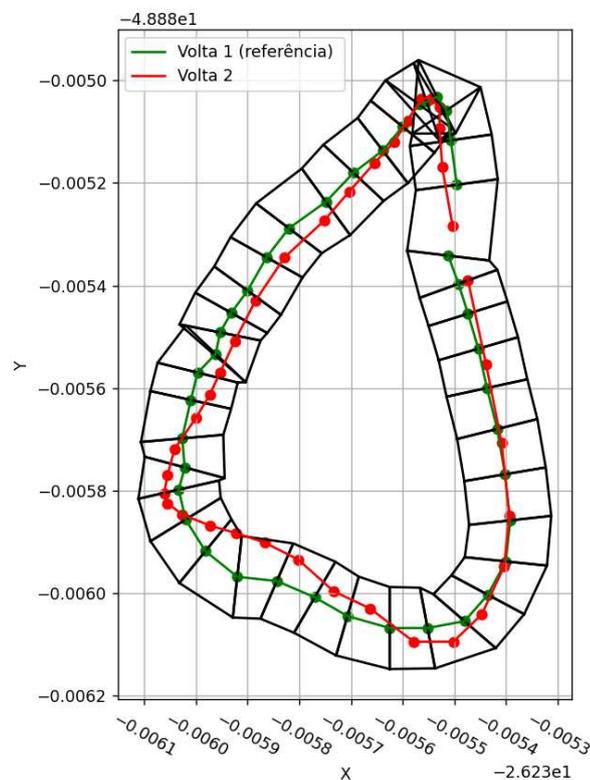
É importante ressaltar que como nos testes feitos não estão sendo coletados os dados dos sensores, mas utilizados esses dados de uma base de dados, não há o tempo de atraso para captura e envio por parte dos sensores. Porém, numa implementação real, esse tempo pode ser significativo, e, portanto, considerado nos cálculos de atraso para visualização.

#### 4.2.2 Primeira e segunda volta

Como discutido na Seção 3.3.2.2, na primeira volta só se pode executar o algoritmo quando o sistema foi alimentado com uma volta prévia, o que não foi o caso nesse teste. Portanto, mostra-se na Figura 12b a imagem da vista superior da primeira volta, com 40 pontos, bem como as respectivas regiões geradas

Pode-se ver a comparação entre o percurso da primeira (referência) e segunda volta na Figura 27, onde em preto estão as regiões, em verde a primeira volta e em vermelho a segunda volta. Percebe-se que são voltas relativamente semelhantes, com diferenças em poucos percursos, o que é um ponto positivo para o algoritmo poder desempenhar melhor, já que os pontos da segunda volta se encontram majoritariamente dentro das regiões.

Figura 27 – Segunda volta com as regiões e pontos da primeira volta



Fonte: Autor (2024).

Nesse caso, podemos ver que nenhum dos pontos se encontra fora das regiões, sem ocasionar erros nos cálculos e podendo informar ao piloto todas as regiões.

Na Figura 28 pode-se ver o log de saída dessa volta, onde se mostra que a volta atual foi percorrida em 35s, enquanto a volta de referência havia demorado 39s, portanto há a atualização da volta de referência.

Figura 28 – Logs da segunda volta

```
Dados da volta atual:
Primeiro dado: [40.0, '20:23:08.000000', 1.0, -26.23547333, -48.88539, 12.943, 1.0]
Último dado: [75, '20:23:43.000000', 1, -26.23550333, -48.88528333, 7.602, 1.0]
Tempo da volta atual: 0:00:35

Dados da melhor volta:
Primeiro dado: [0.0, '20:22:28.000000', 0.0, -26.23551167, -48.88534167, 4.866, 1.0]
Último dado: [39, '20:23:07.000000', 0, -26.235495, -48.88520333, 5.27, 1.0]
Tempo da melhor volta: 0:00:39

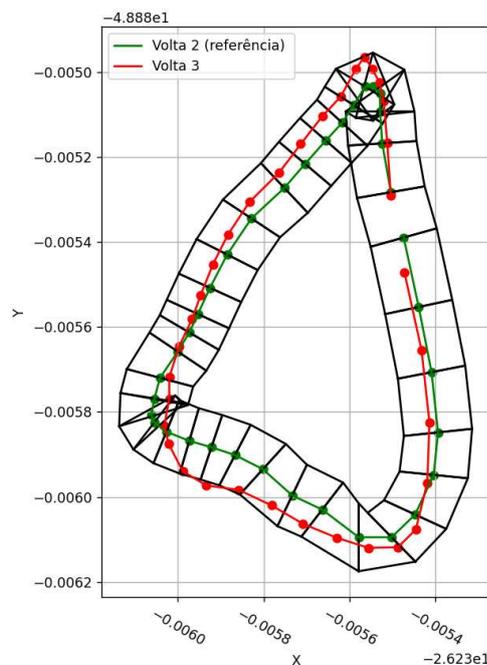
--> A melhor volta será atualizada
```

Fonte: Autor (2024).

### 4.2.3 Terceira volta

Na Figura 29 mostra-se a terceira volta percorrida utilizando as regiões geradas na segunda volta, onde um dos pontos ficou localizado fora dessas áreas. No log dessa volta, mostrado na Figura 30, pode ser visto que o índice do ponto era 87. Além disso, percebe-se também na imagem que o tempo para a volta 3 foi de 33s, ocorrendo uma atualização da melhor volta.

Figura 29 – Terceira volta com as regiões e pontos da segunda volta



Fonte: Autor (2024).

Figura 30 – Logs da terceira volta

```

qtdeErros = 1 , counter = 87

Dados da volta atual:
Primeiro dado: [76.0, '20:23:44.000000', 2.0, -26.23547167, -48.88547167, 14.901, 1.0]
Último dado: [109, '20:24:17.000000', 2, -26.23550333, -48.88529167, 8.3, 1.0]
Tempo da volta atual: 0:00:33

Dados da melhor volta:
Primeiro dado: [40.0, '20:23:08.000000', 1.0, -26.23547333, -48.88539, 12.943, 1.0]
Último dado: [75, '20:23:43.000000', 1, -26.23550333, -48.88528333, 7.602, 1.0]
Tempo da melhor volta: 0:00:35

--> A melhor volta será atualizada

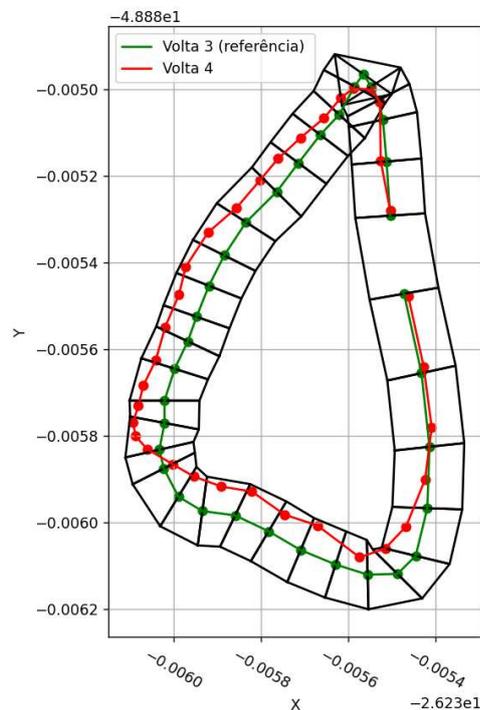
```

Fonte: Autor (2024).

#### 4.2.4 Quarta volta

A quarta volta, que possuiu a terceira como referência, também teve os pontos localizados nas áreas geradas com base na melhor volta, como pode ser visto na Figura 31. Além disso, o tempo do percurso da terceira e quarta volta foi o mesmo, 33s, e, portanto, não houve atualização da volta de referência, haja visto que para isso ocorrer deve-se possuir tempo inferior.

Figura 31 – Quarta volta com as regiões e pontos da terceira volta



Fonte: Autor (2024).

#### 4.2.5 Quinta volta

A quinta volta divergiu mais da volta de referência, a terceira, assim como pode ser visualizado na Figura 33, especialmente no segundo quarto da volta. Essa

Figura 32 – Logs da quarta volta

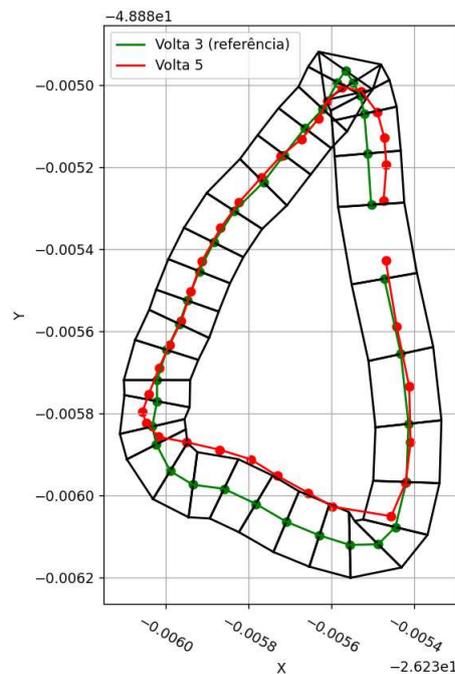
Dados da volta atual:  
 Primeiro dado: [110.0, '20:24:18.000000', 3.0, -26.23546167, -48.88547833, 14.284, 1.0]  
 Último dado: [143, '20:24:51.000000', 3, -26.23550333, -48.88528, 10.005, 1.0]  
 Tempo da volta atual: 0:00:33

Dados da melhor volta:  
 Primeiro dado: [76.0, '20:23:44.000000', 2.0, -26.23547167, -48.88547167, 14.901, 1.0]  
 Último dado: [109, '20:24:17.000000', 2, -26.23550333, -48.88529167, 8.3, 1.0]  
 Tempo da melhor volta: 0:00:33

Fonte: Autor (2024).

distância impacta diretamente no desempenho do algoritmo, como pode ser analisado na Figura 34, onde nos pontos de índice igual a 151, 152, 153 e 154 houve falhas em encontrar a região de referência. Ademais, o tempo do percurso foi de 34s, não ocasionando uma mudança na volta na melhor volta.

Figura 33 – Quinta volta com as regiões e pontos da terceira volta



Fonte: Autor (2024).

#### 4.2.6 Sexta volta

A sexta e última volta, tal como a quinta, teve um percurso um pouco alterado em determinada região, assim como está demonstrado na Figura 35. Por conta disso, houve erros nos pontos de número 184, 185, 186 e 189. Com relação aos tempos, o tempo de percurso foi exatamente o mesmo que a melhor volta, não havendo atualização na referência.

Figura 34 – Logs da quinta volta

```

qtdeErros = 2 , counter = 151
qtdeErros = 3 , counter = 152
qtdeErros = 4 , counter = 153
qtdeErros = 5 , counter = 154

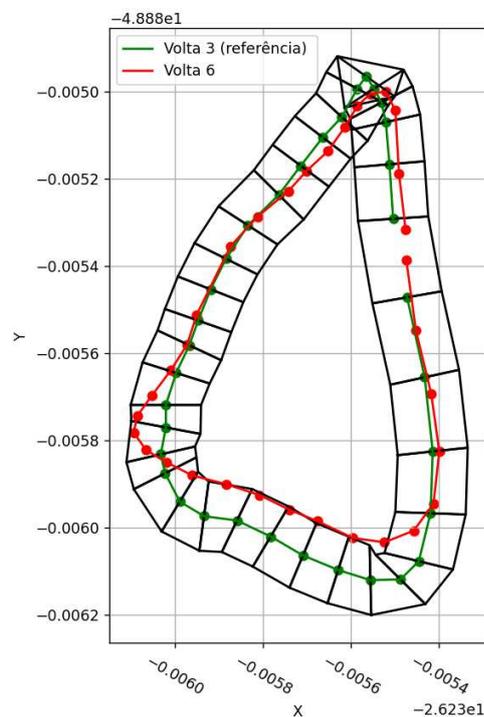
Dados da volta atual:
Primeiro dado: [144.0, '20:24:52.000000', 4.0, -26.23546833, -48.88542667, 14.343, 1.0]
Último dado: [177, '20:25:26.000000', 4, -26.23547333, -48.88528167, 7.441, 1.0]
Tempo da volta atual: 0:00:34

Dados da melhor volta:
Primeiro dado: [76.0, '20:23:44.000000', 2.0, -26.23547167, -48.88547167, 14.901, 1.0]
Último dado: [109, '20:24:17.000000', 2, -26.23550333, -48.88529167, 8.3, 1.0]
Tempo da melhor volta: 0:00:33

```

Fonte: Autor (2024).

Figura 35 – Sexta volta com as regiões e pontos da terceira volta



Fonte: Autor (2024).

### 4.3 DISCUSSÕES E LIMITAÇÕES

O desempenho geral do algoritmo ao longo dos testes executados com os dados da equipe de competição foi que dentre 171 pontos em que se verificou a posição com relação às regiões geradas, 9 possuíam erros ao serem identificados, com um erro percentual de 5,26%. Como discutido na Seção 4.3, esse erro é causado por não poder aumentar tanto o valor de `maxLaneWidth`, para evitar prejuízos em curvas fechadas.

Nesse percurso houveram duas atualizações de melhor volta, da primeira para a segunda e da segunda para a terceira, ambas com diminuição de 2s no tempo de referência. Com isso, o piloto conseguiria entender que estava melhorando seu de-

Figura 36 – Logs da sexta volta

```

qtdeErros = 6 , counter = 184
qtdeErros = 7 , counter = 185
qtdeErros = 8 , counter = 186
qtdeErros = 9 , counter = 189

Dados da volta atual:
Primeiro dado: [178.0, '20:25:27.000000', 5.0, -26.23547333, -48.88538667, 8.491, 1.0]
Último dado: [210, '20:26:00.000000', 5, -26.235475, -48.88531667, 11.087, 1.0]
Tempo da volta atual: 0:00:33

Dados da melhor volta:
Primeiro dado: [76.0, '20:23:44.000000', 2.0, -26.23547167, -48.88547167, 14.901, 1.0]
Último dado: [109, '20:24:17.000000', 2, -26.23550333, -48.88529167, 8.3, 1.0]
Tempo da melhor volta: 0:00:33

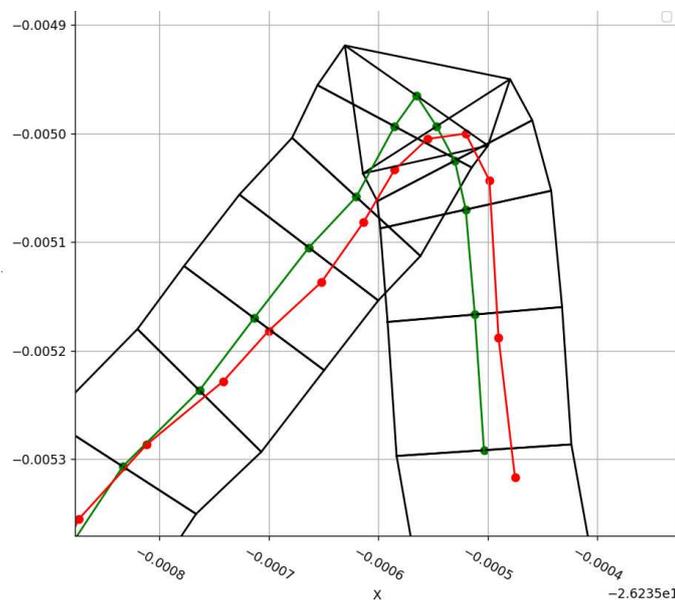
```

Fonte: Autor (2024).

sempenho e compreender por onde poderia percorrer a pista para alcançar melhores resultados.

Em geral, os erros comentados ocorreram por conta do valor de `maxLaneWidth` ser menor que o devido, porém ao aumentá-lo, haveria um prejuízo na acurácia das regiões com curva, pois gerariam muitas sobreposições. A Figura 37 mostra que essas regiões sobrepostas causam uma confusão na identificação da posição do algoritmo, sendo que, se um ponto está dentro de mais de uma região, a região escolhida será a primeira encontrada.

Figura 37 – Regiões com sobreposição



Fonte: Autor (2024).

Como abordagem para contornar o problema, tentou-se diminuir as áreas das regiões que continham intersecção entre elas, mas não foi uma saída válida pois muitos pontos não encontravam regiões válidas após utilizar essa alternativa. Esse erro gerado afeta na acurácia da visualização do piloto em curvas mais fechadas, porém não ocorre em curvas abertas ou retas.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando o contexto das equipes de competição universitárias, em que os times desenvolvem veículos visando adentrar no contexto da engenharia em projetos reais, é importante que os pilotos tenham acesso aos dados gerados pelo veículo que se está conduzindo. Porém, em muitos desses projetos, devido às limitações de custo e desenvolvimento, as equipes só podem analisar os dados após a corrida, fazendo com que o piloto não tenha acesso aos dados em tempo de prova.

Dessa forma, teve-se como objetivo desenvolver um método para que os dados coletados pelo veículo ao longo de uma corrida possam ser apresentados de maneira intuitiva ao piloto em tempo de prova. Desenvolveu-se um algoritmo para determinar, com base na posição atual, qual era o trajeto percorrido pelo piloto na melhor volta, possibilitando que o condutor possua mais informações nas decisões da prova. Para isso, foram utilizados métodos de comunicação para as interfaces de coleta de dados e de tratamentos desses, visando maior robustez do sistema. Além disso, foi desenvolvido um protótipo para testes do algoritmo projetado, com o objetivo de compreender as características e limitações do trabalho.

Com isso, o sistema foi avaliado quanto ao desempenho no uso de memória, requisito importante para os componentes eletrônicos dos veículos de competição, além de avaliar em quais trajetos o sistema se comporta de modo mais preciso. Nessa análise, o trabalho apresentou números relevantes de acertos na detecção das posições atuais, referenciadas na melhor volta, mas com certa limitação na precisão nas curvas mais fechadas da pista.

Também foi feita uma análise qualitativa do trabalho, mediante um questionário para membros de equipes de competição da UFSC, visando avaliar o cumprimento dos objetivos propostos pelo trabalho. Nesses resultados, o trabalho se mostrou coerente, uma vez que os avaliadores perceberam um aumento do acesso do piloto aos dados da prova em tempo real, numa possível implementação no veículo.

Como o projeto se tratou do desenvolvimento do algoritmo para projeção de pontos e do protótipo com dados coletados por uma equipe de competição, mostra-se relevante que num trabalho futuro seja implementado como um HUD esse projeto, visando melhorar o desempenho dos pilotos de equipes de competição nas provas. Além disso, é interessante ser utilizado mais sensores visando coletar dados para alimentar o sistema e filtrar todos os valores relevantes para mostrar ao condutor.

Atualmente, o sistema desenvolvido possui a capacidade de avaliar o desempenho do piloto quanto ao tempo de prova, ou seja, quão rápido o condutor percorreu o circuito em determinada volta. Com isso, caso haja necessidade de se avaliar o desempenho do piloto quanto à eficiência energética, uma proposta de trabalho fu-

turo é adaptar o sistema para que, recebendo dados de consumo ao longo do trajeto, possa considerar qual foi a melhor volta no quesito energético, mudando o critério de desempenho.

O método utilizado para criação das regiões foi de interpolação linear entre os pontos de posição armazenados pelo veículo, porém apresentando algumas limitações por essa aproximação. Como solução, pode-se utilizar numa próxima abordagem outras formas de aproximar as localizações entre os pontos, como com interpolações quadráticas ou cúbicas.

Como proposta de próximos projetos, pode-se adotar um método para colocar a pista como entrada (input), alterando a maneira que são criadas as regiões, visando cobrir completamente a pista percorrida. Outra proposta de trabalho futuro é apresentar na tela de visualização do piloto o tempo estimado que falta para esse terminar a volta atual, calculando com base na melhor volta ou com uma média das voltas anteriores. Ainda, é possível apresentar o melhor trajeto por trechos (por exemplo, antes e após curvas), ao invés da volta inteira, o que possivelmente permitiria a redução do tempo global da volta.

Pode-se tentar outras abordagens visando resolver os problemas citados em curvas mais fechadas, com o comprimento do segmento de reta utilizado para criação das regiões variando conforme o ângulo da curva atual. Outra possível forma de solução é utilizar alguma outra forma de regiões, como triângulos, visando evitar a intersecção das áreas.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, W. O. D. **Telemetria aplicada a monitoração cardíaca**. 2016. Monografia (Especialização em Gerência de Redes e Tecnologia Internet) — Instituto Tércio Pacitti de Aplicações e Pesquisas Computacionais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.
- ANKITH, G. *et al.* Calibrated heads-up display. **INTERANTIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC RESEARCH IN ENGINEERING AND MANAGEMENT**, 2022.
- BOWMAN, B.; ELMQVIST, N.; JANKUN-KELLY, T. Toward visualization for games: Theory, design space, and patterns. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 18, n. 11, p. 1956–1968, 2012.
- CHAIMOVICH, H. Por uma relação mutuamente proveitosa entre universidade de pesquisa e empresas. **Revista de Administração da USP**, v. 34, n. 4, p. 18–22, 1999.
- CHARISSIS, V. *et al.* Driving simulator for head-up display evaluation: driver's response time on accident simulation cases. *In*: JAPAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **Proceedings of the Driving Simulation Conference, Asia/Pacific DSC'06**. 2006.
- CUNHA, W. J. **Sistema de assistência para pilotos de automobilismo aplicado para pilotos amadores de Kart**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) — Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.
- DE-LAS-HERAS, G.; SANCHEZ-SORIANO, J.; PUERTAS, E. Advanced driver assistance systems (adas) based on machine learning techniques for the detection and transcription of variable message signs on roads. **Sensors**, v. 21, n. 17, p. 5866, 2021.
- DIAS, G. P.; QUEIROZ, D.; MANTOVANI, E. C. Automação e instrumentação para agricultura de precisão. *In*: IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, Poços de Caldas . **Anais [...]**. 1998. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/480807/1/Automacaoinstrumentacao.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2023.
- FAN, B.; MA, J. *et al.* A rule based reasoning system for initiating passive adas warnings without driving distraction through an ontological approach. *In*: IEEE. **2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)**. 2018. p. 3511–3517.
- FOROUZAN, B. A. **Comunicação de dados e redes de computadores**. Porto Alegre: AMGH Editora, 2009.
- GAMINGSTYLEZ. **Gran Turismo 5 Gold License IC-3**. 2011. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=zSgIy5NWn3s>. Acesso em: 20 nov. 2024.

- GOLFETTO, I. F. **Modelo de curadoria aplicada à sinalização digital de interface gráfica para visualização de dados de produções acadêmicas**. 2018. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento, Florianópolis, 2018.
- LAURO, L. F. S.; BERNARDI, L. A. **Unidade de telemetria, armazenamento e visualização de dados embarcado em um carro de Fórmula SAE**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Eletrônica) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2021.
- LOBÃO, D. C. **Introdução aos métodos numéricos**. Volta Redonda, RJ: Universidade Federal Fluminense, 2017.
- MARCHESIN, F. P. **Análise de desempenho de veículos do tipo Formula**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Controle e Automação Mecânica) — Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- CANO MARIN, E. *et al.* Head-up displays in driving. **Intell. Transp. Syst. Proj., University Carlos III de Madrid, Spain**, 2016.
- MEDLER, B. Generations of game analytics, achievements and high scores. **Eludamos: Journal for Computer Game Culture**, v. 3, n. 2, p. 177–194, 2009.
- MICHAELIS. **Telemetria**. 2023. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/TELEMETRIA/>. Acesso em: 06 nov. 2023.
- MIOTTO, J. V. A. **Desenvolvimento de sistema de telemetria para protótipo de carro elétrico aplicado a competições de eficiência energética**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecatrônica) — Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2023.
- MIURA, J. S.; MARUYAMA, N. **Análise da rigidez estrutural de um fórmula SAE**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Mecatrônica) — Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.
- NAVET, N.; SIMONOT-LION, F. **Automotive embedded systems handbook**. Boca Raton: CRC press, 2017.
- OLIVEIRA, A. S. **Uma leitura outra: visualização de livros e de bibliotecas pessoais**. 2012. Tese (Doutorado Multi-Institucional e Multidisciplinar em Difusão do Conhecimento) — Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.
- PASSOS, L. G.; BAZANI, M. A. Competições sae. *In*: CONGRESSO DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA DA UNESP, 1 a 2 de outubro de 2015. **Anais [...]**. Universidade Estadual Paulista, 2015. p. 1–5. Disponível em: <http://vm-ojs2.reitoria.unesp.br/index.php/congressoextensao/8congressoextensao/paper/viewFile/1560/792>. Acesso em: 27 nov. 2023.
- RODGERS, A. R. Chapter 4 - recent telemetry technology. *In*: MILLSPAUGH, J. J.; MARZLUFF, J. M. (Ed.). **Radio Tracking and Animal Populations**. San Diego: Academic Press, 2001. p. 79–121. ISBN 978-0-12-497781-5.

SEN, S. K. **Data Communication**. New York: CRC Press, 2012.

SHELL. **Shell Eco-Marathon Brasil**. 2022. Disponível em: <https://www.shell.com.br/energia-e-inovacao/ecomarathon/cobertura-ao-vivo.html#:~:text=No%20evento%2C%20cada%20ve%C3%ADculo%20deve,menor%20quantidade%20de%20energia%2C%20vence!> Acesso em: 18 nov. 2024.

SHELL. **Shell Eco-Marathon Brasil**. 2023. Disponível em: <https://www.shell.com.br/energia-e-inovacao/ecomarathon/shell-eco-marathon-brasil>. Acesso em: 19 out. 2023.

SHELL. **Shell Eco-Marathon Brasil**. 2023. Disponível em: <https://www.shell.com.br/sobre-a-shell.html>. Acesso em: 19 out. 2023.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. **Fórmula SAE Brasil**. 2023. Disponível em: <https://saebrasil.org.br/programas-estudantis/formula-sae-brasil/>. Acesso em: 19 out. 2023.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. **Fórmula SAE Brasil**. 2023. Disponível em: <https://saebrasil.org.br/programas-estudantis/baja-sae-brasil/>. Acesso em: 11 nov. 2023.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. **Fórmula SAE Brasil**. 2023. Disponível em: <https://saebrasil.org.br/quem-somos/>. Acesso em: 12 nov. 2023.

STOLL, M. *et al.* Racecar tracking and its visualization using sparse data. **Proc. Workshop on Sports Data Visualization**, Stuttgart, 2013.

TAN, F. Y. **Development of Electric Formula SAE Real-time Telemetry Software**. 2011. Master Degree of the School of Electrical, Electronic and Computer Engineering — The University of Western Australia, Perth, 2011.

TEIXEIRA, F. C.; TOURNIER, D. R. Utilização de telemetria para diagnóstico automotivo à distância. **Blucher Engineering Proceedings**, v. 2, n. 1, p. 1–8, 2015.

ZAMMITTO, V. Visualization techniques in video games. *In*: BCS LEARNING & DEVELOPMENT. **Electronic Visualisation and the Arts (EVA 2008)**. 2008.