 

**Engenheiro de corrida com IA e Machine Learning: como melhorar o traçado de pilotos com técnicas de clusterização**

**Rafael Russo**

Faculdade de Computação e Informática (FCI)

Universidade Presbiteriana Mackenzie – São Paulo, SP – Brasil

10401195@mackenzista.com.br

***Resumo.*** *Engenheiros de corrida têm muitas responsabilidades entre ajudar o piloto e elaborar estratégias, podendo ficar sobrecarregados em momentos cruciais da corrida. Uma de suas tarefas principais é informar ao piloto quando ele está errando o traçado ideal e perdendo tempo, algo que demanda atenção constante. Como essa preocupação é constante, ajudar o engenheiro nesse ponto pode abrir espaço para ele pensar em estratégias melhores. Para fazer isso, uma clusterização de voltas de pilotos de Fórmula 1 será feita com dados de telemetria obtidos na biblioteca Fast-F1 (THEOEHRLY, 2024), assim identificando estilos diferentes de pilotagem e classificando a volta nova em um desses clusters. Com a classificação e os outros clusters criados, um modelo de machine learning identifica os setores que mais diferem das melhores voltas e com uma ferramenta text-to-speech fala ao piloto onde ele deve melhorar. Dessa maneira, o engenheiro do piloto consegue focar em outros pontos da corrida e melhor exercer suas responsabilidades.*

***Palavras-chave:*** *Machine Learning; AI; Telemetria; Engenheiro de corrida; Text-tospeech.*

***Summary.*** *Race engineers have numerous responsibilities, ranging from assisting the driver to crafting strategies, often leading to overwhelming workloads during critical race moments. One of their key duties is to notify the driver when they are missing the ideal racing line and losing time, a task that requires constant focus. As this is a constant concern, helping the engineer in this problem can open up space for him to think of better strategies. To do this, Formula 1 drivers laps will be clustered using telemetry data from the library Fast-F1 (THEOEHRLY, 2024), thus identifying different driving styles and classifying the new lap into one of these clusters. With the classification and the other clusters created, a machine learning model identifies the sectors that differ most from the best laps and, using a text-to-speech tool, tells the driver where he needs to improve. In this way, the driver's engineer can focus on other points of the race and better carry out his responsibilities.*

***Keywords:*** *Machine Learning; AI; Telemetry; Race engineer; Text-to-speech.*

# Introdução

A engenharia de corrida na Fórmula 1 envolve um conjunto vasto de responsabilidades, desde o suporte ao piloto até a criação de estratégias complexas durante a corrida. Entre essas responsabilidades, uma das mais críticas é garantir que o piloto siga o traçado ideal na pista, visando o melhor desempenho. No entanto, o foco constante nessa tarefa pode sobrecarregar o engenheiro, limitando seu tempo para desenvolver estratégias mais eficazes e, assim, afetar o resultado geral da equipe.

Neste artigo, explora-se o uso de inteligência artificial (IA) e aprendizado de máquina (ML) para auxiliar engenheiros de corrida ao identificar, de forma automatizada, quando o piloto está desviando do traçado ideal. Através da análise de dados de telemetria obtidos pela biblioteca de Python Fast-F1, voltas de pilotos são agrupadas em clusters, cada um representando diferentes estilos de pilotagem. Quando uma nova volta é realizada, ela é classificada em um desses clusters, e um modelo de ML identifica os setores onde há maior discrepância em relação às voltas mais rápidas. Usando uma ferramenta de text-to-speech, o piloto é informado em tempo real sobre os ajustes que deve realizar, permitindo ao engenheiro de corrida focar em outros aspectos da corrida, como a estratégia global.

O problema central abordado nesta pesquisa é a sobrecarga de responsabilidades do engenheiro de corrida, especificamente na tarefa de correção do traçado do piloto. A solução proposta visa preencher uma lacuna tecnológica: enquanto já existem ferramentas de análise de telemetria, a integração de um sistema de feedback automatizado em tempo real ainda é um desafio inexplorado. Ao automatizar o feedback sobre o traçado, acredita-se que o engenheiro poderá tomar decisões mais estratégicas, melhorando o desempenho da equipe.

O objetivo geral desta pesquisa é desenvolver um sistema de suporte ao engenheiro de corrida, utilizando telemetria, machine learning e text-to-speech para otimizar o desempenho do piloto em tempo real. Para alcançar esse sistema, os seguintes pontos serão investigados:

1. Coletar e processar dados de telemetria de voltas anteriores para a criação de clusters representando diferentes estilos de pilotagem.
2. Desenvolver e treinar um modelo de aprendizado de máquina para classificar voltas em tempo real e identificar setores com discrepâncias em relação às voltas ideais.
3. Implementar uma ferramenta de feedback com base em text-to-speech que informe o piloto sobre correções no traçado durante a corrida.

A relevância desta pesquisa está na inovação da aplicação de IA no contexto de engenharia de corrida, promovendo maior eficiência nas decisões estratégicas e no gerenciamento de informações em tempo real. A contribuição deste trabalho oferece uma abordagem mais eficaz para o suporte ao piloto, aliviando o engenheiro de preocupações operacionais e permitindo que ele dedique mais tempo a questões táticas e estratégicas.

# Referencial Teórico

O uso de inteligência artificial (IA), aprendizado de máquina (machine learning) e dados de telemetria tem transformado o cenário do automobilismo, permitindo avanços significativos na análise de desempenho dos pilotos e na tomada de decisões estratégicas. Esta seção abordará os principais conceitos e estudos relevantes que embasam o desenvolvimento de soluções automatizadas para a melhoria da performance em corridas de Fórmula 1 ou no automobilismo em geral, com foco na otimização do traçado de volta, no processamento de dados de telemetria e no uso de ferramentas de machine learning para identificar áreas de melhoria.

A telemetria desempenha um papel fundamental no automobilismo, permitindo a coleta e análise em tempo real de uma vasta gama de dados gerados pelos carros durante a corrida. Segundo Segers (2014), a interpretação correta dos dados de telemetria é essencial para entender o comportamento do carro em diferentes momentos da corrida. Esses dados incluem velocidade, aceleração, uso dos freios, consumo de combustível e temperaturas dos componentes, fornecendo uma visão abrangente das condições do veículo e do estilo de condução do piloto.

O uso desses dados para a otimização da performance tem sido abordado em diversas pesquisas, como o trabalho de Bugeja et al. (2017), que propôs um algoritmo de otimização com base em telemetria para melhorar o desempenho de pilotos em simuladores de corrida. Ao fornecer feedback detalhado sobre a performance do piloto em áreas críticas da corrida, como o traçado de curva, é possível identificar pontos específicos onde o desempenho pode ser otimizado, levando a uma redução significativa nos tempos de volta.

A aplicação de aprendizado de máquina no automobilismo tem evoluído rapidamente, especialmente no que diz respeito à análise e modelagem de estilos de condução. Estudos como o de Fuchs et al. (2021) mostraram que o uso de deep reinforcement learning pode superar o desempenho humano em simuladores de corrida. Ao simular diferentes cenários de corrida e treinar agentes para otimizar o traçado, esses sistemas são capazes de encontrar soluções que levam a tempos de volta menores, o que pode ser aproveitado no contexto de Fórmula 1 para auxiliar engenheiros de corrida a identificar o traçado ideal.

Em termos de clusterização de estilos de condução, Tâtulea-Codrean et al. (2020) investigaram o uso de machine learning para classificar diferentes estilos de pilotagem, utilizando dados como coordenadas geográficas dos carros para analisar o comportamento dos pilotos em circuitos. Esse tipo de abordagem permite a comparação entre os estilos de diferentes pilotos e a criação de grupos (clusters) que facilitam a análise comparativa de suas performances.

Além da otimização de desempenho individual dos pilotos, a IA também tem sido amplamente aplicada no planejamento de trajetórias e na definição de estratégias de corrida. Garlick e Bradley (2021) exploraram o uso de machine learning para o planejamento de trajetórias ótimas em veículos autônomos, o que também se aplica ao contexto de simulação de tempo de volta em corridas. A velocidade e eficiência com que esses algoritmos processam grandes volumes de dados de telemetria para encontrar o melhor traçado representam um avanço importante na tomada de decisões em tempo real durante a corrida.

Estudos como o de Boettinger e Klotz (2023) ampliaram essa abordagem para incluir decisões estratégicas, como o momento ideal para pit stops, utilizando IA para calcular não apenas a melhor trajetória, mas também para otimizar a estratégia geral da corrida com base em dados estatísticos e telemetria.

A comparação entre a performance de pilotos humanos e sistemas automatizados tem sido um tema central na aplicação de IA no automobilismo. Remonda et al. (2021) compararam o comportamento de pilotos humanos com algoritmos de direção autônoma em simuladores de corrida, concluindo que os algoritmos de IA frequentemente conseguem traçar rotas mais otimizadas e consistentes do que os humanos, especialmente em situações de alta pressão e velocidade.

Em outra pesquisa, Remonda et al. (2022) investigaram o uso de deep reinforcement learning para pilotagem autônoma em corridas, utilizando dados de telemetria para ensinar os sistemas a generalizar traçados em diferentes circuitos. Esse tipo de abordagem é particularmente útil em corridas de Formula 1, onde o layout dos circuitos varia significativamente e o piloto deve adaptar rapidamente seu estilo de condução para cada nova pista.

Uma área emergente no uso de IA para o automobilismo é a avaliação automática de voltas e a classificação de pilotos com base em seu desempenho. O trabalho de Schleinitz et al. (2022) propõe o uso de um modelo físico combinado com aprendizado de máquina para avaliar voltas de pilotos em simuladores de corrida, gerando “scores” que refletem a qualidade da volta com base em diversos critérios de performance. Esse sistema pode ser adaptado para a Fórmula 1, permitindo que os engenheiros de corrida identifiquem os setores onde o piloto está perdendo tempo em comparação com as voltas ideais.

Da mesma forma, o artigo de Schleinitz et al. (2021) utiliza um encoder auto-organizado para detectar anomalias em séries temporais multivariadas, o que pode ser aplicado na análise de dados de telemetria para identificar comportamentos atípicos ou erros críticos durante a condução.

# Metodologia

Os dados para a pesquisa de clusterização e treinamento de modelos de Machine

Learning (ML) e Inteligência Artificial (IA) serão extraídos da biblioteca em Python *Fast-F1* (THEOEHRLY, 2024). Essa biblioteca permite obter dados de coordenadas que podem ser utilizados para o desenho do traçado feito por um piloto, bem como dados de telemetria, como velocidade, RPM, marcha, pressão no pedal, freio e outros parâmetros relacionados ao desempenho do carro. Tais dados são essenciais para identificar mudanças que o piloto pode realizar para melhorar seu desempenho (SEGERS, 2014).

Todos os dados extraídos da biblioteca estão vinculados a uma marcação de tempo da corrida, o que possibilita reconstruir cada volta realizada por um piloto. A unificação da telemetria de cada volta em um formato unificado é fundamental para permitir a comparação entre as voltas e, consequentemente, realizar a clusterização. Métodos como Redes Neurais Recorrentes (RNNs) ou o Algoritmo de *Dynamic Time Warping* (DTW) serão empregados para esse propósito, como demonstrado em trabalhos prévios (REMÖNDA et al., 2021; BOETTINGER; KLOTZ, 2023). A volta de entrada, gerada pelo usuário, será então classificada em um dos clusters gerados.

Com a volta de entrada agrupada com outras de estilo similar, o programa irá calcular pontuações para cada volta dentro do cluster, considerando métricas como velocidade média e tempo de ativação do DRS. Essa análise pode ser realizada utilizando redes neurais do tipo *Long Short-Term Memory* (LSTM), que já demonstraram ser rápidas e suficientemente precisas em análises relacionadas ao desempenho automotivo (SCHLEINITZ et al., 2022).

A partir das diferenças entre as pontuações da melhor volta do cluster e a volta de entrada, o programa gerará frases pré-programadas contendo os dados pertinentes ao piloto. Essas mensagens, alinhadas com abordagens utilizadas para treinamento em simuladores de corrida (BUGEJA et al., 2017), serão transmitidas ao piloto por meio de um serviço de síntese de texto para fala (*Text-to-Speech*), como o Google Text-toSpeech API.

# Cronograma

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Atividades | J. | F. | M. | A. | M. | J. | J. | A. | S. | O. | N. |
| Clusterização de voltas | X | X |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Modelo LSTM |  | X | X |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Sistema de classificação |  |  |  | X | X |  |  |  |  |  |  |
| Geração de mensagens |  |  |  |  | X | X |  |  |  |  |  |
| Sistema de TTS |  |  |  |  |  | X | X |  |  |  |  |
| Elaboração do protótipo |  |  |  |  |  |  | X | X |  |  |  |
| Testes com protótipo |  |  |  |  |  |  |  | X | X |  |  |
| Ajustes finais no protótipo |  |  |  |  |  |  |  |  | X | X | X |

# Referências bibliográficas

FUCHS, Florian; SONG, Yunlong; KAUFMANN, Elia. *Super-Human Performance in*

*Gran Turismo Sport Using Deep Reinforcement Learning*. IEEE Robotics and Automation Letters. 2021. Disponível em [https://arxiv.org/abs/2008.07971v2 p](https://arxiv.org/abs/2008.07971v2)ara consulta. Acesso em 17 de Set. 2024.

TÂTULEA-CODREAN, Alexandra; MARIANI, Tommaso; ENGELL, Sebastian.

*Design and Simulation of a Machine-learning and Model Predictive Control Approach to Autonomous Race Driving for the F1/10 Platform*, IFAC-PapersOnLine, Volume 53, Issue 2. 2020. Disponível em [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896320322722 p](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896320322722)ara consulta. Acesso em 17 de Set. 2024.

REMONDA, Adrian; VEAS, Eduardo; LUZHNICA, Granit. *Comparing driving behavior of humans and autonomous driving in a professional racing simulator*. PLoS ONE. 2021. Disponível em [https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245320 p](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245320)ara consulta. Acesso em 17 de Set. 2024.

THEOEHRLY, Fast-F1. Version 3.4.4. Github. Disponível em: <https://github.com/theOehrly/Fast-F1>

REMONDA, Adrian; KREBS, Sarah; VEAS, Eduardo. *Formula RL: Deep Reinforcement Learning for Autonomous Racing using Telemetry Data*. arXiv. 2022. Disponível em [https://arxiv.org/abs/2104.11106 p](https://arxiv.org/abs/2104.11106)ara consulta. Acesso em 17 de Set. 2024.

SCHLEINITZ, Julian Von; SCHWARZHUBER, Thomas; WÖRLE, Lukas. *Race Driver*

*Evaluation at a Driving Simulator using a physical Model and a Machine Learning Approach*. arXiv. 2022. Disponível em [https://arxiv.org/abs/2201.12939 p](https://arxiv.org/abs/2201.12939)ara consulta. Acesso em 17 de Set. 2024.

GARLICK, Sam; BRADLEY, Andrew. *Real-Time Optimal Trajectory Planning for Autonomous Vehicles and Lap Time Simulation Using Machine Learning*. arXiv. 2021.

Disponível em [https://arxiv.org/abs/2102.02315 p](https://arxiv.org/abs/2102.02315)ara consulta. Acesso em 17 de Set. 2024.

BOETTINGER, Max; KLOTZ, David. *Mastering Nordschleife -- A comprehensive race simulation for AI strategy decision-making in motorsports*. arXiv. 2023. Disponível em [https://arxiv.org/abs/2306.16088 p](https://arxiv.org/abs/2306.16088)ara consulta. Acesso em 17 de Set. 2024.

SCHLEINITZ, Julian Von; GRAF, Michael; TRUTSCHNIG, Wolfgang. *VASP: An autoencoder-based approach for multivariate anomaly detection and robust time series*

*prediction with application in motorsport*. Engineering Applications of Artificial Intelligence, Volume 104, 2021. Disponível em [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0952197621002025 p](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0952197621002025)ara consulta. Acesso em 17 de Set. 2024.

BUGEJA, Keith; SPINA, Sandro; BUHAGIAR, Francois. *Telemetry-based optimisation for user training in racing simulators*. 2017. *9th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications (VS-Games)*, Athens, Greece, 2017

Disponível em [https://ieeexplore-ieee-](https://ieeexplore-ieee-org.ez347.periodicos.capes.gov.br/document/8055808)

[org.ez347.periodicos.capes.gov.br/document/8055808 p](https://ieeexplore-ieee-org.ez347.periodicos.capes.gov.br/document/8055808)ara consulta. Acesso em 17 de Set. 2024.

SEGERS, Jorge. *Analysis Techniques for Racecar Data Acquisition, Second Edition*. 2.

ed. São Paulo: SAE International, 2014.