

Otimização de estratégias de pit stop na Fórmula 1 utilizando algoritmo genético

Rafael do Nascimento Moura

Rodrigo Rocha Moura

10 de julho de 2025

Introdução

A Fórmula 1 (F1) representa o ápice do automobilismo mundial, um ambiente onde a competição transcende a habilidade dos pilotos e se estende profundamente aos domínios da engenharia, análise de dados e planejamento estratégico. Neste cenário de alta tecnologia, os pneus são um dos componentes mais críticos, sendo o único ponto de contato entre o carro e a pista e, portanto, determinantes para o desempenho. Desde 2011, a Pirelli atua como fornecedora exclusiva de pneus para a Fórmula 1, um papel que evidencia a complexidade da interação pneu-pista. A introdução dos novos pneus de 18 polegadas para a temporada de 2022, por exemplo, exigiu um desenvolvimento do zero, envolvendo mais de 10.000 horas de testes em laboratório e 5.000 horas de simulação para criar e validar os novos compostos [1].

O elemento central que conecta a tecnologia dos pneus à dinâmica da corrida é a estratégia de pit stop. Sua importância é amplificada pelas regras do esporte, que, em corridas com pista seca, obrigam cada piloto a utilizar ao menos dois compostos de pneus para pista seca diferentes, forçando, no mínimo, uma parada nos boxes [1]. A decisão de quando parar e qual composto utilizar é um problema multidimensional de alta complexidade. A definição da estratégia é transformada em um desafio monumental por múltiplos fatores, como a degradação não linear da borracha, a variação do tempo de volta devido à diminuição do peso do combustível, a imprevisibilidade de eventos como a entrada do Safety Car e a escolha entre a velocidade de um pneu macio e a durabilidade de um pneu duro [2].

Dada sua relevância, a otimização de estratégias de pit stop é um problema bem documentado na literatura acadêmica, com abordagens que variam da Programação Dinâmica à Teoria dos Jogos. Contudo, essas metodologias frequentemente enfrentam um dilema entre a precisão do modelo e sua viabilidade computacional. Nesse contexto, meta-heurísticas como os Algoritmos Genéticos (GA) surgem como uma alternativa promissora, oferecendo uma abordagem flexível e escalável para explorar espaços de busca complexos. Este projeto, portanto, visa avaliar a aplicação de um Algoritmo Genético para a otimização integrada da volta e do composto de pneu, buscando preencher uma lacuna na literatura e oferecer uma alternativa robusta frente às limitações computacionais das abordagens existentes.

Estado da arte

A aplicação de técnicas de otimização computacional é uma prática estabelecida na Fórmula 1. Meta-heurísticas, em particular os Algoritmos Genéticos, já foram utilizadas para resolver problemas complexos no domínio do esporte, como a otimização do calendário de corridas, tratando-o como uma variação do Problema do Caixeiro Viajante [3], e a otimização da configuração do carro (conhecida como *setup*), levando em conta 66 parâmetros [4] para obter tempos de volta que superaram tanto configurações padrão como aquelas criadas por especialistas humanos.

No que tange especificamente à otimização de estratégias de pit stop, a literatura acadêmica é dominada por abordagens de otimização clássicas. Um exemplo proeminente é o uso da Programação Dinâmica (DP), como detalhado por Fernández et al. [2]. Nesta abordagem, a corrida é modelada como uma sequência de estágios (voltas) para encontrar a política de paradas ótima, incorporando variáveis importantes como o desgaste dos pneus e o efeito do consumo de combustível. A principal limitação da DP, apontada pelos próprios autores e inerente à técnica, é a "maldição da dimensionalidade", onde um aumento no número de estados (ex.: múltiplos compostos, condições de pista) torna o problema computacionalmente intratável, forçando simplificações que podem comprometer o realismo do modelo, como negligenciar a interação direta entre os pilotos.

Para superar essa limitação, abordagens mais recentes utilizam a Teoria dos Jogos. Um estudo notável modela a competição entre dois pilotos como um jogo de soma zero em um Equilíbrio de Stackelberg, incorporando a incerteza de eventos como o Safety Car [5]. Embora represente uma abordagem avançada em termos de realismo competitivo, possui um custo computacional alto, lidando com centenas de milhões de estados por volta e exigindo horas de processamento para encontrar a solução de equilíbrio, o que a torna inviável para análises rápidas ou decisões em tempo real. Outras pesquisas focam em modelos preditivos baseados em Machine Learning, utilizando redes neurais para prever a degradação dos pneus ou a volta ideal para a parada [6], mas seu objetivo é a previsão de um parâmetro, não a geração de uma estratégia completa.

Apesar de trabalhos como o de Wloch e Bentley [4] terem demonstrado o grande potencial dos GAs para a otimização de performance na F1, a pesquisa recente sobre estratégias de pit stops focou-se majoritariamente em métodos clássicos. Identifica-se, assim, a oportunidade de expandir a aplicação de meta-heurísticas para o problema específico da estratégia de pit stops, utilizando ferramentas e fontes de dados contemporâneas. É para preencher esta lacuna que este projeto se propõe, combinando a robustez de uma abordagem evolucionária com um modelo de simulação focado nos fatores que governam as trocas de pneus.

Objetivo

O objetivo central deste projeto é propor e validar um Algoritmo Genético para a otimização de estratégias de pit stop na Fórmula 1. A proposta consiste em criar um modelo capaz de determinar as voltas ideais para parada e os compostos de pneus a serem utilizados, com a finalidade de minimizar o tempo total de corrida simulado. A validação da eficácia do algoritmo será realizada através da comparação das estratégias otimizadas com aquelas efetivamente utilizadas em Grandes Prêmios históricos, quantificando o ganho de tempo potencial e demonstrando a robustez da abordagem proposta.

Referências

- [1] FORMULA 1. The beginner's guide to F1 tyres. *Formula1.com*, 2024. Disponível em: <https://www.formula1.com/en/latest/article/the-beginners-guide-to-formula-1-tyres.61SvF0Kfg29UR2SPhakDqd>. Acesso em: 05 jul. 2025.
- [2] FERNÁNDEZ, F., et al. On the optimization of pit stop strategies via dynamic programming. *OR Spectrum*, v. 45, p. 585–618, 2023.
- [3] SINGH, A.; GUPTA, A. Optimization of the Formula-1 Race Calendar Using Genetic Algorithm. In: *2022 International Conference on Computational Intelligence and Sustainable Engineering Solutions (CISES)*, 2022, p. 509-514.
- [4] WLOCH, K.; BENTLEY, P. J. Optimising the Performance of a Formula One Car Using a Genetic Algorithm. In: YAO, X. et al. (Eds.). *Parallel Problem Solving from Nature – PPSN VIII*. Lecture Notes in Computer Science, v. 3242. Springer, Berlin, Heidelberg, 2004. p. 702-711.
- [5] AGUAD, F.; THRIVES, C. Optimizing pit stop strategies in Formula 1 with dynamic programming and game theory. *European Journal of Operational Research*, v. 319, n. 2, p. 774-790, 2024.
- [6] RONDELLI, M. *The Future of Formula 1 Racing: Neural Networks to Predict Tyre Strategy*. Tese (Graduação em Engenharia de Gestão) – Universidade de Bolonha, 2023.