

## 5 Conclusões

Para o estudo dos veículos de competição é necessário adotar um modelo dinâmico não linear representativo desse sistema, levando em conta suas características em função, principalmente, da variação da sua velocidade longitudinal, de modo a determinar a trajetória a ser percorrida e analisar as possíveis estratégias de controle a serem empregadas para a obtenção do menor tempo de percurso.

Um modelo para velocidades constantes foi apresentado, e foram tratados os principais tópicos relacionados ao problema com velocidades variáveis, entretanto não se chegou a concluir uma representação detalhada para os veículos de competição, incluindo tais características.

No desenvolvimento do modelo dinâmico procurou-se não simplificar, dentro do possível, o comportamento complexo dos veículos de competição, mas foram adotadas algumas hipóteses relevantes. Por exemplo, no que diz respeito à deformação lateral dos pneumáticos, foi considerado que os ângulos de deriva são relativamente pequenos, indicando então que o modelo produz resultados confiáveis apenas nestas condições, e por isso, se recomenda trabalhar para ângulos de deriva menores a  $15^\circ$ . Entretanto, tal hipótese é aceitável para os veículos de competição, já que durante seu movimento tal variável é realmente pequena (menores a  $15^\circ$ ), por construção, e apenas em determinadas curvas, percorridas com velocidade elevada, os pneus ultrapassam o limite imposto.

O procedimento da resolução do problema de otimização é a principal inovação apresentada nesta dissertação. O objetivo inicial deste trabalho de desenvolver uma metodologia para determinação da trajetória ótima, utilizando as ferramentas de otimização encontradas no *Matlab*, foi alcançado satisfatoriamente. Para tanto foi preciso empregar um modelo veicular muito simplificado, considerando apenas uma massa pontual, de modo a possibilitar o tratamento através de metodologias clássicas de otimização, sem a necessidade de adotar técnicas de controle ótimo. Entretanto as principais características físicas

dos veículos de competição, influenciadas pelas acelerações longitudinal e lateral, estão representadas nesse modelo. Foram considerados comportamentos para essas variáveis a partir dados reais obtidos pela telemetria, aproximando tais acelerações por funções com perfil que as reproduzem, dentro de uma faixa de erro aceitável.

Os resultados obtidos nos diversos casos tratados mostram a validade do tratamento do problema através de técnicas de otimização, dando uma perspectiva positiva no que diz respeito à retomada deste tema em futuros trabalhos. Ainda há muito que fazer, entretanto a base para novas investigações nesta área está apresentada e comprovada.

O emprego de um modelo dinâmico mais detalhado para obtenção da trajetória ótima foi a maior dificuldade encontrada neste trabalho. A solução dada através da adoção do modelo massa pontual foi bastante criativa e oportuna, merecendo ser mais explorada e melhorada, incluindo determinados efeitos (dinâmicos) encontrados no real comportamento dos veículos de competição, sem entretanto aumentar demasiadamente a complexidade da representação. O modelo dinâmico não linear deve continuar sendo empregado como elemento de comparação, mas o problema de otimização pode ser perfeitamente resolvido com base em representações mais simples.

De forma geral, os resultados encontrados foram bastante satisfatório, e pode-se afirmar que os objetivos iniciais da dissertação foram cumpridos. Mostrou-se que a dinâmica veicular e a otimização podem ser tratadas em conjunto visando obter resultados que permitam estabelecer como melhorar o desempenho de veículos de competição em diferentes situações e condições de dirigibilidade.

## 5.1 Recomendações

Um próximo passo imediato no tratamento do problema de otimização é a utilização de um modelo simplificado do veículo, que mantenha as características únicas do modelo massa pontual adotado, no que diz respeito à simplicidade, mas que inclua os efeitos das velocidades angular de *yaw* e lateral, associada ao deslocamento lateral (*side slip*), de modo a torná-lo mais próximo da realidade, mas sem aumentar sua complexidade.

Para futuros trabalhos, sugere-se entretanto que o modelo detalhado do veículo continue a ser desenvolvido, acrescentando sua aceleração e desaceleração como consequência das forças de tração e de frenagem, como discutido no final do Capítulo 2. A representação da dinâmica longitudinal deve ser mais elaborada, incluindo, além dessas forças, componentes como a caixa de mudança das marchas, entre outros, considerando também a deriva longitudinal dos pneus, expressando mais detalhadamente o comportamento dos pneus.

Um outro item a melhorar é a implementação do problema de otimização da trajetória aqui apresentada. Deve-se organizar o procedimento visando simplificar a entrada dos dados e a apresentação dos resultados. Um outro desafio é possibilitar a geração de casos genéricos, criando um “procedimento automático” para a definição de qualquer tipo de curva, ou pista, obtendo as soluções da otimização de forma simples e direta.

Um item que não foi explorado nesta dissertação é o relativo ao controle do modelo dinâmico. A abordagem deste tema ajudará muito na simulação do veículo dentro da pista, ou traçado pré-determinado, possibilitando estabelecer as manobras que o motorista deve fazer para seguir a trajetória ótima.

Nesta dissertação, para o caso geral tratado, considera-se a aplicação da aceleração lateral com algum nível de aceleração longitudinal. Em trabalhos futuros seria interessante analisar a aplicação destas variáveis de forma independente, isto é, o trecho de aceleração longitudinal seria independente daquele da aceleração lateral, podendo haver interceptação entre eles, mas naturalmente determinada pelo procedimento de otimização.

Para melhor representar os reais perfis de aceleração, poder-se-ia determinar, a partir dos dados de telemetria, expressões para curvas que

interpolassem tais variáveis, e empregá-las no procedimento de otimização desenvolvido. Também seria interessante comparar os resultados encontrados pelo tratamento dado nesta dissertação àqueles reais, obtidos do comportamento medido dos veículos de competição, de modo a verificar se a trajetória ótima está sendo seguida pelos pilotos, ou corretamente determinada pelo procedimento apresentado.

Finalmente, seria muito interessante obter parâmetros construtivos e físicos de um veículo de competição específico, e trabalhar com base nesses valores, sem aproximações ou médias, e com isto validar os resultados do modelo empregado e melhorar o desempenho do veículo em questão.