

7 Conclusões

Neste estudo, foi desenvolvido um simulador 3D em tempo real para veículos robóticos em terrenos acidentados, batizado de VirtualBotz 3D. A plataforma de simulação foi toda desenvolvida em linguagem C++, utilizando o conceito de modularização através da programação orientada a objetos. Como ferramenta de interface gráfica, foi utilizada a biblioteca OpenGL.

Houve um cuidado particular no realismo do sistema, em especial na dinâmica e nos modelos. A intenção foi incluir características não-lineares em terrenos acidentados que se revelam muito importantes para o comportamento de robôs reais, como os robôs experimentais desenvolvidos pelo Laboratório de Robótica da PUC-Rio.

Esse simulador permite a importação e definição de diversos tipos de terrenos e veículos robóticos, assim como a definição das características dos motores de corrente contínua (DC). Ao levar em consideração as características físicas de um motor DC, o presente estudo teve um cuidado especial na modelagem da interação da parte mecânica com a elétrica. A consideração das limitações físicas das baterias elétricas, e o uso de uma aproximação contínua do modelo de atrito de LuGre, trouxeram ao simulador uma característica bem realista.

Foi desenvolvido também um algoritmo de interseção entre cada roda e o terreno, o que permitiu construir o simulador sem a necessidade de utilizar qualquer biblioteca comercial de cálculo de colisões. Para modelar a força de contato entre cada pneu e o terreno, utilizou-se a “**Fórmula Mágica**”, que leva em consideração as derivas lateral e longitudinal combinadas e a força normal sobre as rodas.

Para garantir que os resultados deste trabalho fossem confiáveis, foram feitas validações do simulador quanto às leis da física. Apresentaram-se dois casos, um de **arrancada** e um de **salto**, onde há soluções analíticas. Na validação

da **arrancada** foram feitos quatro testes, onde em dois dos quais foi explorada a representação geométrica das rodas no simulador. Constatou-se que um nível maior de detalhamento ocasionou uma melhora do erro de 0,34% para 0,03% para as forças na suspensão dianteira. No entanto, essa melhora custou um aumento no tempo de processamento de 467% no simulador, sugerindo que esta não é significativa se comparada ao custo que representa. Nos outros testes verificou-se que, sem a melhora mencionada, o erro na força sobre a suspensão dianteira não passou de 1,23%. Para os testes de guinada não foram encontrados erros significativos entre as simulações e os resultados analíticos. O erro obtido em todos os testes de validação de **salto** foi de 0,02%.

O modelo de controle dinâmico para terrenos acidentados de estabilidade 2D proposto por Silva, e implementado no presente estudo através do simulador VirtualBotz 3D, permitiu uma validação de modelos analíticos do comportamento longitudinal do veículo robótico. Nas duas simulações feitas com características de terrenos distintas, pode-se observar que, ao utilizar o controle CDTA ao controle simples, o veículo robótico apresentou maior tração nas rodas e uma convergência muito mais rápida da velocidade. Isso aconteceu porque a preocupação de manter a força normal positiva o máximo possível permitiu que o veículo mantivesse a velocidade desejada até o final da simulação. Ao manter as forças normais sob controle, o sistema permite a maximização da força de contato com o chão. É evidenciado também que o CDTA, ao maximizar a força de tração em cada pneu, evitou que a deriva longitudinal atingisse valores indesejáveis. Outro ganho demonstrado com o CDTA foi quanto à minimização da potência exigida aos motores: pode-se observar que, enquanto no controle proporcional simples, a potência oscilou em torno de 2000W, no CDTA, ela permaneceu abaixo dos 1000W em grande parte da simulação. Um ponto muito importante é que o CDTA foi capaz de estabilizar o veículo depois do salto pela rampa na segunda simulação.