

6

Conclusões e Trabalhos futuros

6.1.

Conclusões

Neste trabalho estudou-se o comportamento do sistema que foi denominado pendulo planar com a adição de uma roda de reação na haste do pendulo composta de um motor DC e um disco de acrílico. A montagem feita no Laboratório de Dinâmica e Vibrações da PUC-Rio descrita em capítulos anteriores teve por finalidade analisar o as diferenças entre simulação e experimento só entre os controladores.

As equações de movimento que representam o modelo matemático limitaram-se a equacionar corpos rígidos, isto é não são incluídas possível vibrações decorrentes da flexibilidade da estrutura do sistema, o que todavia foi percebido para rotações mais altas da roda de reação no sistema real.

Erros nos sensores não foram contabilizados para o modelo matemático, mas mesmo assim no modelo experimental eles não desvirtuaram o controle escolhido para o sistema. A escolha de um encoder com mais pontos por revolução também melhorou a precisão do controle e evitou maiores oscilações em torno do ponto de equilíbrio.

O motor escolhido foi um motor com uma resposta rápida e que não possuía um torque tão alto quanto o motor acoplado a uma redução. O disco mais pesado também não contribuiu para uma funcionalidade melhor do sistema, assim como um disco mais leve. O projeto portanto deve otimizar um momento de inércia adequado para a roda de reação. Uma relação adequada entre as inércias da haste e do disco vão resultar em um melhor resultado do controle.

Um método de otimização da inércia não foi desenvolvido, pois o objetivo era usar materiais prontos, e de baixo custo que já estavam disponíveis no laboratório.

O aumento da velocidade angular da roda de reação não é positivo para o atuador, tendo em vista que a velocidade angular da roda pode saturar e passa a

induzir vibrações estruturais no dispositivo. Isto praticamente desqualifica os controles P, PI e PID, onde as melhores aquisições de resultado foram quando o motor estava na sua rotação máxima. Ao contrário dos controles Fuzzy que funcionaram melhor quando o motor operava em baixa velocidade.

Os cinco tipos de controles propostos cumpriram o seu propósito de controlar o sistema. Optou-se por testar de 2 maneiras cada controle para observar a reação do sistema nas mais variadas situações.

Em relação ao modelo matemático e real, ocorreram poucas diferenças na saída dos controladores talvez devido a fatores externos que não puderam ser modelados no sistema, ou até por falhas de consideração de certas variáveis.

A programação de cada controle foi feita com blocos pré-definidos pelo LabView, mas poderia ser feita manualmente construindo o controle a partir do conhecimento matemático dos mesmos.

O controle mais simples, o controle Proporcional puro apresentou sempre muita oscilação, e nunca tendeu para um valor específico, mas apenas para uma janela de valores. Esse comportamento, foi o esperado tanto no projeto prático quanto no teórico.

O controle PI mostrou certa evolução em relação ao controle P, de modo que a oscilação e o erro na estabilização diminuíram. Muito diferente do modelo matemático onde este não se estabilizou, salvo no auto-tune, o controle PI foi o que mais teve maiores diferenças entre o modelo real e o teórico.

Seguindo a mesma linha de análise, o controle PID, mostrou-se o melhor desses 3, mostrando a menor oscilação e o menor erro. Entretanto, no sistema real esse controle foi aquele em que o motor atingiu a sua maior velocidade, levando a fortes vibrações no sistema, mas mesmo assim ele resultou bastante preciso. A velocidade a que o disco chegou ainda está bem abaixo da velocidade máxima que o motor consegue fornecer, mas mesmo assim o sistema chegou a um ponto ideal para o controle.

Os dois controles Fuzzy responderam bem ao sistema em ambos os testes, teórico e prático, criando uma estratégia bem robusta e bem precisa. O grande nível de oscilação visto no controle com apenas uma entrada é explicado pela falta de outro parâmetro que poderia visualizar melhor o comportamento do sistema, esse parâmetro que fora incluído no controle Fuzzy com duas entradas é a velocidade da haste. Este último obteve o melhor resultado dos 5 tipos de

controle, em ambos os testes, no Simulink e na bancada do laboratório fazendo dele o mais preciso para este modelo de sistema dinâmico.

Por fim, as diferenças entre os modelos matemático e experimental se deram devido a alguns fatores:

- Não se considerou os pesos embutidos no disco de acrílico (bem como o momento de inércia decorrente), apenas como sendo um disco de acrílico homogêneo no modelo matemático.

- Não se considerou o efeito dos fios que ligam ao motor, eles causaram um pequeno desequilíbrio no modelo experimental.

- Não se levou em conta a torção da haste de alumínio nem eventuais vibrações no sistema, que interagem dinamicamente ao se procurar uma condição estável no sistema.

- Não foi contabilizado o efeito do atrito seco no modelo do motor, pelo seu pequeno valor, nem o atrito na junta pelo mesmo motivo. O papel do controle é apesar desses pequenos erros conseguir uma operação precisa.

- Não se considerou que as não-linearidades presentes nos elementos eletrônicos e no motor possam mudar o resultado matemático.

- Não se considerou a possibilidade de alteração de certos parâmetros de acordo com a temperatura.

- Considerou-se que o encoder está perfeitamente funcional e calibrado, não existindo a possibilidade de qualquer erro de medida.

6.2 Trabalhos futuros

Por ser um trabalho experimental que não partiu de estudos anteriores, sugere-se alguns aperfeiçoamentos tanto no modelo matemático quanto no modelo experimental.

Para o modelo experimental, avança-se implementar uma segunda haste com uma segunda roda de reação no lado oposto ao motor da primeira haste, conforme as Figuras 6.1 a 6.3.

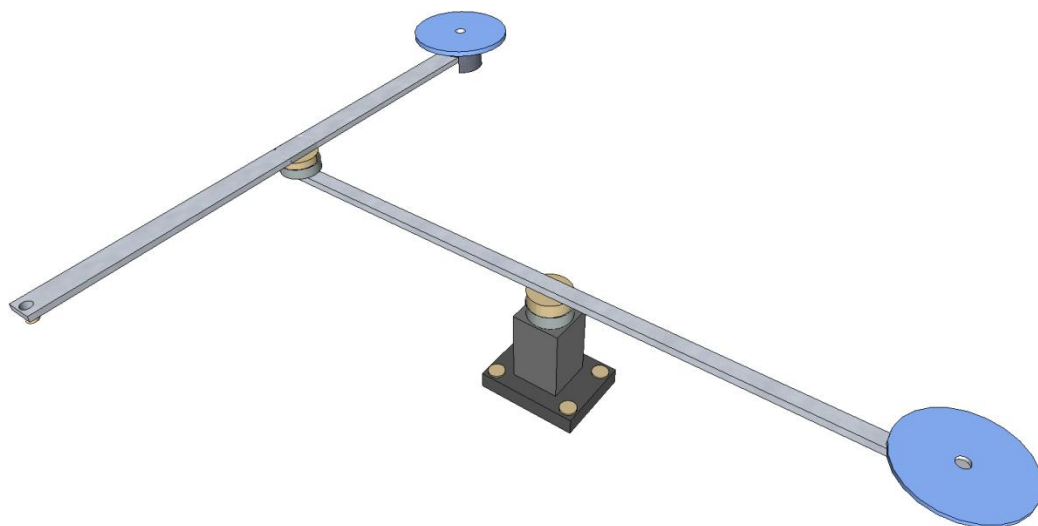


Figura 6.1 – Modelo de trabalho futuro, vista diagonal superior

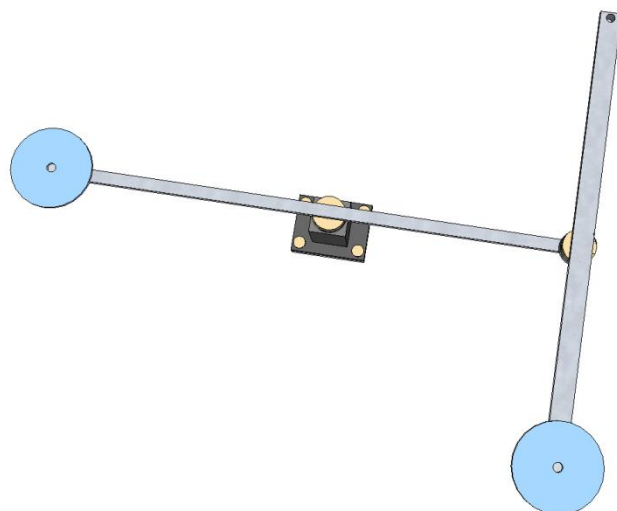


Figura 6.2 – Modelo de trabalho futuro, vista superior

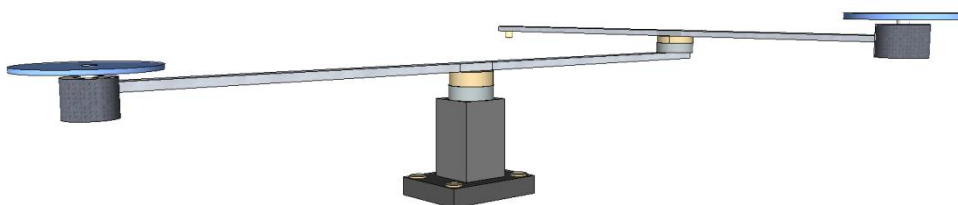


Figura 6.3 – Modelo de trabalho futuro, vista frontal

Esse modelo, embora fosse a premissa original de trabalho do Mestrado, não pôde ser construído para se evitar um possível acidente usando essas rodas de

reação, pois o funcionamento do sistema ainda era desconhecido. Mesmo usando uma roda de reação a segurança da operação exige cuidados especiais, dado a alta rotação do disco. O uso de um aparato melhor de segurança seria o ideal para evitar acidentes.

Além disso, a inclusão de encoders abaixo do eixo de rotação da haste melhoraria a eficiência do projeto

Por fim, o sistema poderá ser construído usando dois controles PID, um para cada motor, ou dois controles Fuzzy ou um misto de um de cada. Para tal seria necessário o dobro de componentes que temos, exceto pela placa NI-DAQ que naturalmente já possui um par de leitores de encoders.

Um laser na ponta da haste adicionada iria mostrar o ponto que o sistema está no momento, e com sua variação poder-se-ia desenhar uma área de erro que o sistema tem, e analisar essa área a cada período de tempo, como sendo o erro geral do controlador.

Já no modelo teórico, a adição dessa segunda haste mudaria bastante a dinâmica do sistema. Não só isso, como a dinâmica de uma haste entraria em confronto com a dinâmica da segunda haste, podendo deixar o sistema instável e incontrolável, ou possivelmente até mais fácil de ser controlado.

Outros métodos teóricos de obtenção dos parâmetros do controle PID, como o método de Cohen-Coon poderiam ser utilizados para controlar o sistema, e estabelecer comparações com os controles usados. O controle em cascata (dois controles PID em série) podem ser utilizados, pois esse modelo de controle pode ser usado para uma melhor performance dinâmica do sistema.

Também a adição de um novo método de controle, o Controle por Aprendizado (Learning Control) poderia ser a chave para um controle ótimo do sistema, visto que as equações iriam ficar muito grandes e complicadas. Controles ótimos baseados no modelo matemático, como controle quadrático ou H infinito também poderiam ser alternativas de controle.

O uso do sinal de PWM para controlar o motor também pode ser implementado, visto as várias aplicações na área da robótica e micro controles de aeromodelismo.

Finalmente, uma base fixa em uma bancada e o uso de uma haste mais rígida poderia diminuir os efeitos vibratórios vistos no teste do modelo real. Um mancal com menos folga e com menos atrito também poderiam melhorar o

sistema. A escolha de metais com constantes de atrito menores do que o alumínio e o latão que foram utilizados poderiam aproximar mais o modelo real do modelo matemático.