

DESENVOLVIMENTO DE UM ENGATE TIPO QUINTA RODA – PINO REI COM AMORTECIMENTO ATIVO PARA O USO EM VEÍCULOS COMERCIAIS

Rafael Gonçalves Rizzi

rizzi.rafael@gmail.com

Resumo. Este Trabalho de Conclusão do curso de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo tem como tema o desenvolvimento de um engate entre o Cavallo Mecânico e o Semi Reboque, visando propor dispositivos que amortecem o sistema de forma controlada para aumentar a segurança do conjunto motor e, conseqüentemente, aumentar a velocidade de tráfego. São apresentados os Conceitos Gerais envolvidos, assim como a modelagem matemática do sistema abordado e uma análise preliminar da viabilidade técnica do sistema proposto. Nesta análise preliminar, o sistema se mostrou estável e eficaz, permitindo a continuação do desenvolvimento do projeto. Após uma análise dos requisitos funcionais, foram propostas três opções de solução para o problema e a alternativa escolhida foi descrita e desenvolvida de forma abrangente. Tal solução utiliza corrente elétrica circulando em bobinas e espiras devidamente instaladas para produzir o torque resistivo desejado para, quando corretamente controlado, estabilizar o movimento do Semi Reboque. Com a solução já devidamente desenvolvida, foi realizado o estudo de viabilidade técnica final e simulações foram feitas para atestar a eficiência da solução. Em tais simulações o sistema proposto se mostrou eficaz, confirmando o objetivo inicial do projeto de aumentar a velocidade de tráfego do Cavallo Mecânico sem reduzir a segurança. Por fim, foi feita uma análise de viabilidade econômica do projeto, envolvendo volumes de produção, custos e rentabilidade esperada. Mais uma vez, o projeto se mostrou viável, concluindo-se assim todos os estudos propostos.

Palavras chave: Pino Rei, Quinta Roda, Engate, Amortecimento Ativo

1. Introdução

Neste artigo técnico será apresentado, de forma resumida, o conteúdo do trabalho de conclusão de curso do Autor. Serão apresentados o escopo e os objetivos do trabalho com os tópicos a serem desenvolvidos. Também serão apresentados os conceitos gerais envolvidos, assim como a modelagem matemática utilizada. Em seguida será apresentada a proposta de solução para o problema e os resultados das simulações realizadas para verificar a eficiência do sistema. Por fim, será mostrado o estudo de viabilidade econômica da implementação do sistema.

2. Escopo

O escopo do Trabalho de Conclusão de Curso é estudar a dinâmica do movimento de veículos comerciais do tipo cavalo mecânico quando acoplados a um Semi Reboque (carreta) por meio do engate quinta roda – pino rei. Esse estudo permitirá o desenvolvimento de um sistema de amortecimento ativo no acoplamento entre a quinta roda e o pino rei de modo a melhorar o desempenho do conjunto veículo – carreta. Dessa maneira, pode-se aumentar a sua estabilidade e, conseqüentemente, a sua velocidade de tráfego segura.

3. Introdução ao Sistema de Engate

O engate é o responsável por permitir que a carreta seja movimentada pelo cavalo mecânico, de forma que o acoplamento entre eles seja robusto e ao mesmo tempo permita que a carreta se movimente durante curvas e manobras.

O sistema de engate utilizado atualmente é composto por basicamente dois elementos: A Quinta Roda e o Pino Rei



Figura 1: Quinta Roda



Figura 2: Pino Rei

A Quinta Roda é um elemento solidário ao chassi do cavalo mecânico enquanto o Pino Rei é solidário à Carreta.



Figura 3: Cavallo Mecânico com Quinta Roda



Figura 4: Semi Reboque Bi-trem com Pino Rei

3.1. Princípio de Funcionamento

O Princípio de funcionamento é simples. O Pino Rei possui liberdade de movimento apenas para rotacionar em torno da cavidade de engate da Quinta Roda, permitindo que a carreta fique acoplada ao cavalo mecânico e ao mesmo tempo consiga fazer curvas e manobras.

A Quinta Roda é feita de ferro fundido nodular e tem a sua cavidade de acoplamento usinada de forma a reduzir ao máximo o atrito com o Pino Rei, permitindo maior liberdade de movimento para a carreta.

O engate é feito com a carreta estacionada, posicionada atrás do cavalo mecânico, enquanto o motorista movimenta o veículo em marcha ré vagarosamente até que o Pino Rei se aloje na cavidade da Quinta Roda. Após o acoplamento, o Pino Rei é travado na Quinta Roda para que não desacople acidentalmente.

4. Apresentação do Problema

De acordo com a Associação Brasileira de Prevenção aos Acidentes de Transito (website), devido à maior instabilidade do Semi Reboque, é recomendável que a sua velocidade máxima seja 60 km/h. São feitas também algumas outras recomendações, tais como reduzir a velocidade para entrar nas curvas e trevos; virar o volante sempre de forma suave e gentil; evitar manobras bruscas no caminhão-tractor; procurar sempre “enxergar mais longe” para se antecipar as necessidades de manobras e freadas; etc.

Analisando essas recomendações, fica fácil perceber a necessidade de um sistema que melhore a segurança do conjunto cavalo mecânico – carreta.

Seria então também muito bom se os veículos comerciais pudessem trafegar a velocidades mais altas sem comprometer a segurança. O preço do frete seria menor, a produtividade do transporte seria maior e as entregas, mais dinâmicas. O que limita a velocidade de veículos de carga é a sua maior massa. A frenagem é mais difícil e a dirigibilidade em veículos pesados não é tão simples e ágil como em veículos de passeio, sendo necessário que o motorista trafegue a baixas velocidades.

A situação se agrava ao acoplar um Semi Reboque no veículo motor. As condições de dirigibilidade e frenagem ficam piores, exigindo velocidades ainda mais baixas.

O problema a ser endereçado por este Trabalho é então aumentar a segurança do conjunto cavalo mecânico – carreta para permitir maiores velocidades de tráfego. O aumento na segurança será buscado criando mecanismos para aumentar a estabilidade do conjunto mesmo quando trafega a altas velocidades e em diferentes trajetórias. E as propostas de melhorias serão focadas no sistema de engate entre o cavalo mecânico e o Semi Reboque.

5. Metodologia a ser Utilizada

Para obter os resultados desejados será feito um estudo teórico do problema, abordando os conceitos da cinemática e da dinâmica do problema. Com isso, será feito um modelo matemático do sistema e, com o uso de parâmetros pesquisados em campo e parâmetros provenientes de simulações computacionais no Scilab serão sugeridas algumas propostas de solução que serão avaliadas e, por meio de uma Matriz de Decisão, apenas uma solução será escolhida para ser melhor detalhada e desenvolvida.

Para a solução escolhida será detalhado o dimensionamento mecânico, com a escolha de materiais, dimensões e parâmetros. Também será detalhado o projeto construtivo e o projeto da parte eletrônica envolvida na solução (possíveis sensores, atuadores eletromecânicos, etc.). Com a solução escolhida e detalhada serão feitas simulações para atestar a sua eficiência.

Por fim será feita uma análise de viabilidade econômica da solução escolhida, com a estimativa de custos e o estudo de viabilidade comercial do novo produto.

6. Embasamento Teórico e Modelagem Matemática do Sistema

O modelo adotado para a resolução do problema, assim como a sua formulação matemática, foram baseados na tese de mestrado de Rubem Penteado de Melo “Avaliação da Estabilidade Lateral em Conjuntos de Veículos de Carga” (2004)

6.1. Modelagem Matemática

A Figura 5 mostra o desenho de um conjunto genérico de Cavalo Mecânico – Semi Reboque que será utilizado na formulação do modelo matemático.

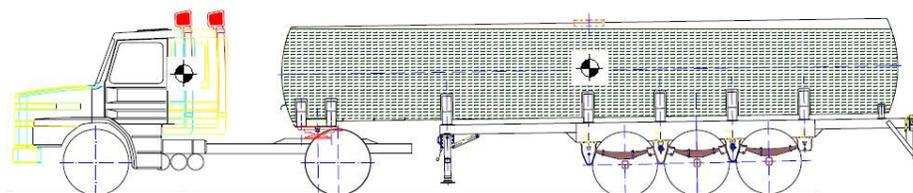


Figura 5: Conjunto genérico de Cavalos Mecânicos – Carreta

Na Figura 6 temos o modelo adotado, com a indicação das variáveis dimensionais envolvidas. O modelo adotado para o Cavalos Mecânicos e para o Semi Reboque separadamente são mostrados na figura 7 e 8, respectivamente.

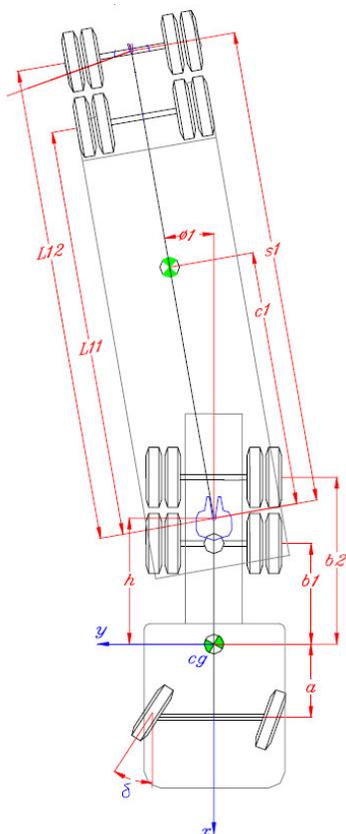


Figura 6: Modelo com as variáveis dimensionais

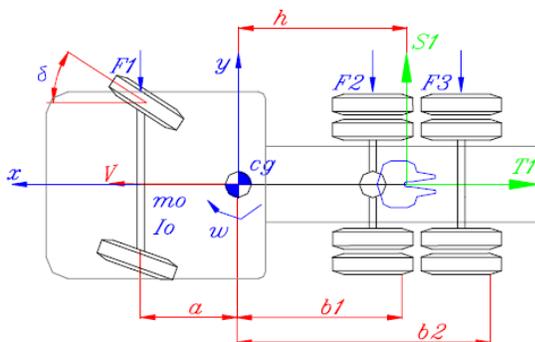


Figura 7: Modelo do Cavalos Mecânicos

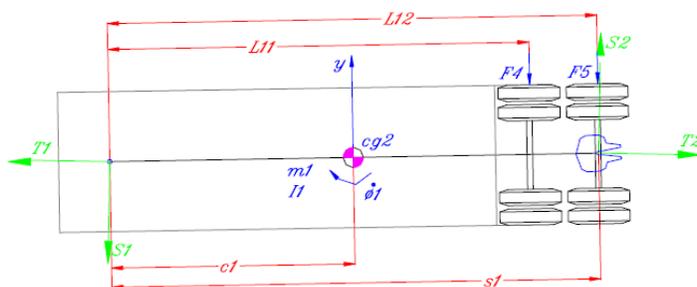


Figura 8: Modelo da Carreta

6.3. Hipóteses Consideradas

1. Os veículos são rígidos à torção e com centro de gravidade em uma posição fixa;
2. O movimento relativo entre os eixos e o chassi dos veículos é desprezado;
3. São consideradas as forças transmitidas da pista para os pneus como as únicas forças externas aplicadas sobre os veículos; O efeito da transferência de cargas entre os lados dos veículos em curvas é desprezado;
4. Resistência ao rolamento, forças aerodinâmicas e o momento causado pela existência de duplos pneus são desprezados;

6.4. Equacionamento

As equações de movimento deste modelo de pêndulo duplo são deduzidas por meio da aplicação das Leis de Newton para o equilíbrio das forças.

Para o veículo trator:

$$\sum F_y = ma \rightarrow m_0(v + V\omega) - F_1 - F_2 - F_3 + S_1 \quad (1)$$

$$I_0 \dot{\omega} = -aF_1 + b_1F_2 + b_2F_3 - hS_1 + Mt \quad (2)$$

Para o Semi reboque:

$$0 = T_1 - (F_4 + F_5) \text{sen} \phi_1 \rightarrow 0 = T_1 - (F_4 + F_5) \phi_1 \quad (3)$$

$$m_1[v + V\omega - (h + c_1) \dot{\omega} - c_1 \ddot{\phi}] = -(F_4 + F_5) - S_1 + S_2 \quad (4)$$

$$I_1(\dot{\omega} + \ddot{\phi}_1) = -c_1S_1 - c_1T_1\phi_1 + (L_{11} - c_1)F_4 + (L_{12} - c_1)F_5 + Mt \quad (5)$$

Cálculo das Forças laterais nos pneus:

Assumindo-se que para pequenos ângulos a Rigidez Lateral (*cornering stiffness*) é linear, tem-se a seguinte equação geral:

$$F_k = N_k \alpha_k \quad (6)$$

Onde N_k é a rigidez torcional de cada eixo e α_k é o ângulo de deriva no eixo j

Aproximações para o ângulo de deriva α_k :

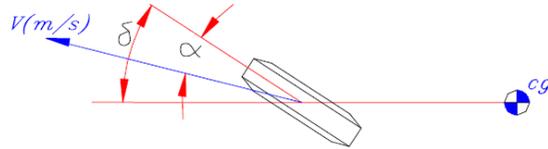


Figura 9: Ângulo de esterçamento e ângulo de deriva

Para o pneu dianteiro do veículo trator com um ângulo de esterçamento δ , o ângulo de deriva pode ser aproximado por (Jindra, 1966):

$$\alpha_1 = (v + a\omega) / V - \delta \quad (7)$$

Para os outros eixos, o ângulo de deriva pode ser aproximado por:

$$\alpha_2 = (v + b_1\omega) / V \quad (8)$$

$$\alpha_3 = (v + b_2\omega) / V \quad (9)$$

$$\alpha_4 = [v - (h + L_{11})\omega - L_{11}\dot{\phi}_1] / V - \phi_1 \quad (10)$$

$$\alpha_5 = [v - (h + L_{12})\omega - L_{12}\dot{\phi}_1] / V - \phi_1 \quad (11)$$

Por fim, substituindo-se as equações de F e α , desprezando-se os termos quadráticos de ϕ e reagrupando os demais termos chega-se às equações que regem o sistema. No entanto, é interessante visualizar as equações com as incógnitas isoladas e, mais ainda, na forma matricial.

Assim, queremos chegar na seguinte forma:

$$\{Y\} = [Z] \cdot \{X\},$$

onde:

$$\{Y\} = \begin{bmatrix} \dot{v} \\ v \\ \omega \\ \dot{\phi}_1 \\ \phi_1 \end{bmatrix} e \quad \{X\} = \begin{matrix} v \\ \omega \\ \dot{\phi}_1 \\ \delta \\ Mt \end{matrix}$$

Para isso, vamos definir as matrizes M e N, de forma que:

$$[M]\{Y\} = N\{X\}$$

$$\{Y\} = [M]^{-1}[N]\{X\} = [Z]\{X\}$$

Assim,

$$[M]_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} m_0 + m_1 & -m_1' & -m_1 c_1 \\ m_0 h & I_o & 0 \\ -m_1 c_1 & I_1 + m_1' c_1 & I_1 + m_1 c_1^2 \end{bmatrix}$$

$$[N]_{3 \times 6} = \begin{bmatrix} -(\sum_{i=1}^{i=5} Ni)/V & -(m_0 + m_1)V + (\sum_{i=1}^{i=5} Ni')/V & (N_4 L_{11} + N_5 L_{12})/V & N_1 & 0 \\ [-(N_1 + N_2 + N_3)h & -m_0 h V + [-N_1 a_1^2 - N_2 b_1^2 & 0 & N_1(a+h) & 1 \\ + N_1' + N_2' + N_3']/V & -N_3 b_2^2 + (N_1' + N_2' + N_3')h]/V & & & \\ (N_4 L_{11} + N_5 L_{12})/V & m_1 c_1 V - (N_4' L_{11} + N_5' L_{12})/V & -(N_4 L_{11}^2 + N_5 L_{12}^2)/V & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

7. Propostas para a Solução do Problema

Serão apresentados três modelos de solução para o Problema, cada um deles abordando um dos modos dissipativos propostos pelo ITT Reserach Institut (1972).

Nas três propostas que serão apresentadas, além de incluir um elemento dissipativo, também é proposta uma mudança na geometria do Pino Rei para possibilitar a implantação dos sistemas dissipativos. O Pino Rei passa a ser mais comprido e ter o disco na sua extremidade com um diâmetro maior.

A primeira proposta de solução adota o uso de dissipação viscosa por meio de um óleo confinado sob pressão que atua sobre o Pino Rei de forma controlada para dissipar energia e possibilitar a estabilização do seu movimento. A segunda proposta utiliza a dissipação de Coulomb, por atrito, com freios multi-discos atuantes na base da extremidade do Pino Rei. Tais freios são capazes de geram forças dissipativas crescentes continuamente por meio do atrito entre os diversos discos que compõe o arranjo. Por fim, a terceira alternativa contempla o emprego de um campo eletromagnético para dissipar energia no sistema de engate. Nesta proposta de solução, uma bobina elétrica é instalada na extremidade do Pino Rei. Ao ser acoplado à Quinta Roda, a extremidade do Pino Rei, juntamente com a bobina, acabam ficando posicionados no interior de uma coroa circular solidária ao chassis do Cavallo Mecânico. Na pista interna dessa coroa circular está posicionada uma segunda bobina elétrica que, variando a tensão elétrica nas duas bobinas, cria-se um campo eletromagnético. A dissipação de energia de rotação do Pino Rei se dará pelo torque contrário que o campo eletromagnético irá produzir. O funcionamento é semelhante a um motor elétrico funcionando de forma contrária, que, ao invés de gerar torque ao eixo, aplica um torque contrário ao sentido de movimento do eixo.

8. Processo de Escolha da Melhor Alternativa

O processo de escolha será feito por meio de uma matriz de decisão na qual as alternativas serão avaliadas segundo critérios que refletem os requisitos funcionais do novo sistema, visando atender aos objetivos de melhoria propostos. Cada critério tem um peso e as soluções recebem uma nota a ser ponderada pelo peso de cada critério. As notas são dadas de forma comparativa e nunca com base em números absolutos. Dessa forma, a solução com maior nota será escolhida como a melhor alternativa para endereçar o problema em questão.

As alternativas serão avaliadas com notas variando de 1 a 5, sendo que 1 representa a pior nota e 5, a melhor.

Para facilitar a visualização, denotam-se as propostas da seguinte forma:

Solução 1 – Alternativa via dissipação viscosa

Solução 2 – Alternativa via dissipação de Coulomb

Solução 3 – Alternativa via campo eletromagnético

Sendo assim, temos a seguinte Matriz de Decisão:

Critérios	Pesos	Notas		
		Solução 1	Solução 2	Solução 3
Energia	2	2	4	1
Eficiência	4	2	5	4
Manutenção	1	1	3	5
Peso	1	1	2	5
Tamanho	2	2	3	2
Custo	4	1	2	4
	TOTAL	1,56	3,36	3,43

9. Detalhamento da Solução Escolhida

Neste tópico do trabalho, a solução escolhida é detalhada a fim de poder ser construída futuramente, se desejado. São feitos estudos de dimensionamento mecânico da solução, projeto eletrônico e projeto construtivo.

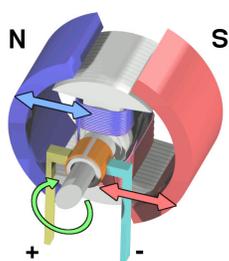


Figura 11: Motor Elétrico funcionando de forma invertida



Figura 12: Freio Magnético experimental



Figura 13: Freio Magnético vendido comercialmente

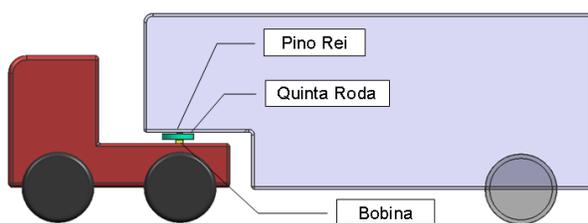


Figura 14: Montagem

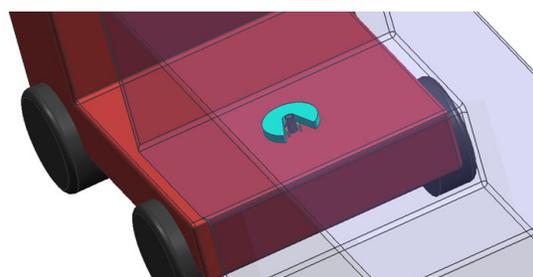


Figura 15: Vista detalhada do acoplamento do Pino Rei

9.1. Dimensionamento Elétrico

Como já dito anteriormente, este sistema é baseado na criação de um campo eletromagnético que irá produzir um torque contrário à rotação do Pino Rei.

Freios eletromagnéticos são dispositivos eletromecânicos que convertem energia do movimento, linear ou rotativo, em calor. Seu princípio de funcionamento baseia-se no seguinte fenômeno: ao submeter um meio condutor percorrido por corrente elétrica a um campo magnético, ocorre o aparecimento de uma força magnética no condutor, que, dependendo do arranjo físico, gera um torque.

O que ocorre é que corrente elétrica passando por uma bobina produz campo magnético com um valor dado pela excitação magnética ou intensidade do campo magnético H que depende da construção da bobina. O valor de H aumenta com o número de espiras que a bobina possui, por exemplo.

Essa excitação magnética H origina uma indução magnética B com um valor dado por

$$B = \mu H$$

onde μ é a permeabilidade magnética do núcleo da bobina.

9.2. Parâmetros de Projeto

Torque Resistivo:

Lembrando que o objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema para estabilizar o Semi-Reboque, é preciso ter em mente quais forças deverão ser eliminadas ou alteradas para se conseguir chegar à estabilização do sistema.

Neste caso, é imprescindível que as forças laterais nos pneus sejam anuladas.

Dessa forma, lembrando, temos que as forças nos pneus são da seguinte forma:

$$F_k = N_k \alpha_k$$

Onde N_k é a rigidez torcional de cada eixo e α_k é o ângulo de deriva no eixo j

Com o valor da rigidez torcional N_4 obtido na literatura, para o eixo traseiro, obtém-se a seguinte força:

$$F_4 = 351.632 \alpha_4$$

Lembrando o que foi definido que espera-se conseguir aumentar em 10% a velocidade máxima permitida do sistema Cavalo Mecânico – Carreta mantendo os mesmos níveis de segurança.

Utilizando os resultados experimentais descritos no estudo do ITT Research Institut (1972), considera-se que, para garantir segurança a uma velocidade 10% maior que a permitida, ou seja, 88 km/h, o sistema já deve atuar caso ocorra um desvio de 2 graus (0,03491 radianos) no ângulo de deriva do eixo traseiro.

Assim, temos que o torque resistivo que o freio magnético deverá suportar tem a seguinte magnitude:

$$\text{Torque} = F_4 * L_{11}$$

$$F_4 = 351.632 \text{ N} * 0,03491 \text{ rad} = 12,3 \text{ kN}$$

$$L_{11} = 7,2 \text{ m}$$

Então,

$$\text{Torque} = 12,3 * 7,2 = 88,56 \text{ kNm}$$

Assim, estima-se que o freio magnético precise fornecer um torque resistivo de 88,56 kNm, o que é coerente com valores encontrados na literatura para freios magnéticos de trens e guindastes.

9.3. Cálculo das Magnitudes Elétricas Envolvidas

Sabe-se que o vetor indução magnética gerado pode ser definido da seguinte forma:

$$B = \mu \frac{N.I}{X} \quad (12)$$

Sabe-se também que uma espira percorrida por uma corrente elétrica e sujeita a um campo magnético sofre a ação de uma Força Magnética.

O módulo da Força Magnética F_M resultante em um condutor percorrido por uma corrente elétrica I e sujeito a um campo magnético B é igual a:

$$F_m = B.I.L.\text{sen}(\theta) \quad (13)$$

onde θ é o ângulo formado entre os vetores de F_m e B

Assim, temos que o módulo do momento de forças resultante em uma espira é igual a:

$$M_o = F_m.d \quad (14)$$

$$M_o = B.I.L.\text{sen}(\theta).d \quad (15)$$

Considerando que as correntes que percorrem a bobina e a espira são as mesmas, podemos substituir o (12) em (15):

$$M_o = \frac{\mu \cdot N \cdot I^2 \cdot L \cdot \sin(\theta) \cdot d}{x} \quad (16)$$

Integrando a contribuição de todas as espiras e utilizando os demais parâmetros de projeto, chega-se a seguinte expressão:

$$M_{total} = (\mu \cdot L \cdot N) \cdot I^2 \cdot 7,0768 \quad (17)$$

Assim, impondo que $M_{total} = \text{Torque}$, temos:

$$I^2 = \frac{12.514}{\mu \cdot L \cdot N} \quad (18)$$

Por fim, utilizando os parâmetros dimensionais propostos, obtém-se a seguinte corrente elétrica necessária:

$$I^2 = \frac{12.514}{0,1 * 0,15 * 1000}; I = 28,9 \text{ A} \quad (19)$$

10. Viabilidade Técnica – Resultados e Simulações

O sistema de controle utilizado nesta simulação de viabilidade técnica foi um controlador PID – Proporcional Integrativo Derivativo e as simulações foram realizadas no Scilab. Será implementado o Controlador PID, que deve ser sintonizado pelo método do ‘Ultimate Gain’ de Ziegler – Nichols para obter resultados ótimos e possibilitar uma análise fiel quanto à eficácia do sistema proposto, agora já com todos os parâmetros definidos, pronto para ser avaliado quanto ao seu desempenho.

Dessa forma, o sistema pode então ser simulado com uma entrada do tipo impulso e será observado o comportamento do Semi Reboque ao longo do tempo. O esperado é que, dada a entrada que perturba o sistema, o sistema de controle entre em ação, acione a fonte de corrente de tensão e regule o funcionamento do sistema de estabilização do Semi Reboque de acordo com os resultados aferidos pelos sensores posicionados no Cavallo Mecânico e no Semi Reboque.

Esta simulação computacional é feita com uma entrada do tipo impulso pois ela representa um desvio repentino que o motorista deve fazer para evitar algum acidente, por exemplo. Tal situação é crítica durante uma manobra e o sucesso em uma simulação sujeita a este tipo de entrada mostra o bom funcionamento do sistema.

Além da entrada do tipo impulso, outra variável muito importante será considerada durante esta simulação computacional: a velocidade de tráfego do veículo. O sistema será simulado trafegando em três velocidades diferentes para confirmar a proposta que este trabalho de aumentar a velocidade de tráfego de 80 km/h para 88 km/h.

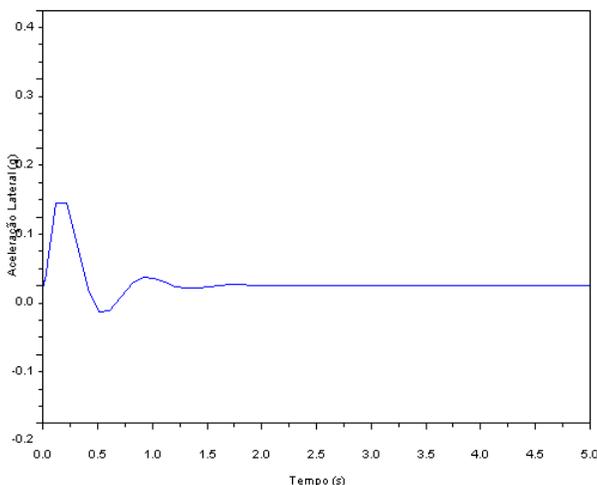
- 1) a 70 km/h: valor abaixo da velocidade limite proposta
- 2) a 88 km/h: valor da velocidade limite proposta
- 3) a 106 km/h: valor acima da velocidade limite proposta

Deve-se notar que a velocidade de tráfego é constante durante o trajeto considerado para a simulação. Não há frenagem, a pista é plana e reta, sendo a entrada do tipo impulso (manobra de desvio) é a única variação imposta ao sistema. Para uma análise mais real do problema, muitos outros fatores poderiam ser levados em conta e tais considerações serão feitas de forma mais profunda ao final do trabalho, na conclusão.

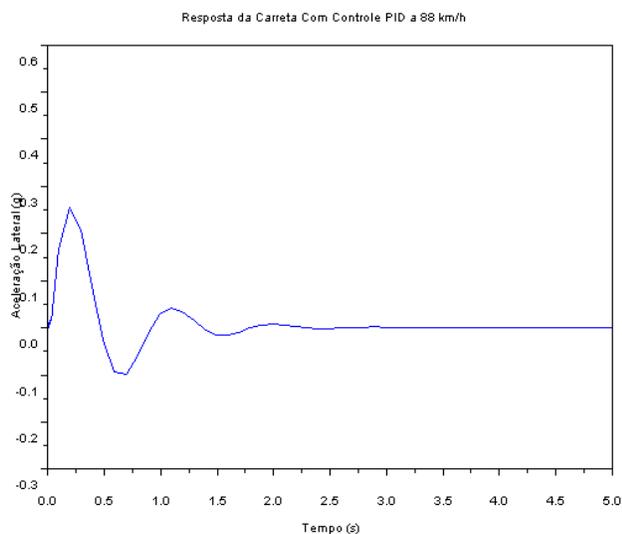
São mostradas as respostas (aceleração lateral em função de g - aceleração gravitacional) do Semi Reboque quando sujeito a uma entrada do tipo impulso nas três situações de velocidade descritas.

1) Velocidade de 70 km/h

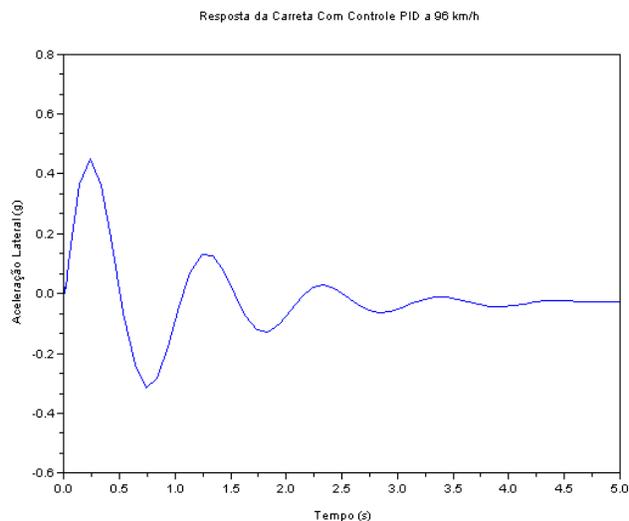
Resposta da Carreta Com Controle PID a 70 km/h



2) Velocidade de 88 km/h



3) Velocidade de 96 km/h



Nota-se que a 70 km/h o Semi Reboque se comporta de forma muito boa, se estabilizando rapidamente e com uma amplitude de aceleração baixa, como esperado, pois ele está trafegando a uma velocidade abaixo da velocidade máxima proposta.

A 88 km/h, o comportamento do Semi Reboque é semelhante ao comportamento verificado com o controle Linear Quadrático à mesma velocidade. De acordo com os resultados empíricos do ITT Reserach Institut (1972), tal comportamento ainda é satisfatório e pode ser aceito. Sendo assim, prova-se a eficácia do sistema de engate quando o Cavallo Mecânico trafega a 88 km/h.

Já com a resposta do sistema a 96 km/h pode-se comprovar que o seu comportamento já não é satisfatório, ainda de acordo com os parâmetros do ITT Reserach Institut (1972), embora ele seja ainda melhor do que quando comparado à situação sem controle algum.

11. Estudo de Viabilidade Econômica e Comercial

Para estudar a viabilidade econômica e comercial de um produto é necessário estimar basicamente as receitas e custos que incorrem durante a operação do negócio e ainda levar em conta os investimentos iniciais e de manutenção que devem ser realizados ao longo do tempo.

O método utilizado para determinar a viabilidade da fabricação deste sistema de estabilização para Semi-Reboques levará em conta a Taxa Interna de Retorno (TIR) do projeto. A TIR é a taxa aplicada ao fluxo de caixa para trazê-lo ao presente de forma que o Valor Presente Líquido (VPL) final seja zero. Feito isso, compara-se a TIR com a taxa de atratividade que o investidor do negócio pretende obter. O negócio passa a ser viável se a TIR for maior que a taxa de atratividade considerada pelo investidor.

A análise de viabilidade será feita estimando a receita mínima que o produto deve trazer ao acionista mantendo a TIR superior à taxa de atratividade mínima considerada pelo acionista. Dessa forma, será feita uma análise para saber se tal preço a ser cobrado é baixo o suficiente para ser aceito pelo mercado e assim todas as vendas planejadas serem concretizadas de fatos.

Com a composição dos custos, investimentos e receita, obtidos a partir de pesquisas, entrevistas e análises, pode-se calcular o preço mínimo que deverá ser cobrado por cada unidade do sistema.

Dado que estima-se uma produção de mil unidades mensais e que toda a produção seja vendida, tem-se, em 2008, um preço unitário de R\$ 238. Dado que o sistema atual de Quinta Roda - Pino Rei custa, no mercado de reposição brasileiro, em média, R\$ 2.000, este sistema de segurança proposto iria acrescer 17% no custo total ao consumidor. Este valor pode ser considerado satisfatório dado os benefícios entregues pelo sistema.

Portanto, o negócio é, a princípio, viável economicamente.

Não se pode, no entanto, afirmar categoricamente acerca da viabilidade econômica do projeto pois a análise feita foi simplificada apenas para indicar que tal estudo pode ser levado adiante para uma análise posterior mais completa.

12. Conclusão

Este trabalho teve como escopo estudar o engate do Cavallo Mecânico no Semi Reboque e propor um sistema de amortecimento controlado no engate para estabilizar o movimento da carreta após manobras bruscas realizadas pelo motorista. Foi feito um estudo do contexto atual do uso de caminhões no Brasil e assim chegou-se a alguns objetivos a serem perseguidos pelo projeto e foi dado início ao estudo teórico do problema.

O Cavallo Mecânico e a Carreta foram modelados matematicamente, de forma simplificada, e foi feita uma análise preliminar da viabilidade técnica de se impor um torque resistivo no engate de forma a estabilizar a carreta. Em seguida, foram propostas três alternativas de solução para o problema e uma delas foi escolhida como sendo a mais viável. Tal solução foi descrita detalhadamente até o seu leiaute final.

Uma vez tendo bem definida a solução que será implementada, foi realizado o estudo final de viabilidade técnica, onde foi apresentado o controle proporcional, integrativo e derivativo (PID) e simulações foram feitas para comprovar a eficiência do sistema. Em tais simulações, o projeto se mostrou eficaz, cumprindo os objetivos propostos no início do trabalho.

Por fim, foi realizado um estudo de viabilidade econômica da solução, abrangendo possíveis volumes de produção, custos e lucratividade esperada. Nestas análises, o projeto também se mostrou viável, completando assim, de forma satisfatória, os estudos propostos por este trabalho.

12.1. Análise Crítica

Embora o sistema proposto, da forma que foi desenvolvido, tenha se mostrado eficiente dentro do escopo proposto, foram feitas uma série de simplificações que devem ser atentadas. Os modelos matemáticos do Cavallo Mecânico e da Carreta foram propostos de forma simplificada, onde foram considerados apenas os itens essenciais para o estudo da dinâmica do sistema no nível que foi proposto no escopo deste trabalho. Não foram considerados os efeitos da suspensão e da altura do centro de gravidade do sistema. Ou seja, as análises foram feitas no plano, considerando apenas o deslocamento relativo entre os dois corpos no plano. Efeitos de tombamento e outros efeitos que ocorrem na vertical não foram analisados.

Outra análise crítica que se pode fazer é com relação às manobras realizadas pelo motorista do Cavallo Mecânico. Foi considerado que o caminhão trafega a velocidade constante, em uma pista perfeitamente plana e retilínea. Manobras de frenagem em descida, por exemplo, representam um risco muito grande para composições articuladas como o Cavallo Mecânico – Semi Reboque, e tais manobras não foram consideradas.

12.2. Desdobramentos

Dadas as simplificações explicitadas no item 12.2, este trabalho pode servir como base para a continuação do estudo em trabalhos de mestrado na área de engenharia mecânica. O desenvolvimento de um modelo matemático mais real, considerando mais parâmetros da dinâmica veicular (parâmetros da suspensão dos veículos, rigidez estrutural, sistema de direção, etc.) e levando em conta a geometria espacial do sistema seria um dos temas de grande relevância para trabalhos futuros. A análise da resposta do sistema quando sujeito a outras manobras (em descida, durante frenagem e aceleração, com a carreta trafegando vazia e com carga máxima, etc.), assim como variações na condição da pista (pista molhada, sinuosa, esburacada, etc.) também abre a possibilidade para mais desenvolvimentos futuros.

13. Referências

- ITT RESEARCH INSTITUT, **Articulated Vehicle Handling**, Chicago, 1972
 MEIROVITCH, L. **Elements of Vibration Analysis**, McGraw-Hill Education, 1975
 MYERS, S. C.; BREALEY, R. A.; MARCUS, A. J. **Fundamentals of Corporate Finance**. 5a. ed. McGraw Hill Professional, 2005
 RUBEM, P.M. “**Avaliação da Estabilidade Lateral em Conjuntos de Veículos de Carga**” PUC/PR, 2004VIAS
 SEGURAS Informações sobre a Associação Brasileira de Prevenção aos Acidentes de Transito no Brasil, acessado em <http://www.vias-seguras.com/index.php> acessado, mar/2008

DEVELOPMENT OF A FIFTH WHEEL – KINGPIN COUPLING WITH ACTIVE DAMPING FOR USE IN COMMERCIAL VEHICLES

Rafael Gonçalves Rizzi
 rizzi.rafael@gmail.com

Abstract. This paper presents the development of a coupling between the truck and the trailer (Fifth Wheel – King Pin System), proposing a device that inputs a damping to the system in a controlled way, in order to make it safer and thus, faster. The problem to be addressed is presented as well as the methodology that will be used. Then, the general theoretical concepts and the mathematic model that describes the system are presented with a preliminary technical viability analysis, which showed positives results, enabling the project’s further development. After analyzing the functional requests, three proposals of solution were presented. The best solution was chosen and extensively detailed. This solution considers the usage of electrical current to produce the necessary resistive torque on the King Pin in order to stabilize the trailer’s movement. Thus, a final technical viability study was performed and simulations of the results were made to attest the solution’s efficiency in comparison to empirical data found in literature. To sum up, an economic viability analysis was also performed and the project showed itself more again feasible, technically and economically.

Keyword:. Kingpin, Fifth Wheel, Coupling, Active Damping