



UM SISTEMA DE FRENAGEM E DE ACELERAÇÃO INTELIGENTE

José Homero Feitosa Cavalcanti

DTM-CT/UFPB-JP Campus I, Bairro Universitário, S/N. CEP58059-000 João Pessoa, PB
e-mail: homero@ct.ufpb.br

Valdeci Gervásio Moreira

DTM-CT/UFPB-JP Campus I, Bairro Universitário, S/N. CEP58059-000 João Pessoa, PB

Everaldo Fernandes Monteiro

DEC-CCT/UFPB-CG Campus II, Bodocongó, 882. CEP58.100 Campina Grande, PB
e-mail: efernandesmonte@uol.com.br

***Resumo.** Neste trabalho serão apresentados o projeto, a análise e os resultados experimentais obtidos do protótipo de um sistema de aceleração e de frenagem, utilizando lógica fuzzy.*

***Palavras chave:.** Sistemas Inteligentes, Lógica Fuzzy, freios antitravamento.*

1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que o coeficiente de atrito dinâmico é menor que o coeficiente de atrito estático. Isto significa que se um veículo, durante a frenagem, bloqueia as suas rodas, o seu espaço de frenagem é maior que o espaço de frenagem do mesmo veículo (na mesma velocidade) que não bloqueia alguma das suas rodas (Braga, 1994).

O ABS (“Antilock-Brake System”) foi originalmente desenvolvido para aviões. A análise necessária ao ABS frequentemente requer múltiplos testes usando dispositivos do tipo osciloscópio e um dispositivo para armazenar os dados, além de equipamentos para monitorar as peças mecânicas. Utilizam-se também registros de ocorrências passadas que são correlacionadas com as atuais numa forma dispendiosa de tempo. O ABS mantém a estabilidade do veículo durante uma freada pela rápida pulsação dos freios o que causa ruído.

Diversos institutos de pesquisas estão desenvolvendo melhoramentos sobre o ABS. Por exemplo, a empresa “Infineon Technologies Corp.” recentemente produziu um sensor inteligente que diagnostica ABS. O novo sensor, denominado TLE4942, utiliza uma tecnologia que permite a sua própria calibração. Ele utiliza o efeito Hall para decidir se há algum problema. Os sensores convencionais, baseados na relutância variável, comumente utilizados em ABS, só podem fornecer a velocidade da roda pela contagem dos dentes de uma engrenagem (informações obtidas na WEB). Os atuais Sistemas de Frenagem do tipo ABS são projetados para impedirem que uma das rodas não pare (bloqueio) ou tenha uma rotação diferente das demais rodas do veículo pois isso indicaria deslizamento.

Baseado num sistema estabilizador de planos (Ferreira et ali, 1999) e num anemômetro inteligente (Cavalcanti et ali, 2000) decidiu-se construir um sistema inteligente para monitoramento

da frenagem e da aceleração de veículos. Neste trabalho serão apresentados o projeto e resultados experimentais obtidos de um protótipo de um sistema inteligente de frenagem e de aceleração denominado Sistema de Freios e de Aceleração Inteligente (SFAI). O SFAI utiliza um mouse para detectar a aceleração ou a frenagem dos veículos. Devido às imprecisões dos dados obtidos durante a frenagem e a aceleração decidiu-se que o SFAI utilize lógica fuzzy (Zadeh, 1965/1988) para a análise inteligente dos dados, aceleração e ativação do freio.

2. O PROJETO DO SFAI

Na Figura (1) apresenta-se um desenho da visão de cima (perpendicular à pista) de uma pista de automóveis com uma curva suave com um veículo (representado como um retângulo) e um pêndulo dentro dele (o pêndulo é representado por uma reta com um círculo na ponta). O veículo está representado em diferentes instantes durante a curva. Observa-se que, antes do ponto 1 o veículo se encontra numa trajetória retilínea e com velocidade constante, não havendo força centrípeta e conseqüentemente não há inclinação do pêndulo. Durante a curva, o pêndulo se inclina em diferentes ângulos, iniciando no ponto 1, com a inclinação máxima ocorrendo no ponto 2 (ponto em que se vê o maior comprimento do pêndulo), terminando no ponto 3.

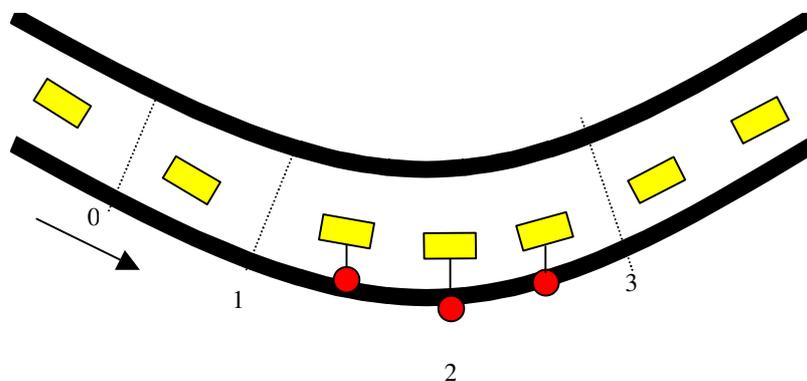


Figura 1. Movimentos do pêndulo durante uma curva

Na Figura 2 apresenta-se o desenho da visão superior de um veículo se deslocando sobre uma estrada plana e reta da esquerda para a direita. Inicialmente, no ponto 1, o veículo está se acelerando e o pêndulo apresenta um deslocamento para a esquerda (em relação à normal). De acordo com a intensidade da aceleração o ângulo do pêndulo aumenta ou diminui. No ponto 2 o veículo se desloca à uma velocidade constante. No ponto 3 o freio é acionado e o pêndulo se posiciona à direita (em relação à normal). De acordo com a intensidade do freio o ângulo do pêndulo aumenta ou diminui. Se houver deslizamento durante a frenagem (ou aceleração) o valor absoluto da inclinação do pêndulo diminui. Deseja-se que o SFAI, durante a aceleração (ou frenagem), force o ângulo do pêndulo, em relação à normal, permanecer constante.

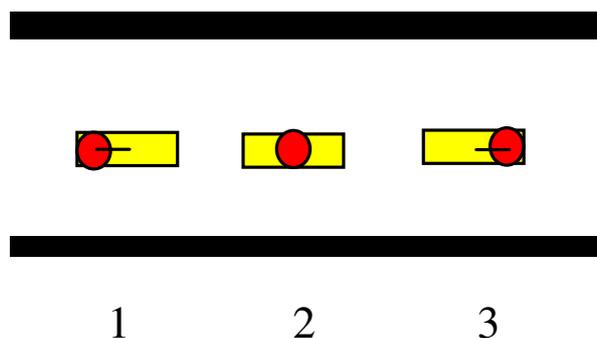


Figura 2. Trajetória retilínea

3. ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS DO PÊNDBULO

Na Figura (3) apresenta-se esquematicamente um pêndulo simples cujo comportamento dinâmico é descrito matematicamente pela equação diferencial não linear mostrada na Eq. (1). Na Eq. (1) a letra t representa o tempo na forma contínua, $Tl(t)$ representa o Torque de carga, P representa o Peso do pêndulo, M representa a Massa do pêndulo, L representa o comprimento do pêndulo, $\theta(t)$ representa o ângulo entre o pêndulo e a vertical, e g representa a aceleração da gravidade. Considerando-se a aceleração do pêndulo igual a zero, o torque para movimentar o pêndulo é apresentado na Eq. (2).

$$Tl(t) = ML^2 \frac{d^2\theta(t)}{dt^2} + PL\text{sen}(\theta(t)) \quad (1)$$

$$Tl(t) = PL\text{sen}(\theta(t)) \quad (2)$$

O SFAI utiliza um mouse conectado ao pêndulo para medir o seu movimento. Os dados obtidos do mouse indicam movimentos do pêndulo nos eixos X e Y. Esses dados devem ser transformados em intensidade do freio e na direção do veículo. O movimento do pêndulo no SFAI está representado na Fig. (4), na área formada pela semi-esfera de raio L , igual ao comprimento do pêndulo. A intensidade do freio é calculada com a Eq. (3), e o ângulo entre o pêndulo e os eixos X e Y é dado pela Eq. (4).

$$I = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (3)$$

$$\theta = \text{arctg}(I/\sqrt{L^2 - I^2}) \quad (4)$$

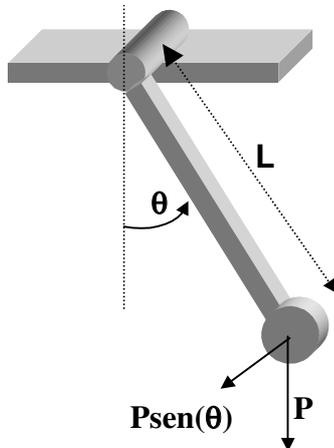


Figura 3. O Pêndulo Simples

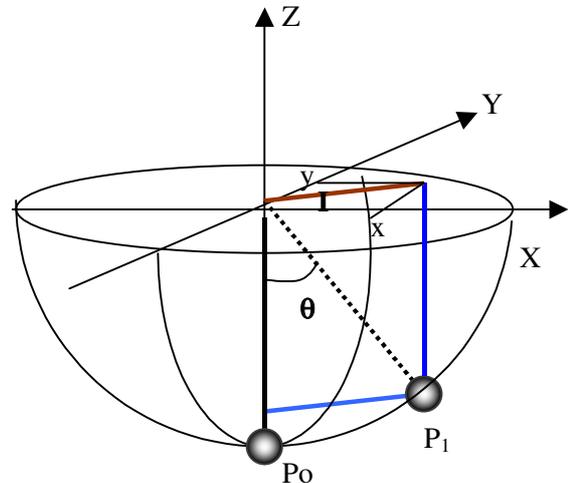


Figura 4. Intensidade do freio e direção

Na Figura (5) apresenta-se o diagrama geral do SFAI. Os movimentos do pêndulo são "fuzzyficados" e analisados pelo SFAI. Após a consulta à base de conhecimentos onde se encontram as regras e axiomas do SFAI os resultados gerados pelo núcleo do SFAI são "defuzzyficados" e o freio ou acelerador é acionado.

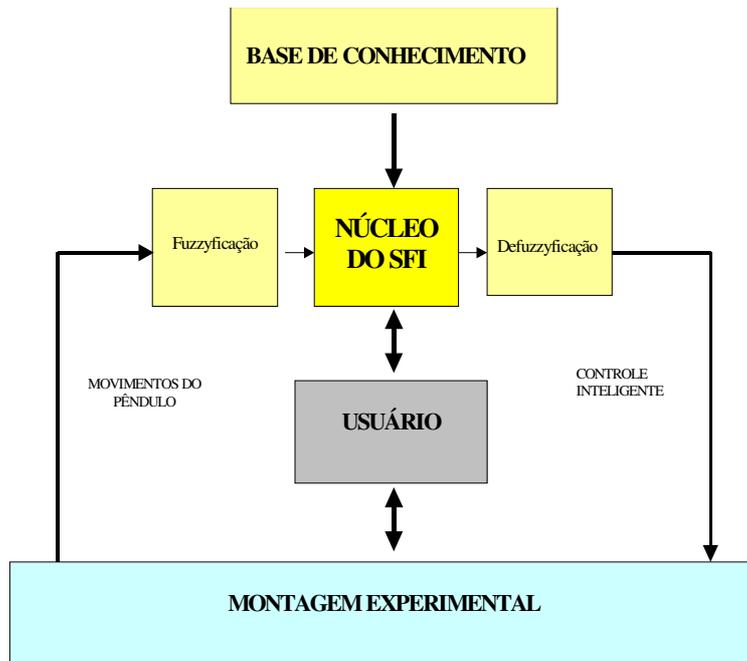


Figura 5. Diagrama geral do SFAI

Atribui-se uma variável fuzzy (I_f) para representar a intensidade do freio ou da aceleração. Associaram-se diferentes valores lingüísticos para I_f (zero (Z), pequeno (P), médio (M) e grande (G)). Na Fig. (6) são apresentadas as curvas das funções de pertinência (escolhidas heurísticamente) da variável fuzzy I_f . Inicialmente I é calculado usando a eq. (3). A seguir, o valor de I é transformado em por unidade (p.u.). O valor qualitativo fuzzy (variáveis lingüísticas) de I_f é calculado usando a operação união do conjunto fuzzy. A função de pertinência de I_f vencedora é a que tem maior valor. Na Fig. (5) o alvo é uma reta perpendicular à abscissa no ponto $I=0.7$. Neste ponto a função de pertinência vencedora é a PM (maior valor). Portanto, $I_f=M$ para $I=0.7$.

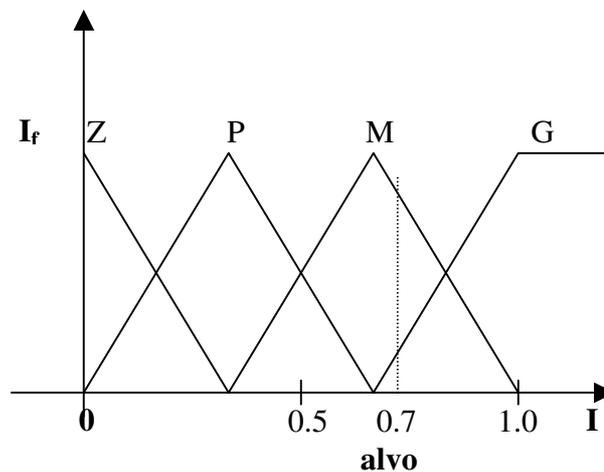


Figura 6. Funções de pertencimento de I_f .

5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Devido à dificuldade de se construir um protótipo e um ambiente de prova para um veículo de duas ou 4 rodas decidiu-se construir um ambiente para um veículo de uma roda (elétrico). Decidiu-se também só utilizar um dos detectores de posição (na direção X) do movimento de um mouse padrão.

Na Fig. (7) apresenta-se um diagrama do protótipo (visto de perfil) utilizado para o teste do SFAI. O ambiente de teste compõe-se de uma roda (2) apoiada sobre um disco (1) que gira a 60 rpm, a roda está acoplada a um motor de corrente contínua (3) que é sustentado sobre a roda girante por meio de um suporte rígido (5) que pode se locomover dentro de um tubo (4). Apoiado sobre o suporte (8) existe uma esfera de ampliação (7), que sustenta o mouse (9) apoiado sobre a sua bola (7). O mouse é acoplado ao suporte pelo apoio (10) mostrado na mesma figura. A roda girante pode ser aproximada ou afastada do disco girante, isto configura um movimento de periscópio entre o tubo (4) e o suporte rígido. O movimento do periscópio também compensa o deslocamento lateral da roda girante durante o freio.

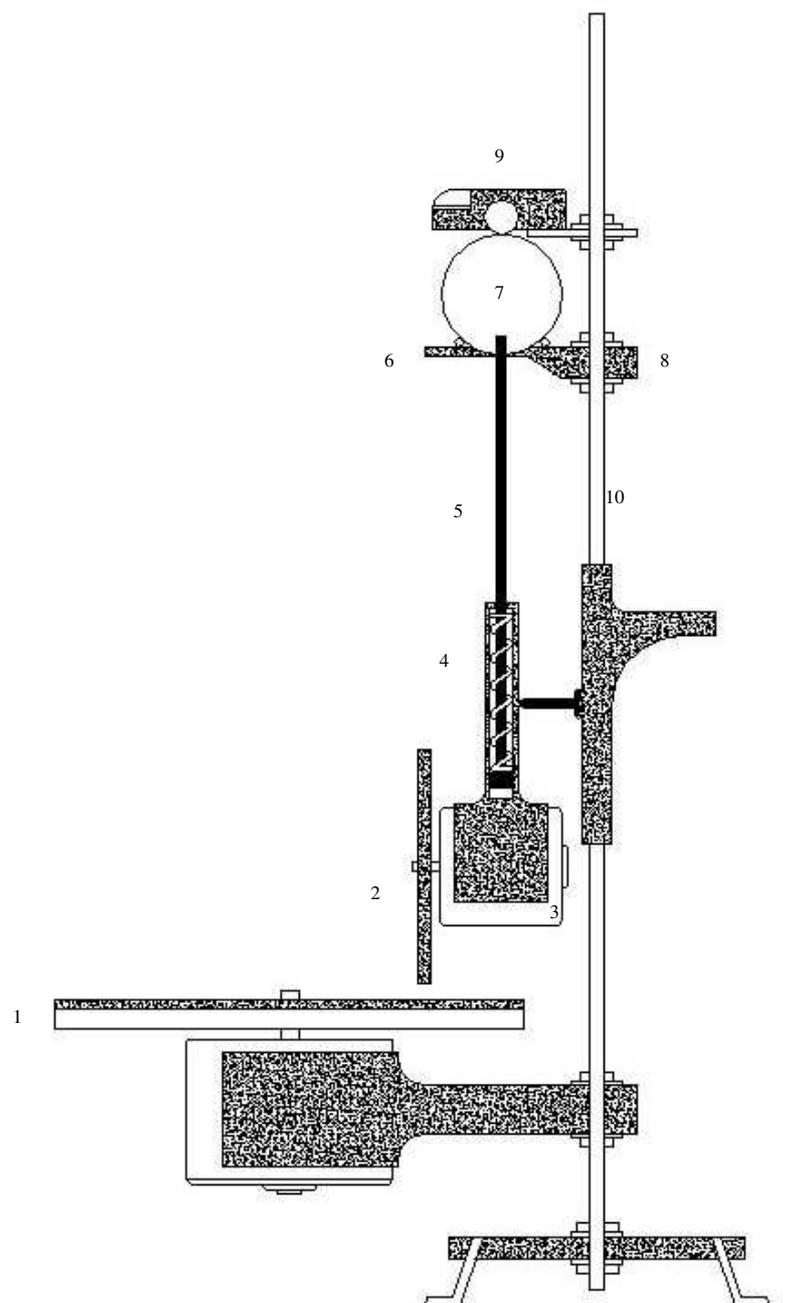


Figura 7. Diagrama geral do protótipo de teste do SFAI

Durante a frenagem o veículo tende a se deslocar na direção em que a roda tem maior atrito, modificando a sua trajetória. No SFAI a trajetória atual do veículo é comparada com a direção

indicada pelo motorista (inclinação do pêndulo) no início da frenagem. A partir do erro observado entre a trajetória esperada e a atual do veículo, representada pelo ângulo do pêndulo, o binário freio/aceleração (usando o motor elétrico de corrente contínua) é imposto às rodas do veículo, forçando-o a se mover na direção indicada pelo motorista. Enquanto o condutor não modificar a direção do veículo ou interromper a frenagem a direção indicada no instante da frenagem é utilizada como referência. Durante a frenagem, além do controle de deslizamento das rodas, será controlada a força centrífuga exercida durante a curva. A força centrífuga é sentida pelo pêndulo.

Na Figura (8) apresenta-se uma tela que ilustra o funcionamento do SFAI. Nessa tela apresentam-se os resultados experimentais de frenagem e aceleração obtidos utilizando o SFAI. A tela é dividida em duas partes.

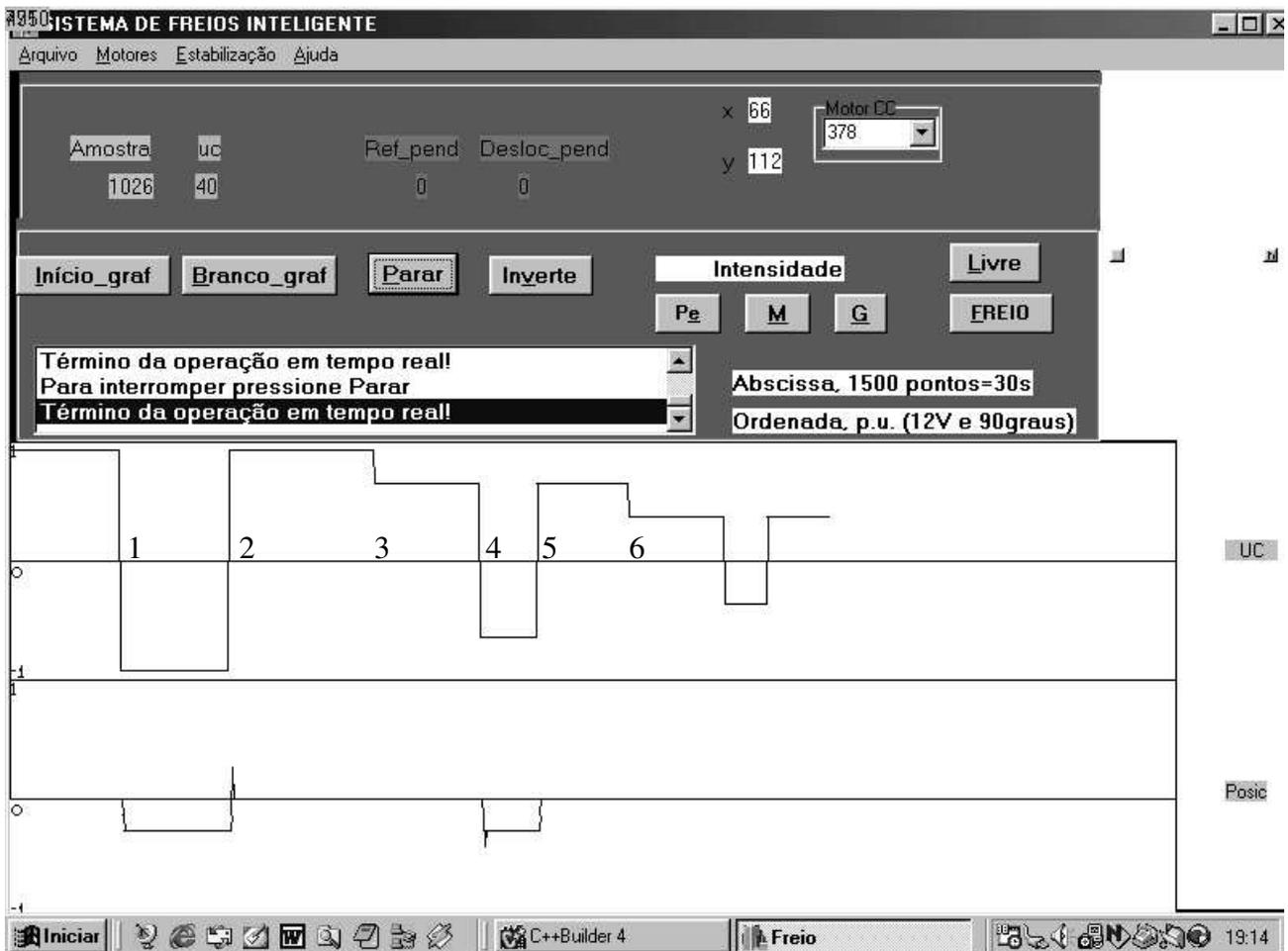


Figura 8. Tela de teste do SFAI

A parte superior da tela da Fig. (8), que também é dividida em duas partes, na semiparte superior apresenta os botões e legendas que indicam o desenrolar do experimento. No lado direito da parte superior da tela existe uma legenda que indica o endereço da porta paralela (378H) utilizada como interface ao SFAI. Nela também há uma legenda indicando o número de amostras (750 amostras, cada amostra representado um tempo de amostragem de 20ms). A legenda uc (ao lado de Amostra) indica o valor percentual da tensão aplicada sobre o motor de corrente contínua. As legendas Ref_pend e Desloc_pend indicam os valores referência e atual do pêndulo. Na semiparte inferior é apresentado os botões utilizados para o controle do experimento.

Na parte inferior da tela apresentam-se duas formas de ondas: a forma de onda da tensão aplicada à armadura do motor de corrente contínua (UC na curva superior), e o deslocamento do pêndulo (Posic na curva inferior).

Após o operador acionar o botão FREIO (teclar F de FREIO ou clicar no botão FREIO) inicia-se o teste do SFAI. O disco em que a roda está apoiada gira à sua velocidade nominal e a roda do motor cc estará girando com a velocidade escolhida pelo operador utilizando os botões Pe, M e G. Utilizando-se o botão G faz-se com que o motor cc seja excitado com uma tensão de 1.0 p.u. (equivalente a 12V) como pode ser visto na curva superior da Fig. (8) (uc). O pêndulo acoplado ao suporte do motor cc não se move. No ponto 1 é feita uma inversão da tensão no motor cc (teclando o botão Inverte) , passando de 12V para -12V. O torque gerado pelo atrito da roda com o disco movimenta a haste do pêndulo como mostrado na curva inferior (Posic). No ponto 2 da Fig. (8) a tensão no motor cc é modificada para +12V, havendo um retorno da haste do pêndulo a sua posição anterior em que as rodas e discos tinham a mesma direção de rotação. No ponto 3 tecla-se o botão M para gerar uma tensão de 0.7 p.u. ou 8.4V no motor cc. Esta variação de tensão não gera um torque detectável pelo pêndulo. No ponto 4 a tensão no motor cc é mudada para -8.4V, o que gera um torque no pêndulo fazendo com que ele se mova para a posição indicada na curva inferior (uc) da Fig. (8). No ponto 5 a tensão no motor cc é mudada para 8.4V, o torque gerado faz com que o pêndulo retorne à posição inicial, o que pode ser visto na curva inferior da Fig. (9). No ponto 6 a tensão no motor cc é mudada para 4.8V. A tensão de $\pm 4.8V$ aplicada ao motor cc não consegue modificar a posição do pêndulo.

A seguir, foi realizada uma experiência para verificar a aplicação brusca do freio. Antes da frenagem a roda e o disco giravam livremente, a roda estava afastada 1cm do disco. O disco e a roda giravam à sua velocidade nominal sendo que em direções diferentes. Na Fig. (9) apresenta-se um gráfico com as variações da posição do pêndulo durante a frenagem (obtidas do movimento do cursor do mouse). Na Fig. (9), na abscissa, o tempo é representado em segundos. Na ordenada apresenta-se o deslocamento do ponteiro do mouse. Inicialmente, em $t=12s$, o ponteiro do mouse se encontrava na posição 172. Aproximadamente no instante $t=13s$, no ponto central da curva, é acionado o freio, caracterizado pela colocação repentina da roda sobre o disco. O impacto causado pelo atrito entre o disco e a roda gera um torque que move o pêndulo, fazendo com que o cursor do mouse se movesse até a posição 115, ali permanecendo durante centésimos de segundos. Observa-se nesse ponto uma variação no torque devido ao atrito entre a roda e o disco (variação entre 115 e 118 do ponteiro do mouse). Aproximadamente em $t=13.5s$ o freio é desativado, caracterizado pela retirada da tensão sobre o motor de corrente contínua que gira a roda. Observa-se uma variação na posição do cursor do mouse indicando a repentina retirada do freio e o retorno do pêndulo a sua posição normal. Observa-se que o deslocamento do pêndulo tende ao valor anterior da frenagem. As diferenças apresentadas nos valores das posições iniciais e finais do cursor do mouse são devidas aos bruscos movimentos do pêndulo. Considera-se que o SFAI detecta o deslizamento do veículo pela diminuição da inclinação do pêndulo depois da frenagem.

Seguindo o diagrama do SFAI (ver Fig. (5)), a variação do cursor do mouse é ‘fuzzyficada’, utilizando funções de pertinência do tipo mostrada na Fig. (6), e analisada utilizando as operações lógicas fuzzy (união) para a ativação do SFAI.



Figura 9. Exemplo de frenagem abrupta com o SFAI

Na Fig.(10) apresenta-se uma fotografia da montagem experimental do SFAI. Na parte superior da Fig.(10) apresenta-se o microcomputador utilizado para gerenciamento dos experimentos. No centro da Fig. (10) apresenta-se a esfera de ampliação dos sinais obtidos durante os experimentos. Acima da esfera de ampliação pode-se observar o mouse ligado ao microcomputador. Abaixo da esfera de ampliação pode-se ver o suporte rígido acoplado à roda girante.

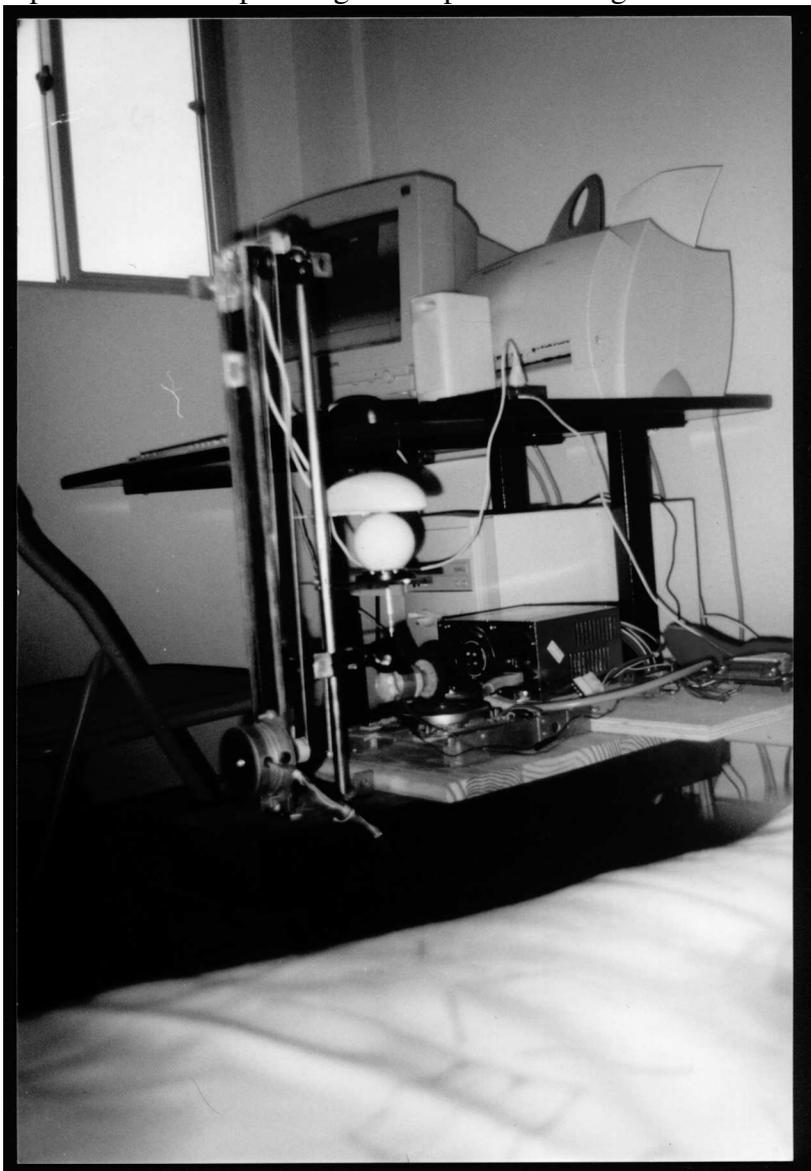


Figura 10. Fotografia do SFAI

6. CONCLUSÃO

Apresentou-se o projeto, a análise, a implementação e resultados experimentais de um novo sistema de freios e de aceleração que utiliza dispositivos de interface padrão de microcomputadores. Foi desenvolvido um software que possibilita o controle em tempo real da frenagem ou aceleração. Apresentaram-se resultados preliminares obtidos de um sistema inteligente utilizando Lógica Fuzzy para o controle do sistema de freios para um veículo. A Lógica Fuzzy permite a representação qualitativa e quantitativa da frenagem e aceleração do veículo. Esta nova abordagem de frenagem não invalida os sistemas de freios atuais pois o SFAI pode ser utilizado em conjunto com os sistemas ABS atuais.

Para trabalhos futuros espera-se desenvolver um algoritmo de adaptação do SFAI (controlar o posicionamento do pêndulo) utilizando Lógica Fuzzy. Após os testes experimentais com os controladores, pretende-se desenvolver novos protótipos, com duas e quatro rodas, e utilizar o

controlador mais adequado ao SFAI. Finalmente, pretende-se desenvolver um protótipo a ser utilizado em carros que utilizem combustíveis padrões disponíveis no mercado.

7. REFERÊNCIAS

- Braga, N. C., O sistema de freios ABS, Revista Saber Eletrônica, N°262, 1994, pp.65-68.
Zadeh, L.A., “Fuzzy Sets”, Information and Control, 1965, 8, pp.28-44.
Zadeh, L. A., “Fuzzy Logic”, IEEE Computer Mag. April 1988, pp83-93. Republicado por J.A. Anderson & E. Rosenfeld, Neurocomputing Foundations of Researchs, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA, 1988. Pp.177-194.
Ferreira, J. R. da Silva, Carvalho, J. N. de, Cavalcanti, J. H. F., e Monteiro, E. F., “Sistema Estabilizador de Planos – SESPLA”, COBEM’99 - Congresso Brasileiro de Mecânica, Águas de Lindóia, SP, 1999.
Cavalcanti, J. H. F. & Carvalho, J. N. & Monteiro, E. F. & Silva, J. F., “Medição da Direção e Intensidade do Vento Utilizando um Anemômetro Inteligente”, CONEM2000, Natal RN, 2000.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

INTELLIGENT BRAKING AND ACCELERATING SYSTEM

José Homero Feitosa Cavalcanti

DTM-CT/UFPB-JP, Campus I, Bairro Universitário, S/N. CEP58059-000 João Pessoa, PB
e-mail: homero@ct.ufpb.br

Valdeci Gervásio Moreira

DTM-CT/UFPB-JP, Campus I, Bairro Universitário, S/N. CEP58059-000 João Pessoa, PB

Everaldo Fernandes Monteiro

DEC-CCT/UFPB-CG, Campus II, Bodocongó, 882. CEP58109-970 Campina Grande, PB
e-mail: efernandesmonte@uol.com.br

Abstract. This paper presents the design, analyze and experimental results obtained from a prototype of an Intelligent Accelerating and Braking System using Fuzzy Logic .

Key Words: Intelligent Systems, Fuzzy Logic, Antilocking Brake System.