

# RELATÓRIO FINAL: PROJETO DESAFIO – CONTROLE DE UM PROTÓTIPO DE RODA GIGANTE

## Laboratório de Controle e Automação I (LECI 1)

Professor: Reinaldo Martinez Palhares

DEE-EEUFMG

Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha - Belo Horizonte - MG

CEP 31270-901

**Integrantes:** Edson Frederico Aguiar, Gustavo Oliveira Fortes,  
Daniel Henrique Cardoso Muniz, Nadja Carvalho Pereira.

## 0 OBJETIVOS

O “projeto desafio” da disciplina Laboratório de Controle e Automação I tem por objetivo a concepção e montagem de um sistema real de controle executando todos os passos relevantes no processo de modelagem da planta e síntese de seu controlador.

O sistema escolhido para implementar o projeto foi um modelo em pequena escala simulando uma Roda Gigante. O objetivo é controlar sua velocidade e posição angular.

## 1 INTRODUÇÃO

A proposta desse relatório é expor os assuntos e atividades referentes ao projeto do controlador para a planta especificada.

As atividades descritas consistem na implementação do projeto, análise da planta durante montagem e discussão dos resultados da implementação do controlador.

## 2 DESCRIÇÃO DO PROJETO

O contexto deste projeto é efetuar o controle de velocidade e posição angular de um modelo em menor escala de uma roda gigante. O sistema é bastante simples, porém pode-se derivar muitas aplicações semelhantes que utilizam o mesmo princípio de funcionamento. Todo sistema que utilize controle de velocidade e posição de um motor de corrente contínua pode ser incluído como exemplo, ou seja: controle do motor que aciona um elevador, controle de velocidade de uma bobinadeira, controle de posição de um cabeçote de impressora a jato de tinta, etc.

A Figura 1 esquematiza o funcionamento do sistema proposto:

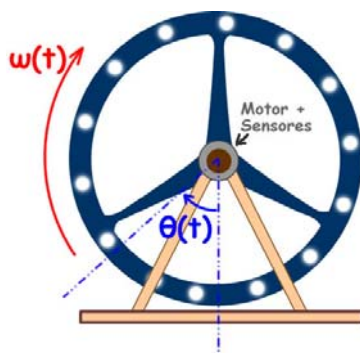


Figura 1 – Esquema da “Roda Gigante”

No esquema estão marcadas as variáveis que serão controladas:

- $\omega(t)$  - velocidade angular
- $\theta(t)$  - posição angular

É importante ressaltar, que para simplificar uma variável é controlada por vez. Ou seja, há um chaveamento entre os circuitos de controle de posição e de controle de velocidade. Não há ação conjunta das estratégias de controle de cada variável.

Segue uma imagem da montagem do protótipo:

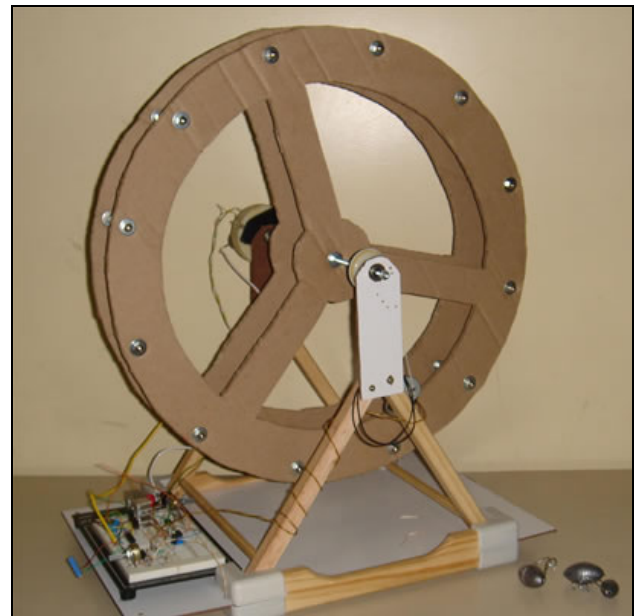
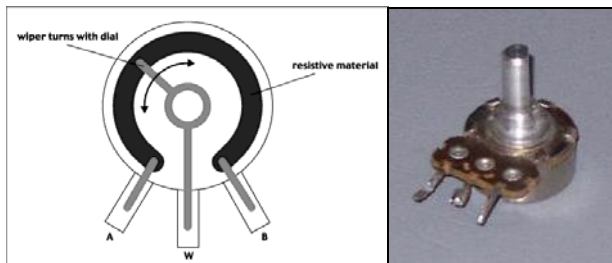


Figura 2 – Montagem da “Roda Gigante”

O funcionamento básico do processo baseia-se na entrada fornecida pelo usuário para uma condição de velocidade ou posição através de um pino giratório (potenciômetro). Estas entradas são chamadas de referência.



**Figura 3 – Modelo de Potenciômetro**

A Figura 3 mostra esquematicamente um potenciômetro que é um componente eletrônico que possui resistência elétrica ajustável. Geralmente, é um resistor de três terminais onde a conexão central é deslizante e manipulável. Se todos os três terminais são usados, ele atua como um divisor de tensão.

### 3 ELEMENTOS BÁSICOS DO SISTEMA DE CONTROLE

Os elementos necessários ao desenvolvimento do projeto descrito acima, bem como suas funções são descritos a seguir.

#### 3.1 Atuador

O atuador do sistema consiste em um pequeno motor de corrente contínua, facilmente encontrado em diversos dispositivos comuns no dia-a-dia, como por exemplo, os eletrodomésticos.

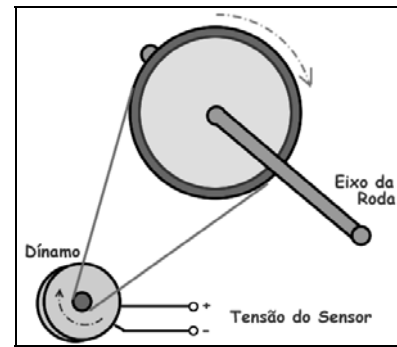
O motor utilizado foi retirado de um “espremedor de frutas”. Associado a ele, está uma caixa de engrenagens muito providencial para o projeto, pois aumenta a capacidade do torque do pequeno motor. O aumento de torque é devido à transmissão da caixa de engrenagens, o motor gira a alta velocidade e baixo torque e a saída da caixa gira com menor velocidade e maior torque. Este motor aceita sinais de tensão que variem entre 0 e 5V.

Variando-se a tensão aplicada em seu circuito de armadura, tem-se uma variação de sua velocidade e posição. Assim, acoplado-se seu eixo ao eixo da roda gigante, pode-se facilmente controlar a velocidade e a posição angular. Portanto, a variável de atuação do sistema de controle é a tensão aplicada na armadura do motor, que proporcionalmente provoca a movimentação do motor CC.

Entretanto, um circuito auxiliar de acionamento do motor foi necessário devido a insuficiência do circuito eletrônico que gera o sinal de atuação também fornecer corrente para o movimento do motor em toda a sua faixa de operação.

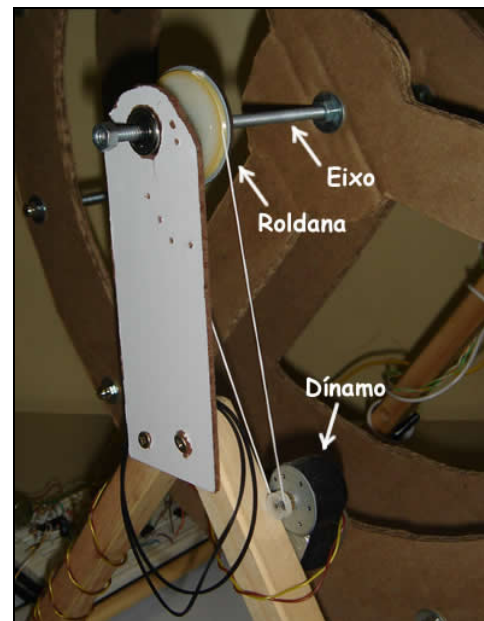
#### 3.2 Sensores

Um dos sensores de nosso sistema de controle é outro motor de corrente contínua que atua como dínamo (ou gerador de tensão). Ele está acoplado através de duas roldanas e uma fita ao eixo da Roda Gigante. À medida que a roda gira, uma tensão diretamente proporcional à velocidade aparece nos terminais do dínamo.



**Figura 4 – Esquema do Sensor de Velocidade**

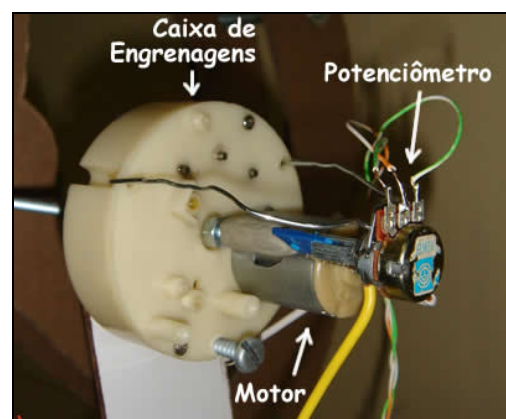
A seguir, uma imagem da montagem do sensor de velocidade:



**Figura 5 – Montagem do Sensor de Velocidade**

O outro sensor de nosso sistema de controle consiste em um potenciômetro de giro, o mais simples encontrado no mercado. Para que ele pudesse ser capaz de dar múltiplas voltas, acompanhando o movimento da Roda Gigante, foi quebrada sua trava.

Seu eixo é acoplado ao eixo da Roda Gigante de maneira a gerar um valor de resistência variável proporcional à posição. Após devidamente calibrado, cada valor de resistência corresponderá a uma determinada posição angular, que deverá variar dentro da faixa de giro do sensor (o potenciômetro tem um limite máximo de giro em seu eixo, medido em torno de 300°). Para esse projeto estão sendo utilizados potenciômetros de 10K ohms, um como sensor outros dois como *set point* ou referência de posição e velocidade.



**Figura 6 – Montagem do Sensor de Posição**

Como observado, o potenciômetro com a trava quebrada é acoplado diretamente ao eixo da Roda, sendo posicionado atrás do motor e caixa de transmissão. Um sinal elétrico de tensão proporcional à posição da Roda é facilmente gerado uma vez que se tem um valor de resistência variável à medida que a Roda gira. Porém há uma região de descontinuidade e indeterminação do sinal onde antes estava posicionada a trava. Para a obtenção do sinal de tensão, o potenciômetro é utilizado como divisor de tensão e o sinal de posição é tomado como a tensão sobre ele. Esse sinal é subtraído do sinal de referência na malha de controle para gerar o sinal de entrada do controlador.

### 3.3 Elemento gerador do set point (referência)

O usuário entra com uma referência de posição ou de velocidade para a Roda Gigante através dos respectivos potenciômetros. A entrada é feita diretamente no eixo do potenciômetro, girando-o para um lado ou para o outro, aumentando ou diminuindo o valor desejado de referência qualitativamente.

Assim, da mesma forma como o sensor de posição gera um sinal elétrico proporcional à posição, este potenciômetro também será usado para gerar um sinal de tensão proporcional à referência desejada pelo usuário. Esses dois sinais, então, serão subtraídos por meio de um circuito eletrônico simples (explicado mais adiante) e a saída colocada na entrada do controlador. A partir desse erro calculado é que o controlador vai efetuar a ação de controle sobre a variável manipulada.

A atuação na velocidade funciona de maneira análoga, apenas com a diferença de que o sensor de velocidade é um motor gerador de tensão proporcional à velocidade do eixo da Roda Gigante.

### 3.4 Controlador

O controlador é analógico e foi implementado num protoboard anexo à base da Roda Gigante. O circuito que implementa tal elemento será descrito com maiores detalhes na ocasião de sua implementação, na terceira etapa do projeto.

Para o controle de posição foi projetado um controlador apenas “P” (PID - Proporcional Integral Derivativo). A parte derivativa devido à dificuldade de implementação será deixada de lado, a parte integrativa já está embutida na planta do sistema a ser controlado. Além disso, acredita-se que com um controlador “P” um resultado muito satisfatório será alcançado.

Para o controle de velocidade, também foi implementado um controlador “P”. Mais por praticidade que por fundamentação teórica. Será visto posteriormente que a falta da parcela integrativa implicará em erro em estado estacionário.

## 4 DESCRIÇÃO DOS CIRCUITOS ELETRÔNICOS

### 4.1 Circuito dos sensores

#### 4.1.1 Sensor de posição

O circuito responsável por gerar o sinal de saída em tensão do sensor constitui-se de uma simples associação série de uma resistência com o potenciômetro que representa o elemento de medição. A Figura 5 evidencia este circuito:

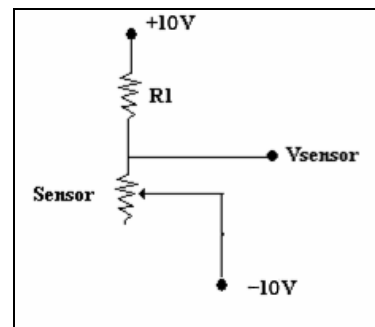


Figura 7 – Circuito que gera o sinal de saída do sensor de posição

A Tabela 1 a seguir enumera os valores dos elementos descritos no circuito:

Elemento	Valor
R1	27,4kΩ
Sensor	Potenciômetro de giro – 10kΩ

Tabela 1 – Elementos do circuito que gera a saída do sensor

Analisando o circuito descrito pela Figura 7, observa-se que o sinal de saída do sensor será um nível de tensão que pode variar entre 0V e 3.2V aproximadamente. Basta observar os cálculos:

Mínimo:  $R_{\text{sensor}} = 0\Omega \Rightarrow$  Saída: 0V

Máximo:  $R_{\text{sensor}} = 10k\Omega \Rightarrow$  Saída: 3.2V

$$\frac{12V}{27,4k\Omega + 10k\Omega} * 10k\Omega = 3.02V$$

#### 4.1.2 Sensor de velocidade

A escolha do elemento de medição de velocidade foi demorada, pois desejava-se uma maneira eficiente, prática e que não necessitasse de um circuito auxiliar de condicionamento de sinal muito complexa.

Várias opções foram levantadas e discutidas, como por exemplo o uso de *encoder* (que seria confeccionado pelo grupo) e as várias maneiras de construí-lo (com *reed-switch*, com placa de circuito impresso, com foto-transistor); também a possibilidade de aproveitar o sinal de posição, dado que a velocidade é a derivada do mesmo; e a utilização de um dínamo.

De todas as opções, o dínamo apresentou-se ser a melhor pela praticidade e pela grande característica que é a sua natureza analógica, o que implica que um mínimo de velocidade é capaz de excitar o sensor e rapidamente ser gerado um sinal correspondente.

O dínamo é um conversor de energia mecânica em energia elétrica, sendo que esta última é contínua. A construção do dínamo é a mesma de um motor, basicamente, um rotor (geralmente de onde se retira a energia) e um estator (que pode conter um eletro-ímã ou um ímã simplesmente, que é o nosso caso).

A única característica do dínamo utilizado desagradável (mas solucionável!) era o sinal gerado quando este era submetido a girar em baixa velocidade. O sinal, nessa condição de operação

apresenta um ripple muito grande, de um valor máximo ao zero, num período  $P$ . Como a velocidade de operação da Roda Gigante era baixa, essa característica não pôde ser desprezada nos nossos circuitos.

## 4.2 Circuito de acondicionamento do sinal do sensor

### 4.2.1 Sensor de posição

Como os potenciômetros de posição tanto do sensor e da referência são iguais ( $10k\Omega$ ), aliado a inexistência de ruído, não foi necessário um circuito de acondicionamento neste caso.

### 4.2.2 Sensor de velocidade

Conforme mencionado, o sinal do sensor apresenta *ripple* muito grande. A sua frequência foi medida enquanto a roda girava numa velocidade abaixo da mínima utilizada, e o valor encontrado foi de aproximadamente 14Hz. Assim, foi projetado um filtro RC passa-altas com frequência de corte em torno de 0,1Hz. O modelo do circuito está abaixo:

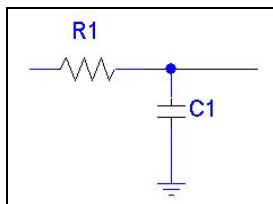


Figura 8 – Circuito do filtro do sensor de velocidade

Os valores de R1 e C1 foram calculados pela seguinte relação:

$$R1 = \frac{1}{2\pi \cdot f_c \cdot C1}$$

Onde  $f_c$  é a frequência de corte (0,1Hz), C1 é o valor do capacitor e R1 o valor do resistor.

A Tabela 2 a seguir enumera os valores dos elementos descritos no circuito:

Elemento	Valor
C1	4.7uF
R1	330k $\Omega$

Tabela 2 – Elementos do filtro do sensor

Esse filtro atenua o sinal tornando-o ( $1/RC$ ) vezes menor que na entrada, ou seja, 0.63 (63%) menor.

O estágio de amplificação do sinal do sensor de velocidade foi introduzido antes do filtro por ter sido verificado em laboratório que essa era a maneira que eliminava o ruído com mais eficiência. O circuito do amplificador é mostrado a seguir:

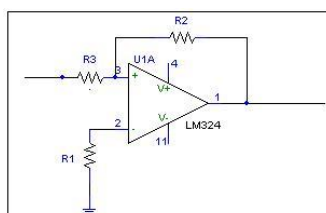


Figura 9 – Amplificador do sinal do sensor de velocidade

Esse circuito provê um ganho DC dado pela equação:

$$\text{Ganho} = -\frac{R2}{R3}$$

A Tabela 3 a seguir enumera os valores dos elementos descritos no circuito para um ganho de 14,5 aproximado para 15,0 para atender aos valores comerciais:

Elemento	Valor
R2	150k $\Omega$
R3	10k $\Omega$
R1	1k $\Omega$

Tabela 3 – Elementos do filtro do sensor

Esses dois circuitos em série fazem a conversão do sinal do sensor que fica na faixa de 0-200mV para 0-1.8V.

## 4.3 Circuito dos Controladores

### 4.3.1 Circuito de cálculo do erro - Posição

Primeiramente, foi implementado o circuito de subtração da tensão de referência em relação à tensão medida do sensor, de forma a ter-se uma tensão de saída igual ao erro entre tais sinais. Este circuito é mostrado na Figura 8:

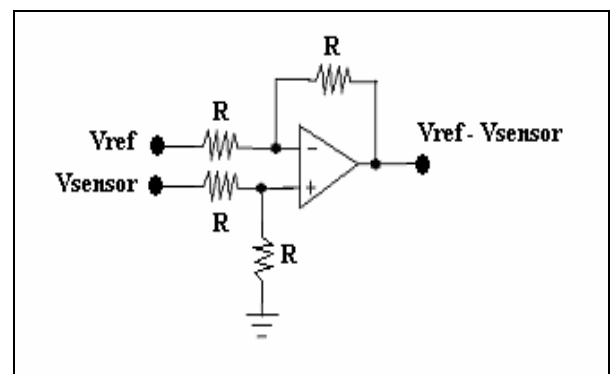


Figura 10 – Circuito de Cálculo do Erro: Referência – Sensor

Como não se deseja ganho algum no cálculo do erro, todos os resistores utilizados no circuito têm o mesmo valor. Assim:

$$R = 9.6k\Omega$$

E a saída do circuito é simplesmente  $-(V_{ref} - V_{sensor})$ .

### 4.3.2 Circuito de cálculo do erro - Velocidade

Dado que o circuito condicionador do sinal do sensor de velocidade inverte o sinal (devido ao amplificador inversor utilizado) e definindo que o sinal do sensor ( $V_s$ ) é positivo no sentido de giro adotado, o circuito gerador de erro deve efetuar a soma do sinal de referência ( $V_r$ ) com o sinal do sensor. O resultado é  $V_r + (-V_s)$ .

Essa operação foi implementada com um amplificador somador-inversor com ganho unitário, logo o erro, na realidade será  $erro = V_{err} = -(V_r + (-V_s))$ . O circuito está apresentado abaixo:

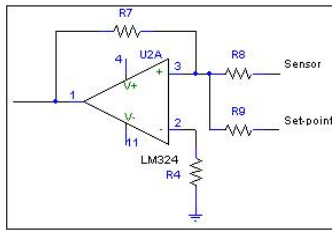


Figura 11 – Gerador de erro

A Tabela 4 a seguir enumera os valores dos elementos descritos no circuito:

Elemento	Valor
R7,R8,R9	100kΩ
R4	1kΩ

Tabela 4 – Elementos do filtro do sensor

#### 4.3.3 Controlador Proporcional - Posição

Por motivos de tempo e também pelo fato de que a planta já possui um integrador em sua função de transferência, apenas um controlador de ganho proporcional ao erro foi implementado. Este controlador tem como entrada a saída do circuito de cálculo do erro, isto é, uma medida da discrepância existente entre o valor desejado para a variável de processo e sua medida pelo sensor, e como saída uma tensão a ser aplicada no atuador da planta que é K vezes a tensão de entrada, onde K corresponde ao ganho deste controlador.

O circuito mostrado na Figura 12 é o responsável pela implementação do controlador proporcional:

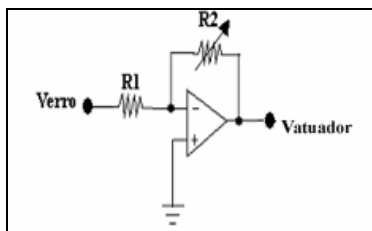


Figura 12 – Circuito do Controlador Proporcional

Neste circuito, o ganho proporcional K é dado por:

$$K = -\frac{R2}{R1}$$

Desta forma, utilizando-se um potenciômetro em R2 tem-se controle de qual valor de ganho será utilizado para o controle da planta. Assim além de amplificar esse circuito é utilizado para inverter o sinal de saída do primeiro, uma vez que sua polaridade sai invertida na subtração. Neste caso, o ganho.

Os valores de resistores utilizados no circuito da Figura 12 foram:

Resistor	Valor
R1	300kΩ
R2	2MΩ

Tabela 5 – Resistores do Circuito do Controlador Proporcional

Analisando os valores de R1 e R2, pode-se observar que o ganho proporcional K do controlador pode variar entre 0 e 6.66 ajustando-se o potenciômetro.

#### 4.3.4 Controlador Proporcional - Velocidade

O controlador proporcional Kp foi eletronicamente implementado como um amplificador inversor, dado que o sinal de erro está negativo. O circuito está apresentado a seguir:

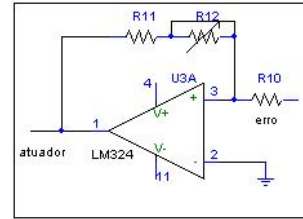


Figura 13 – Circuito do Controlador Proporcional

Os valores de resistores utilizados no circuito da Figura 13 foram:

Resistor	Valor
R11,R10	470kΩ
R12	600KΩ

Tabela 6 – Resistores do Circuito do Controlador Proporcional

Com esses valores, o valor do ganho proporcional, Kp, pode variar de 1 a 2,27 através do ajuste do potenciômetro R12.

#### 4.4 Circuito do atuador

O circuito do atuador é uma fonte de corrente contínua. A implementação desse circuito no laboratório ocorreu várias vezes pois os componentes utilizados não estavam bem dimensionados para a carga utilizada, o nosso motor. Finalmente decidiu-se utilizar transistores internamente no modelo Darlington e o Amp. Op. LM324 que pode fornecer uma corrente de excitação para as bases maior.

O circuito está apresentado a seguir:

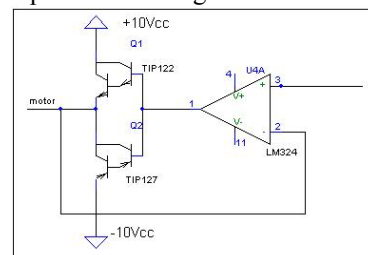


Figura 14 – Circuito de acionamento

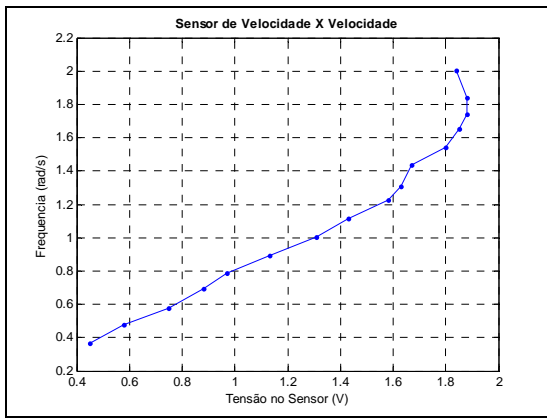
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Calibração Estática

Primeiramente foi realizado o procedimento de calibração estática do sensor de velocidade. Para isso, variou-se a referência de velocidade em malha aberta e em malha fechada e foram medidas as saídas do sensor e também a correspondente velocidade angular.

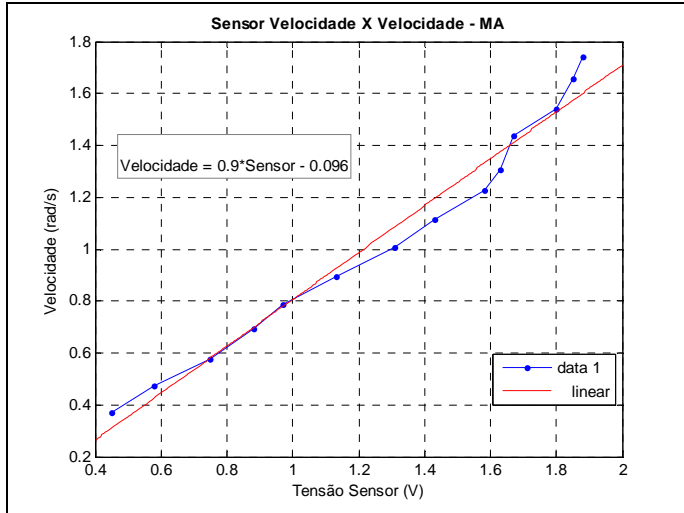
No ensaio de calibração em malha aberta ouve uma não linearidade na leitura do sensor a partir do valor de 1,80V. Veja:





**Figura 15 – Calibração Estática em Malha Aberta**

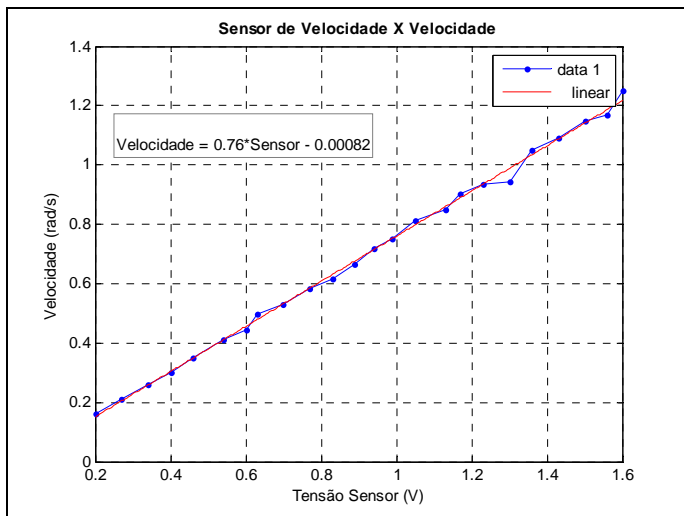
Para fazer a regressão linear desprezamos os pontos finais:



**Figura 16 – Calibração Estática em Malha Aberta**

Pode-se observar que há boa linearidade no comportamento do sensor para valores de 0,4V a pouco mais de 1,8V.

O procedimento foi repetido para aplicação da tensão de atuação a partir do controlador em malha fechada. Veja o resultado:



**Figura 17 – Calibração Estática em Malha Fechada**

A linearidade foi melhor do que no procedimento anterior porém, a relação entre a velocidade angular, em radianos por segundo, e a tensão no sensor diminuiu um pouco.

Se observarmos atentamente, na Figura 16, a curva sofre uma inclinação maior a partir dos valores de 1,6V no sensor. Isto

pode ter sido o determinante do maior coeficiente de relação entre a tensão no motor e a velocidade medida.

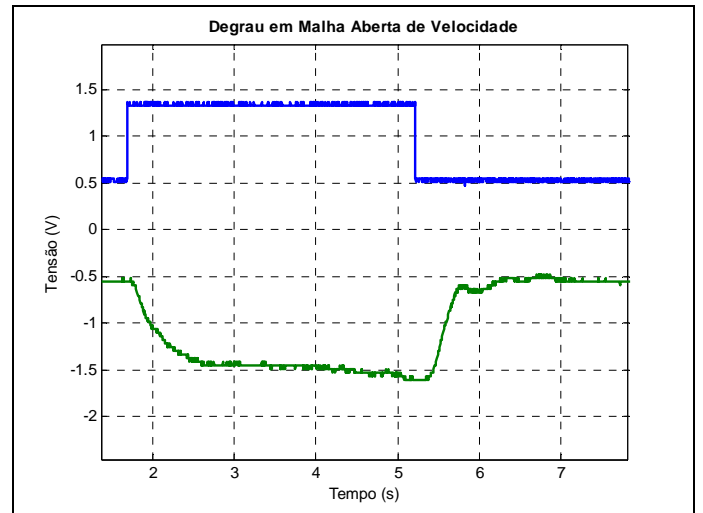
Como no ensaio em malha fechada não foi possível levar o sensor a tensões maiores que 1,6V (correspondente a velocidade máxima do sistema), vamos admitir como mais correta a equação:

$$Velocidade = 0,76 \cdot Sensor$$

## 5.2 Testes em Malha Aberta e Malha Fechada

Para verificar a atuação das malhas de controle realizamos testes em malha aberta e fechada para o circuito de controle de velocidade. E realizamos testes na malha fechada do circuito de controle de posição.

Primeiramente, para a situação de controle de velocidade, aplicamos degraus positivos e negativos à planta em malha aberta, os resultados foram obtidos a partir da comparação entre os sinais de referência (set point) e o sinal de saída do sensor, já amplificado e filtrado como discutido anteriormente, veja:



**Figura 18: Degraus em Malha Aberta – Controle de Velocidade**

Observe que a saída do sensor tem sinal contrário ao sinal de referência. Esta foi uma escolha de projeto. Não interfere na discussão dos resultados porque são analisadas somente as amplitudes relativas dos sinais (em módulo).

A amplitude do degrau na referência foi:

$$\Delta y_{referencia} = 0,82V$$

A correspondente variação na amplitude do sensor foi:

$$\Delta y_{sensor} = 0,90V$$

Que corresponde à resposta da planta. O tempo de acomodação da planta em malha aberta foi:

$$t_{s\_MA}^+ = 1s \rightarrow \text{Degrau positivo.}$$

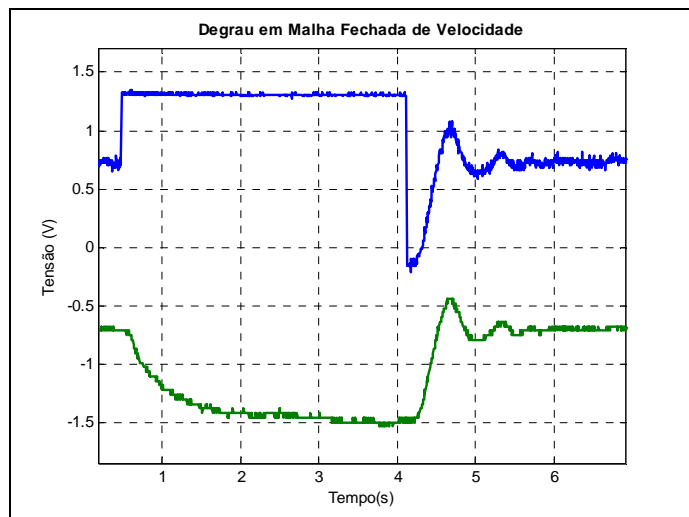
$$t_{s\_MA}^- = 1,75s \rightarrow \text{Degrau negativo.}$$

Para a resposta mais lenta, ou seja resposta da malha ao degrau positivo, foi calculada a constante de tempo de resposta:

$$\tau_{MA}^+ = 0,312s \rightarrow \text{Degrau positivo.}$$

Foi feito o mesmo tipo de teste para a malha fechada de controle de velocidade para se fazer uma análise qualitativa entre os tempos de resposta.

Quando é aplicado o degrau negativo na referência, esta apresenta um comportamento dinâmico gerando variação de tensão com um pico absoluto de 1,48V.



**Figura 19 : Degraus em Malha Fechada – Controle de Velocidade**

A amplitude do degrau na referência foi:

$$\Delta y_{referencia} = 0,625V$$

A correspondente variação na amplitude do sensor foi:

$$\Delta y_{sensor} = 0,703V$$

Que corresponde à resposta da planta. O tempo de acomodação da planta em malha fechada foi:

$$t_{s\_MF}^+ = 1,344s \rightarrow \text{Degrau positivo.}$$

$$t_{s\_MF}^- = 1,668s \rightarrow \text{Degrau negativo.}$$

As constantes de tempo:

$$\tau_{MF}^+ = 0,41s \rightarrow \text{Degrau positivo.}$$

$$\tau_{MF}^- = 0,208s \rightarrow \text{Degrau positivo.}$$

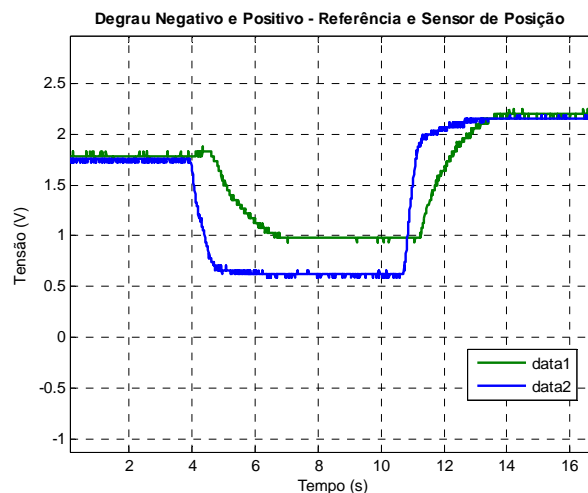
Aqui podemos perceber que a resposta do sistema ao degrau negativo ficou mais rápida, porém a resposta ao degrau positivo ficou mais lenta. Adicionalmente a variação entre as diferenças de amplitudes entre os sinais de referência e sensor foram maiores, saltaram de aproximadamente 10% para 12%.

A diferença relativa entre os tempos de acomodação diminuiu significativamente. Caiu de 75% para 24% aproximadamente, de onde podemos concluir que a malha fechada provê na média resultados ligeiramente mais rápidos, mas o comportamento aos degraus de subida e descida ficou mais uniforme do que em malha aberta.

Para este teste, não há notadamente erro em estado estacionário. Porém é sabido que o preço a pagar pela não implementação do controlador integrativo é a existência desse tipo de erro, problemático para o contexto do problema.

Para o controle de posição, realizamos dois tipos de teste, o primeiro foi a submissão da malha de controle à degraus positivo e negativo. E depois foi sugerida uma trajetória em zigue-zague suave para observar se a planta controlada conseguiria acompanhar a referência de posição.

A seguir os gráficos gerados:



**Figura 20 : Degraus em Malha Fechada – Controle de Posição**

Conforme já comentado anteriormente, a característica integrativa do sensor de posição (pólo na origem) leva à erradicação do erro em estado estacionário. O erro observado no período entre degraus pode ser explicado pela possibilidade de o sensor ter entrado em sua faixa não confiável de medição, ou seja, além dos 300° que ele é capaz de medir (região onde estava a trava do potenciômetro). Para este ensaio foram abstraídos os seguintes valores:

A amplitude do degrau na referência foi:

$$\Delta y_{referencia} = 1,79V$$

A correspondente variação na amplitude do sensor foi:

$$\Delta y_{sensor} = 1,22V$$

Que corresponde à resposta da planta. O tempo de acomodação da planta e o tempo morto em malha fechada foi:

$$t_{s\_MF}^+ = 3,07s \rightarrow \text{Degrau positivo.}$$

$$t_{morte}^+ = 0,64s \rightarrow \text{Degrau positivo.}$$

$$t_{s\_MF}^- = 2,89s \rightarrow \text{Degrau negativo.}$$

$$t_{morte}^- = 0,55s \rightarrow \text{Degrau negativo.}$$

As constantes de tempo:

$$\tau_{MF}^+ = 1s \rightarrow \text{Degrau positivo.}$$

$$\tau_{MF}^- = 1,55s \rightarrow \text{Degrau positivo.}$$

O segundo teste:

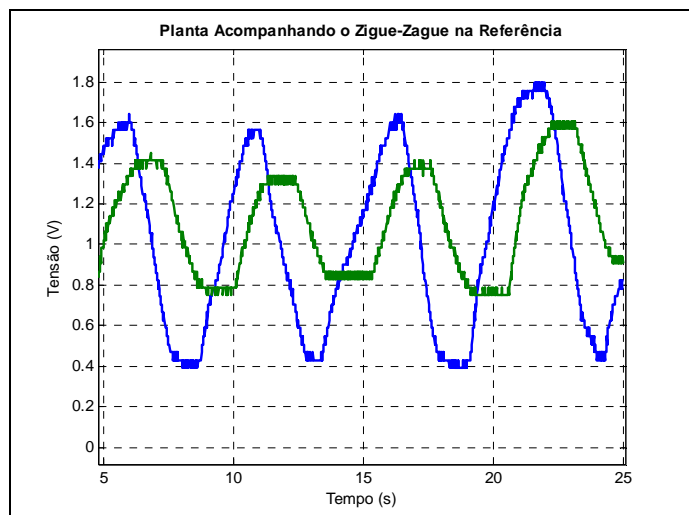


Figura 21 : Zigue-Zague para Acompanhamento de Posição

Neste teste podemos observar o comportamento controlado da planta. Em azul está a referência e em verde o sinal do sensor de posição mostrando que a despeito de algum atraso, a planta seguiu uma trajetória parecida com a da referência.

### 5.3 Rejeição a perturbação.

Os três últimos testes realizados em malha fechada do controle de velocidade são referentes à rejeição a perturbação. A perturbação foi gerada colocando “cadeirinhas ocupadas” na Roda Gigante, ou seja, pequenos pesos (chumbadas de pescaria e pilhas AAA) foram acoplados aos eixos que simulam as cadeiras.

Foi aplicado uma condição de referência de velocidade constante, e o que era esperado como resultado era que a planta enxergasse os pesos como perturbação de carga e tentasse manter a velocidade constante, seja na subida dos pesos aumentando o torque, seja na descida com o motor atuando como um freio.

Primeiramente o peso foram duas pilhas AAA:

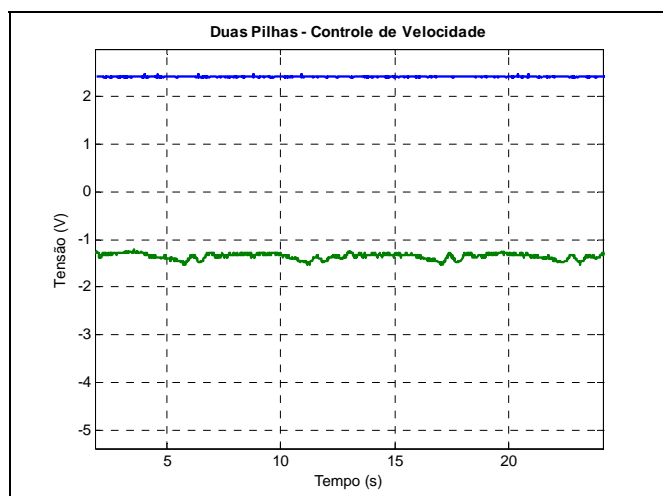


Figura 22 : Pilhas AAA

A seguir foi acoplada apenas uma chumbada leve, pequena:

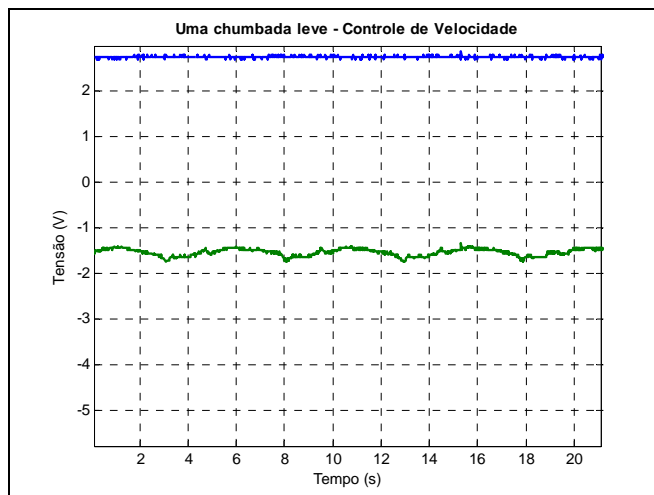


Figura 23 : Uma Chumbada Leve

E finalmente uma chumbada mais pesada:

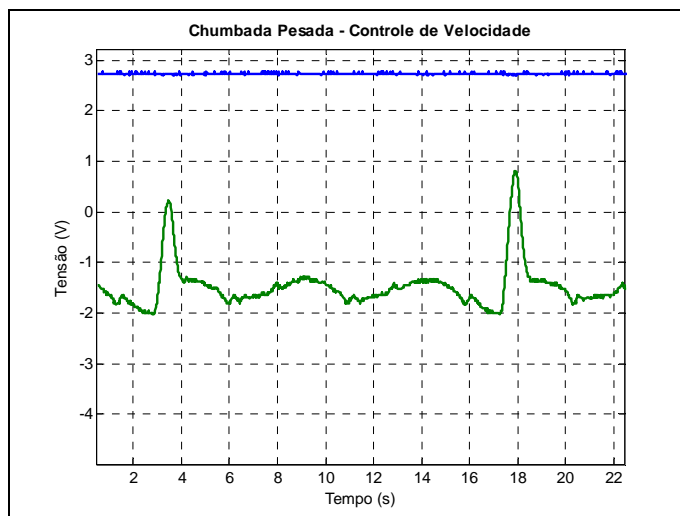


Figura 24: Chumbada Pesada

Este foi o pior caso, observe que o valor da velocidade (saída do sensor) se tornou positivo em alguns trechos demonstrando que a Roda Gigante chegou inclusive a rodar no sentido contrário ao tentar controlar-se. A ação de controle foi insuficiente.

## 6 CONCLUSÕES

Nesta primeira parte da implementação do projeto desafio da disciplina Laboratório de Controle e Automação I, foram observadas algumas dificuldades e alguns aspectos importantes com relação à montagem de uma planta para controle.

Primeiramente, a grande dificuldade encontrada até aqui pelo grupo foi a montagem física da planta. Em especial o acoplamento dos sensores foi um obstáculo constante.

Não conseguimos tempo hábil para realizarmos uma modelagem mais quantitativa e menos qualitativa da planta com os sensores. Não implementamos a parte integrativa de controle de velocidade, o que ocasionou resultados distantes do ótimo para este caso. Porém, julgamos vitorioso o fato de termos conseguido levar a cabo o projeto de controlar duas variáveis, velocidade e posição, como foi o proposto no início do trabalho.

Nos testes e avaliação de resultados, faltou realizar mais testes com tipos diferentes de distúrbios. Na malha de controle de



posição não foram realizados testes de rejeição à distúrbio e também não foi formalmente levantada a tabela de característica estática do sensor de posição. Tampouco foi levantada para o relatório sua característica no tempo quando submetido a rotação constante. Porém podemos afirmar a título informativo que sua forma de onda era aproximadamente um dente de serra.

O diagnóstico geral é que ficaram muitas coisas e detalhes para serem desenvolvidos e estudados, porém apesar destes problemas, o aprendizado do grupo foi enorme. Foi uma experiência empolgante e inesquecível para todos.

Além do desafio de Controle, houve o desafio de Eletrônica, consultando as notas de aula do Professor Leonardo Tôres revisamos o que foi aprendido em semestres anteriores e obtivemos um aprendizado pratico de Eletrônica Analógica.

Finalizando, concluímos que foi extremamente válido o desenvolvimento deste Projeto Desafio. Encerramos a disciplina Laboratório de Controle e Automação I com uma carga muito melhor de conteúdo e prática.



## 7 BIBLIOGRAFIA

- Braga, Carmela M. P. e Aquino, Roberto D. – **“Manual do Sistema Piloto Torneira Elétrica”** – Belo Horizonte, MG – Agosto/2002
- Notas de aula do Prof. Leonardo B. Tôres – Eletrônica Analógica e Digital – Dezembro/2004