

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA**

GABRIEL AUGUSTO PATTARO

**AVERIGUAÇÃO DA UTILIZAÇÃO
DE SENSORES
MICROELETROME CÂNICOS DE
GIRO COMO FERRAMENTA DE
ANÁLISE NO CICLISMO**

Campinas
2010

GABRIEL AUGUSTO PATTARO

**AVERIGUAÇÃO DA UTILIZAÇÃO
DE Sensores
MICROELETROMECÂNICOS DE
GIRO COMO FERRAMENTA DE
ANÁLISE NO CICLISMO**

Trabalho de Conclusão de Curso
(Graduação) apresentado à Faculdade de
Educação Física da Universidade
Estadual de Campinas para obtenção do
título de Bacharel/Licenciado em
Educação Física.

Orientador: Luiz Eduardo Barreto Martins

Campinas
2010

GABRIEL AUGUSTO PATTARO

**AVERIGUAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE
SENSORES MICROELETROMECCÂNICOS
DE GIRO COMO FERRAMENTA DE
ANÁLISE NO CICLISMO**

Este exemplar corresponde à redação final do Trabalho de Conclusão de Curso Graduação defendido por Gabriel Augusto Pattaro e aprovado pela Comissão julgadora em: ____/____/____.

Prof. Dr. Luiz Eduardo Barreto Martins
Orientador

Me. Yull Heilordt Henao Roa

Campinas
2010

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA
PELA BIBLIOTECA FEF – UNICAMP**

P276a Pattaro, Gabriel Augusto.
Averiguação da utilização de sensores microeletromecânicos de giro
como ferramenta de análise no ciclismo / Gabriel Augusto Pattaro. -
Campinas, SP: [s.n], 2010.

Orientador: Luiz Eduardo Barreto Martins.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Faculdade de
Educação Física, Universidade Estadual de Campinas.

1. Sistema Inercial de Navegação. 2. Giroscópios. 3. Acelerômetros.
4. Análise de trajetória. I. Martins, Luiz Eduardo Barreto. II. Universidade
Estadual de Campinas, Faculdade de Educação Física. III. Título.

asm/fef

Título em inglês: Finding the use of microeletromecanical gyro sensor analysis as a tool in cycling.

Palavras-chaves em inglês (Keywords): Inertial Navigation System. Gyro. Accelerometer. Velodrome. Trajectory. Encoder.

Data da defesa: 30/11/2010.

Dedicatória

Dedico e agradeço este trabalho a todos aqueles que participaram na construção da plataforma de testes, sendo na doação de peças ou na construção do mesmo, aqueles que me deram ideias de como projetá-la e a minha família que me apoio durante toda a minha trajetória na graduação.

PATTARO, Gabriel. **Averiguação da utilização de sensores microeletromecânicos de giro como ferramenta de análise no ciclismo**. 2010. 85f. Trabalho de Conclusão de Curso
Graduação-Faculdade de Educação Física. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

RESUMO

Durante as provas de ciclismo, em especial as de velódromo, a técnica é um dos elementos chave do desempenho, e sabendo que os velódromos são ovais e inclinados, estes exigem uma técnica apurada do ciclista para a aproximação de uma trajetória ideal. A análise da técnica de um ciclista em campo real envolve muitos fatores e variáveis e por essa razão foi desenvolvido SIN na faculdade de engenharia elétrica e de computação, que fosse capaz de mensurar aceleração e rotações em três eixos ortogonais entre si. Para a aplicação em campo foi necessário o desenvolvimento da captação de medições e configurações desse aparelho em ambiente controlado para que pudesse ser averiguada e avaliada sua possível utilidade para mensurar tais técnicas. Desta forma foi construída uma plataforma de testes para analisar a resposta do Sistema Inercial de Navegação em rotações simuladas do pé-de-vela nas rotações de 6.44, 30, 46.88 e 60 rpm, que compreende valores usuais no ciclismo. O principal resultado encontrado foi a diferença de 8% entre a trajetória modelo e o Sistema Inercial de Navegação. Concluindo que a plataforma desenvolvida foi adequada para simular a atividade de ciclismo e determinou os desvios de rastreamento entre os resultados do simulador e do Sistema Inercial de Navegação.

Palavras-Chaves: Sistema Inercial de Navegação; Giroscópio; Acelerômetro; Velódromo; trajetória; Encoder

PATTARO, Gabriel. **Finding the use of microeletromecanical gyro sensor analysis as a tool in cycling**. 2010. 85f. Trabalho de Conclusão de Curso Graduação-Faculdade de Educação Física. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

ABSTRACT

During the cycling events, especially in the velodrome, the technique is a key element of performance, and knowing that the velodromes are oval and oblique, these require an accurate technique for the cyclist approaching an ideal trajectory. The analysis of the technique of a cyclist in actual field involves many factors and variables, and for that reason SIN was developed at the faculty of electrical engineering and computing, which is capable of measuring acceleration and rotation in three orthogonal axis. For field application it was necessary to capture the development of measurements and settings for this device in a controlled environment so it could be investigated and evaluated its possible usefulness in measuring techniques. Thus was built a testbed to analyze the response of the Inertial Navigation System in rotations simulated foot-candle at 6:44 rotations, 30, 46.88 and 60 rpm, which includes the usual values in cycling. The main conclusion was the difference of 8% over the trajectory model and Inertial Navigation System. Concluding that the developed framework was adequate to simulate the activity of cycling and determined the deviations of screening for the results of the simulator and Inertial Navigation System.

Keywords: Inertial Navigation System; Gyroscope; Accelerometer; Velodrome; Trajectory; Encoder

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Movimento central rolamentado	17
Figura 2 -	Pé-de-vela	18
Figura 3 -	Motor	18
Figura 4 -	Encoder	19
Figura 5 -	Aparato simulador da pedalada	20
Figura 6 -	Aparato simulador da pedalada II	21
Figura 7 -	Sistema Refêncial de coordenadas do SIN no aparato simulador da pedalada	22
Figura 8 -	Sistema Referêncial de Coordenadas do SIN	23
Figura 9 -	Figura 9 – Sistema Referencial do SIN	30
Figura 10 -	Captação da velocidade angular	31
Figura 11 -	Captação da velocidade angular II	32

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 -	Comparação Encoder – Reta Modelo – Teste 1	27
Gráfico 2 -	Comparação Encoder – Reta Modelo – Teste 2	28
Gráfico 3 -	Comparação Encoder – Reta Modelo – Teste 3	28
Gráfico 4 -	Comparação Encoder – Reta Modelo – Teste 4	29
Gráfico 5 -	Gráfico das medidas dos 3 Giroscópios – Teste 1	32
Gráfico 6 -	Gráfico das medidas dos 3 Giroscópios – Teste 2	33
Gráfico 7 -	Gráfico das medidas dos 3 Giroscópios – Teste 3	33
Gráfico 8 -	Gráfico das medidas dos 3 Giroscópios – Teste 4	34
Gráfico 9 -	Estabilização do Giroscópio e Mediana após estabilização – Teste 1	35
Gráfico 10-	Estabilização do Giroscópio e Mediana após estabilização – Teste 2	35
Gráfico 11-	Estabilização do Giroscópio e Mediana após estabilização – Teste 3	36
Gráfico 12-	Estabilização do Giroscópio e Mediana após estabilização – Teste 4	36
Gráfico 13-	Comparação Encoder – Giroscópio – Reta Modelo – Teste 1	38
Gráfico 14-	Comparação Encoder – Giroscópio – Reta Modelo – Teste 2	39
Gráfico 15-	Comparação Encoder – Giroscópio – Reta Modelo – Teste 3	39
Gráfico 16-	Comparação Encoder – Giroscópio – Reta Modelo – Teste 4	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Comparação entre Giroscópio e Encoder na 1ª e última medida	41
Tabela 2 -	Diferença percentual entre um ciclo perfeito e a medição do Giroscópio	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relação entre Tensão e Velocidade de Rotação	25
Quadro 2 - Relação entre velocidade e quantidade de deslocamento angular	30
Quadro 3 - Medida da Deriva inicial dos Testes simulados	37

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

SIN	Sistema Inercial de Navegação
SM-MAE	Sistema Microcontrolado para monitoramento de atividades esportivas
FEF	Faculdade de Educação Física

SUMÁRIO

1 Introdução	13
2 Objetivos.....	16
3 Materiais e Métodos.....	17
4 Metodologia.....	25
5 Análise de Dados	27
6 Considerações Finais	43
Referências	44

1 - Introdução

O ciclismo é um esporte que abrange varias modalidades de competição, no qual cada uma possui diferentes peculiaridades e formas.

As modalidades que o ciclismo abrange são:

- Ciclismo de Estrada
- Ciclismo de Pista (Velódromo)
- Ciclismo de Mountain Bike
- Ciclismo de BMX
- Ciclismo de Downhill

Cada modalidade possui bicicletas específicas para cada traçado que será enfrentado.

A modalidade Ciclismo de Pista se divide em vários tipos de provas, entre elas:

- 4000 metros perseguição individual
- 4000 metros perseguição por equipe
- 1000 metros individual (saída parada)
- 1000 metros por equipe (Velocidade Olímpica)
- 500 metros (saída parada)
- 200 metros (saída lançada)
- 40 Km (masculino) 25Km (feminino) corrida por pontos.
- Madison
- Keirin
- Scratch

O velódromo é uma pista oval que pode variar de 150 a 500m, e sua inclinação é correspondente a sua distância, ou seja, quanto menor, maior sua inclinação e vice-versa.

Para as competições no ciclismo de pista, são utilizados equipamentos específicos que diminuem o arrasto aerodinâmico e também propiciam uma postura e conforto maiores para o ciclista.

As bicicletas de pista diferem das bicicletas das demais modalidades, pois possuem em seu design ângulos de ataque mais pronunciados, o que evidencia uma melhor transferência de energia mecânica para energia cinética. Também não possuem roda livre, ou seja, utilizam apenas uma coroa e um pinhão fixo a roda. Essa característica faz com que o ciclo da pedalada seja realizado a todo o momento sem descanso.

Outra característica dessas bicicletas é que elas não possuem freio, sendo assim, se o ciclista quiser parar a bicicleta ele deverá parar de aplicar força durante o ciclo da pedalada e deixar que os atritos e arrastos reduzam a velocidade da bicicleta a ponto dele conseguir realizar força em sentido contrário ao ciclo da pedalada e parar.

Cada prova possui sua estratégia e suas diferenças, mas há um aspecto em comum que corresponde a todas elas. Tendo que o velódromo possui inclinação, quanto mais próximo da linha preta (linha que descreve a menor distância permitida para o ciclista percorrer) menor será o seu gasto energético e menor a trajetória a ser percorrida. Deste modo se torna importante a análise e o modo como o ciclista reage em uma volta.

Para que se possa realizar a análise da técnica de ciclistas em velódromo, seria necessário um aparelho que não interferisse no peso, na dirigibilidade e no sistema mecânico da bicicleta. Para tal, escolheu-se um aparelho Tri-axial dotado de sensores microeletromecânicos de aceleração e giro que enviasse seus dados para um computador via frequência de rádio (wireless). Esse sistema consiste em um aparelho que possui sensores de aceleração e giro em 3 eixos ortogonais entre si, que permitem a coleta da aceleração linear e da velocidade angular durante o movimento.

Este aparelho possui uma tecnologia sem fio via transmissão de rádio (wireless), que transmite as informações coletadas para um computador por uma entrada USB, onde são armazenados e pré-processados em tempo real. Essas características permitem que esse sistema seja usado em ambiente laboratorial e em ambientes externos como num velódromo, por exemplo.

A construção desse aparelho (SM-MAE) assim como o software para aquisição e interpretação dos dados foi desenvolvida no Laboratório de Sensores Microeletrônicos (LSM) da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC) da Unicamp.

Desta forma, a averiguação dos dados captados pelo SM-MAE em diferentes velocidades e posições é de vital importância para que sejam obtidos parâmetros para discernimento se tal aparelho é capaz de realizar o rastreamento do atleta ou a técnica de um ciclista durante uma prova.

A averiguação do SM-MAE será realizada em uma plataforma de testes dotada de um motor elétrico acoplado ao eixo do pé-de-vela de uma bicicleta, que por meio de um encoder (aparelho que informa o posicionamento angular de um eixo) acoplado no eixo do motor e ligado a um computador irá gerar informações sobre a velocidade e posicionamento do pé-de-vela e estas irão ser confrontadas com os dados captados pelo SM-MAE que estará fixado na ponta do pé-de-vela

2 - Objetivos

Criar uma plataforma que possibilite a realização de testes de um sistema dotado com micro-sensores que captam a velocidade angular em três eixos ortogonais entre si e comparar as medições desses sensores com um sensor de deslocamento angular chamado encoder.

Esta plataforma de testes será a base para que se tenha uma referência de como os sensores de giro reagem em um movimento circular uniforme e comparando o a um sensor de deslocamento angular, se saiba qual a diferenciação entre as medidas dos dois equipamentos.

Estes sensores de giro poderão ser amplamente utilizados em atletas de nível profissional ou em nível amador, para a análise da técnica da pedalada de um ciclista.

3 - Materiais e Métodos

Os materiais utilizados para esse projeto foram uma plataforma de testes e sensores de medidas inerciais tridimensionais.

Esses materiais serão descritos a seguir.

- **Plataforma de Testes**

Essa plataforma de testes foi construída a partir de um quadro de bicicleta que foi cortado e soldado a uma chapa de ferro. Neste sistema instalou-se um movimento central rolamentado e acoplou-se apenas um lado do pé-de-vela (lado que possui a coroa), do outro lado foi projetada uma peça que realizasse o acoplamento de um motor e um encoder. Essa peça foi produzida em um torno mecânico para que tal acoplamento se desse de forma que o motor pudesse trabalhar sem grandes esforços, e que o eixo de rotação fosse projetado para que o encoder magnético pudesse ser instalado no sistema.

- Descrição técnica das peças:

Figura 1 – Movimento central Rolamentado



O movimento central rolamentado é da marca GTS e possui o eixo de 116mm. Essa peça fica instalada no quadro da bicicleta e possibilita a rotação do pé-de-vela.

Figura 2 – Pé-de-vela



O pé-de-vela é da marca Shimano, modelo Altus com braço de 170mm.

Figura 3 - Motor



O motor utilizado neste projeto é o mesmo para o acionamento de vidros elétrico de carros, é da marca Bosh com tensão nominal de 12v e 2 amperes.

Figura 4 - Encoder



Encoder magnético absoluto da marca US Digital, e possui alimentação de 5v e frequência de 2.6 kHz. Esse sensor é responsável por realizar medições no eixo do deslocamento angular de rotação do mesmo.

A plataforma de testes resultou da combinação dos elementos acima.

Figura 5 – Plataforma de Testes

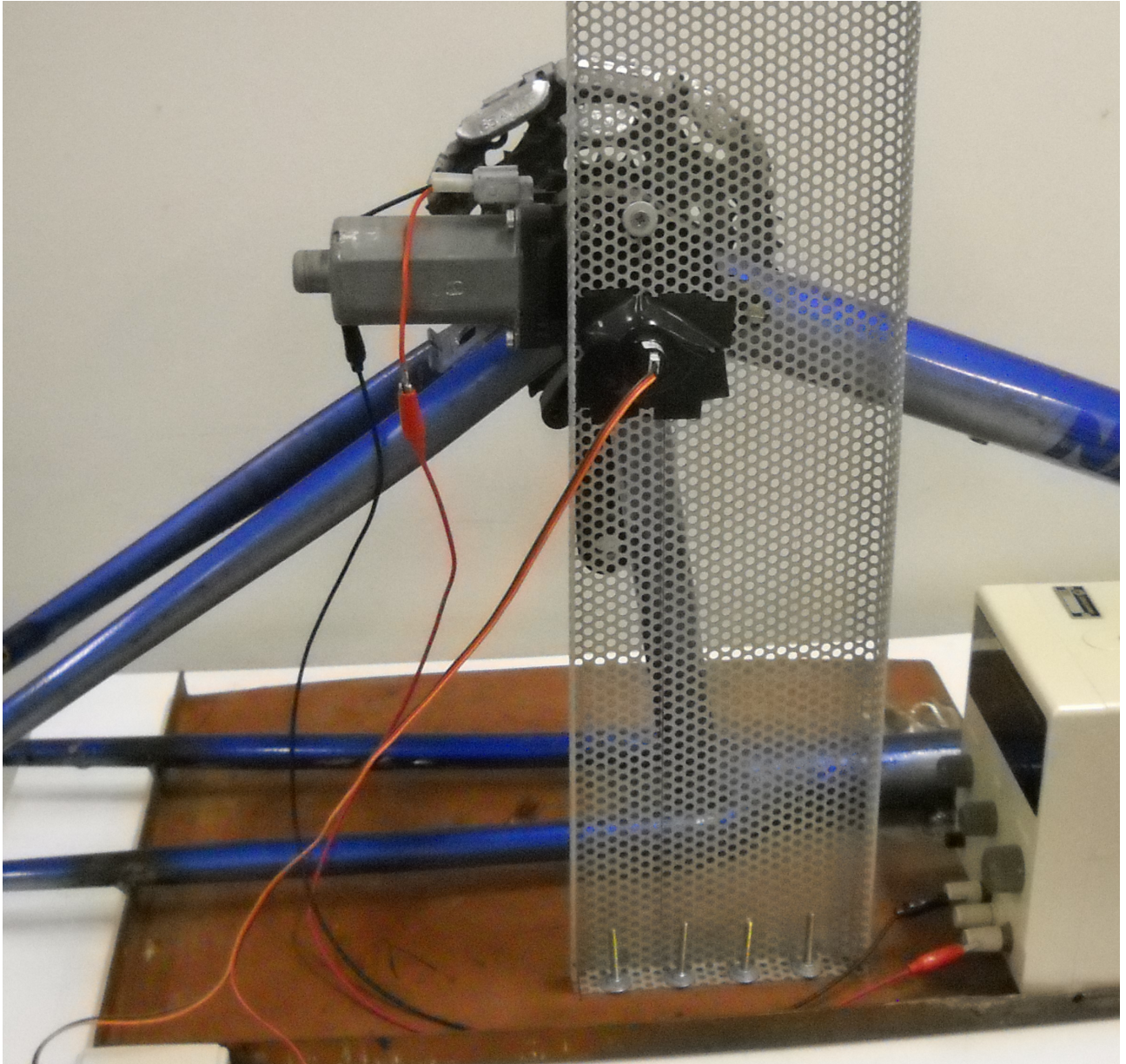


Figura 6 – Plataforma de Testes II

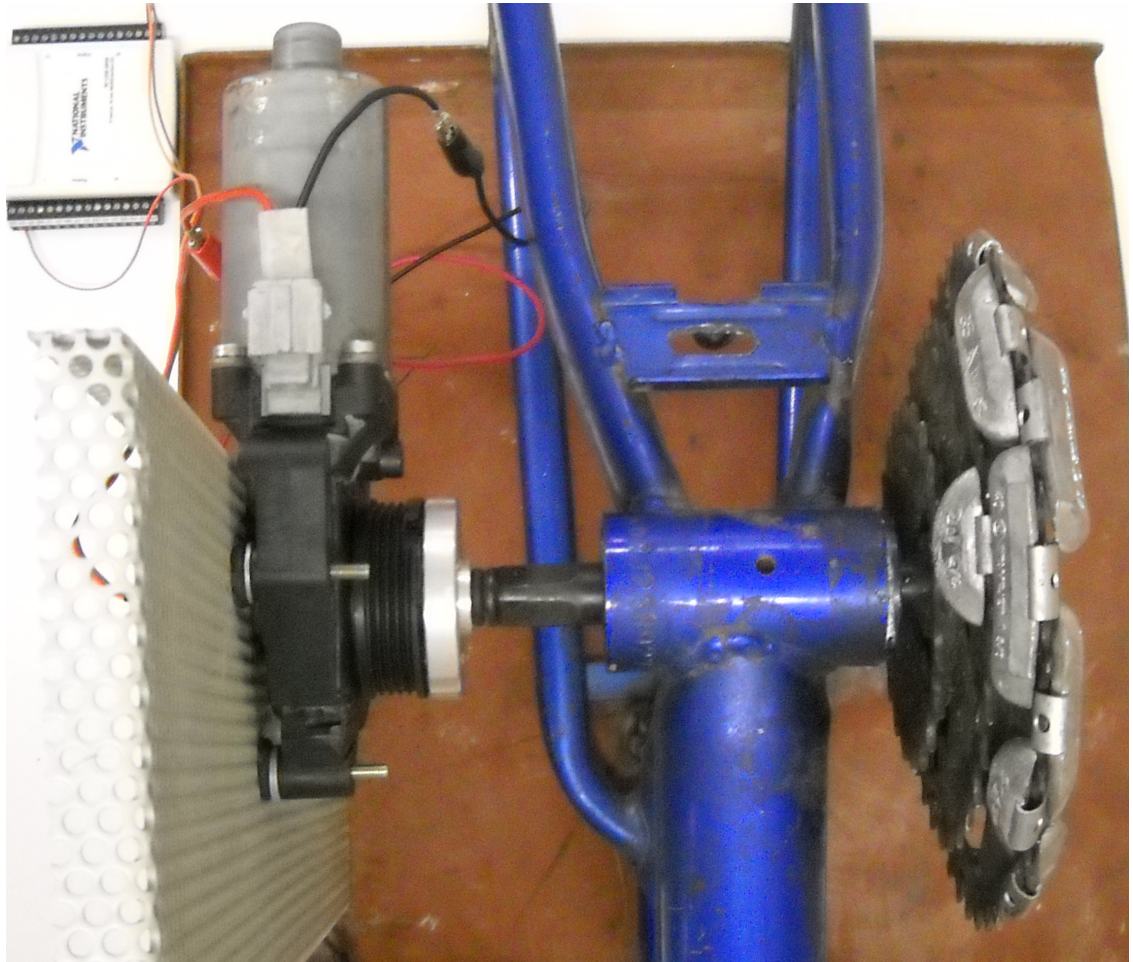
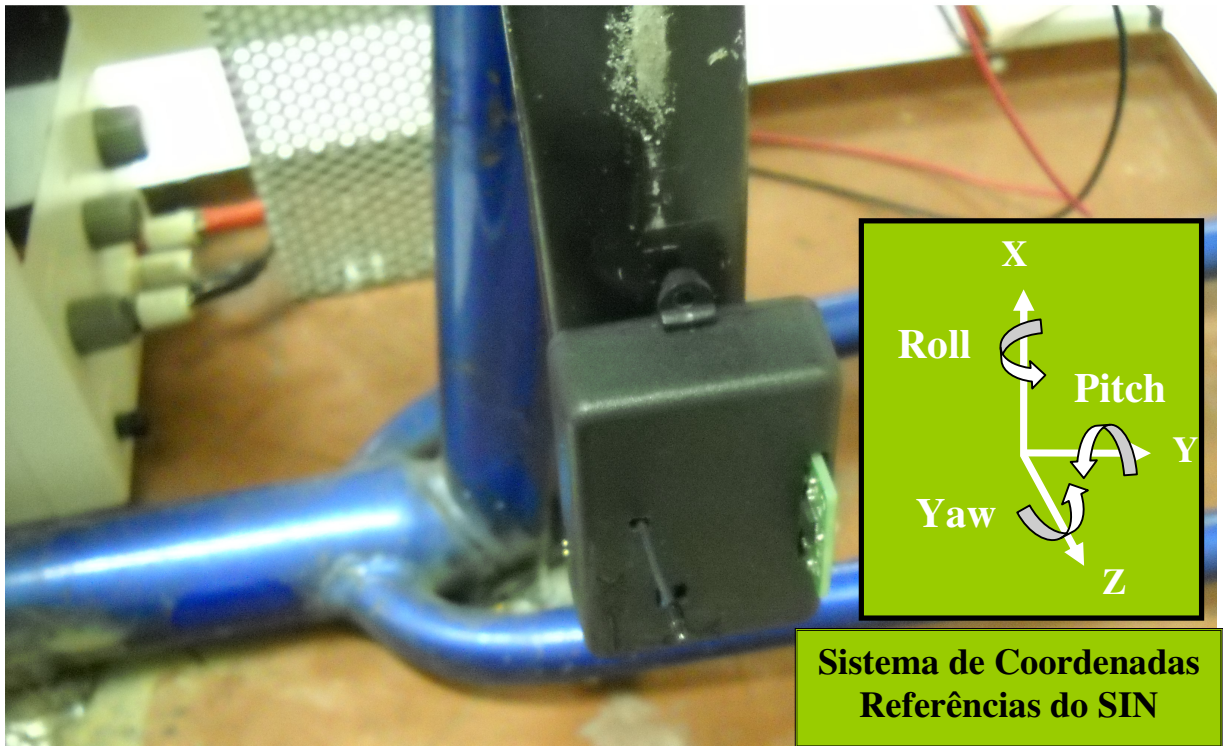


Figura 7 – Sistema Refêncial de coordenadas do SM-MAE na Plataforma de testes



- **Sistemas Inercial de Navegação (SIN)**

Os sistemas inerciais de navegação já são utilizados há muito tempo na aviação e na navegação marítima. Nos tempos atuais é utilizado como o sistema de segurança de navegação em complementação aos sistemas de GPS (Sistema de Posicionamento Global).

Os SINs são capazes de mensurar grandezas de movimento como acelerações lineares e acelerações angulares, que foram realizadas por um período de tempo em cada um dos três eixos ortogonais do aparelho e através de um computador acoplado ao mesmo realiza o processamento sobre a atitude, o deslocamento e a velocidade do corpo em questão.

O SM-MAE é uma plataforma similar aos SINS, que são compostos por acelerômetros e giroscópios em três eixos ortogonais, e quando fixada a um corpo realiza aquisição de seus respectivos movimentos.

O SM-MAE se diferencia dos SINS na questão que este não possui um computador acoplado em sua plataforma para o processamento de seus dados captados.

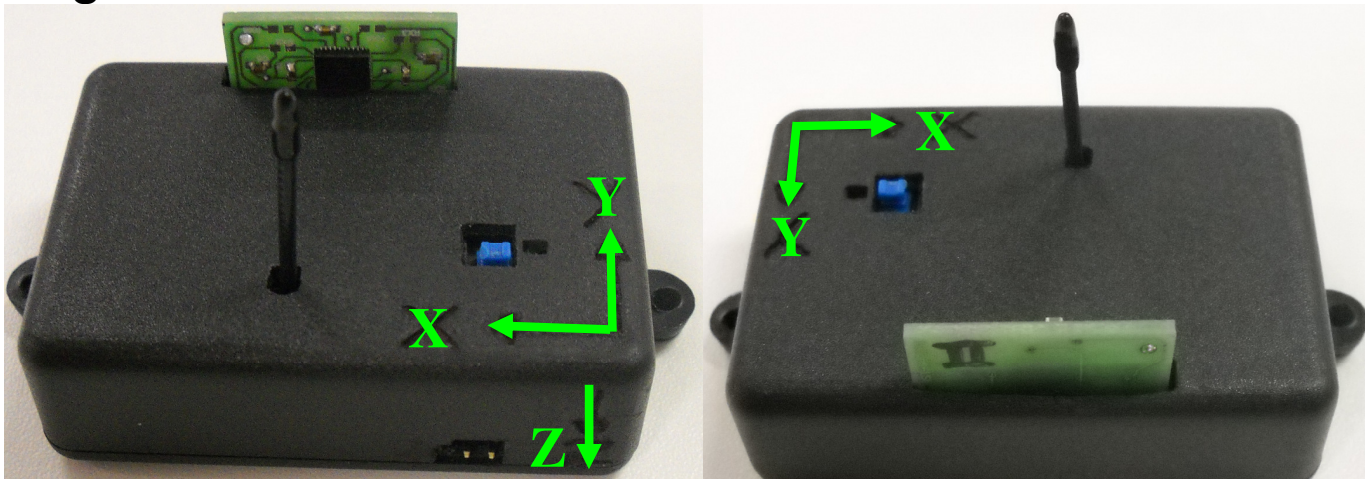
Os sensores que realizam a captação dos dados estão descritos a seguir:

O acelerômetro consiste em um micro-sensor capaz de medir a aceleração linear, geralmente através de uma massa de prova suspensa por molas de flexão que se deslocam de acordo com a aceleração a ele imposta. A aceleração é medida de forma indireta através da flexão dessas molas.

O giroscópio é um sensor que quantifica o movimento rotacional (velocidade angular) através de uma massa de prova suspensa por molas de flexão similar ao sistema do acelerômetro.

Com o conjunto de três acelerômetros e três giroscópios pode se medir quantitativamente as acelerações e a atitude de um corpo em movimento.

Figura 8 – Sistema Referencial de Coordenadas do SM-MAE



Este aparelho ainda conta com um sistema de transferência de dados via rádio (Wireless) o qual é captado através de uma placa ligada a uma porta USB no computador.

Os dados são recebidos no computador, com uma taxa de amostragem de 25 Hz, através de uma Interface gráfica chamada SM-MAE, os quais podem ser tratados em tempo real.

4 - Metodologia

Para a comparação do SM-MAE foram estipulados 4 testes em diferentes velocidades. As velocidades escolhidas foram definidas através de diferentes tensões de alimentação do motor. O cálculo de tais velocidades foi realizado a partir dos dados recebidos pelo encoder a partir da segunda volta e verificados manualmente com relógio de pulso e confirmação visual. As tensões escolhidas e suas respectivas velocidades foram:

Quadro 1 Relação entre Tensão e Velocidade de Rotação		
Teste	Tensão (volts)	Velocidade (rpm)
1	1,5	6,4
2	4,5	30,0
3	6,5	46,9
4	8,0	60,0

Protocolou-se alinhar o pé-de-vela com a ortonormal da Terra antes de serem ligados os sistemas. Após ligado o SM-MAE, aguardou-se um mínimo de 30 segundos antes do motor ser ligado e mais 60 segundos com o sistema em movimento.

O tempo de espera de 30 segundos antes do motor ser ligado possui o objetivo de se ter um referencial das medições iniciais dos sensores (*off-set*).

Para esses testes utilizou-se o SM-MAE acoplado ao pé-de-vela para que se tivesse dados e pudesse ser analisada as respostas dos sensores de giro para diferentes velocidades de rotação do pé-de-vela.

5 - Análise de Dados

Após serem realizadas as aquisições nas diferentes velocidades de rotação, foi iniciado o processamento dos dados. Para este foi utilizado o programa Matlab®.

A primeira verificação realizada foi a de comparar os dados recebidos pelo encoder com um modelo de progressão ideal para cada velocidade. Para tal deve-se ressaltar que o ciclo do pé-de-vela possui um deslocamento angular de 360°. Foram utilizados os dados da segunda volta completa em cada velocidade específica. A equação da reta modelo se dá pela equação da reta:

$$y=mx+b$$

em que m representa o coeficiente angular da reta, y representa o deslocamento total do pé-de-vela em °, b o ponto de intersecção entre os eixos x e y, e x representa o deslocamento total no eixo x.

Os resultados estão a baixo:

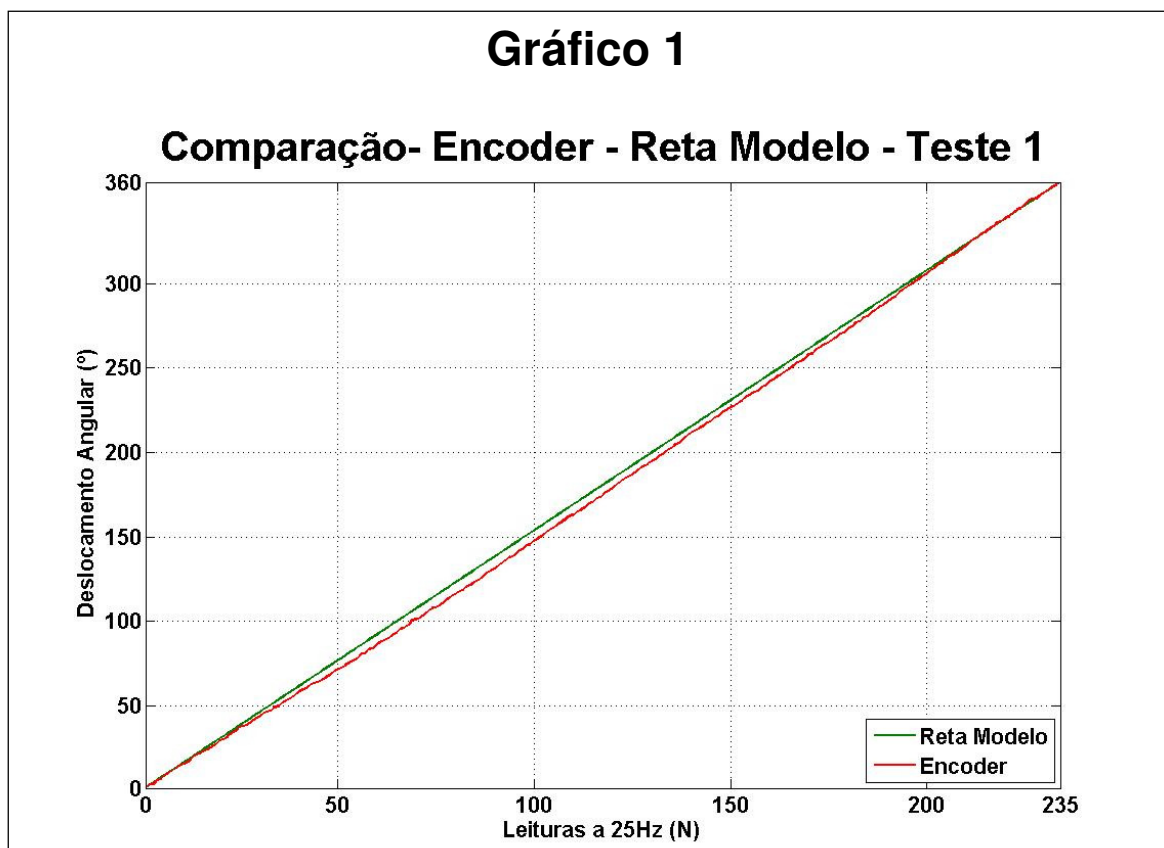
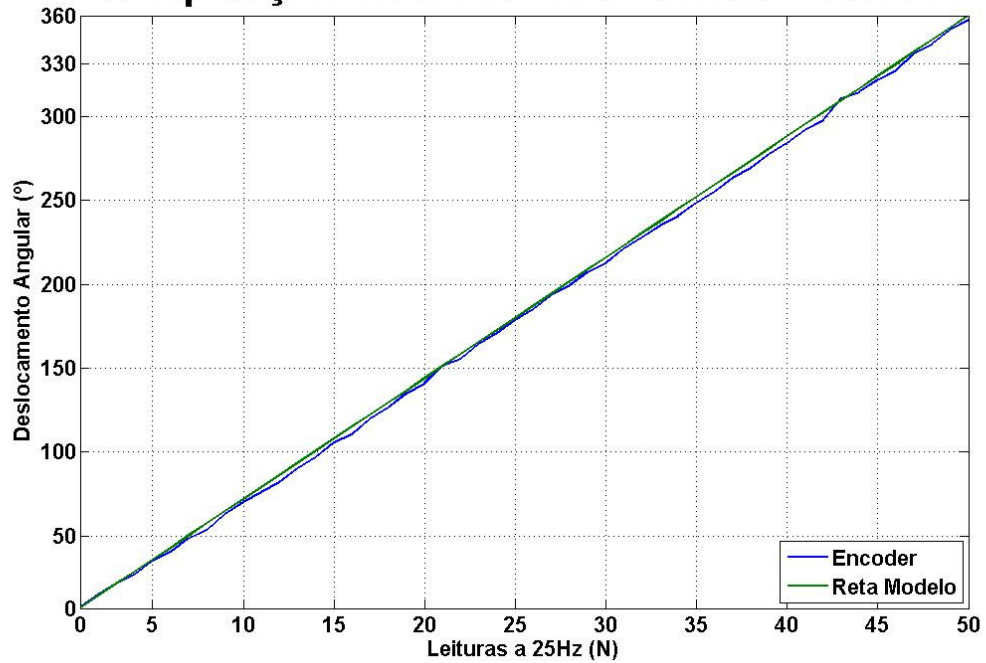
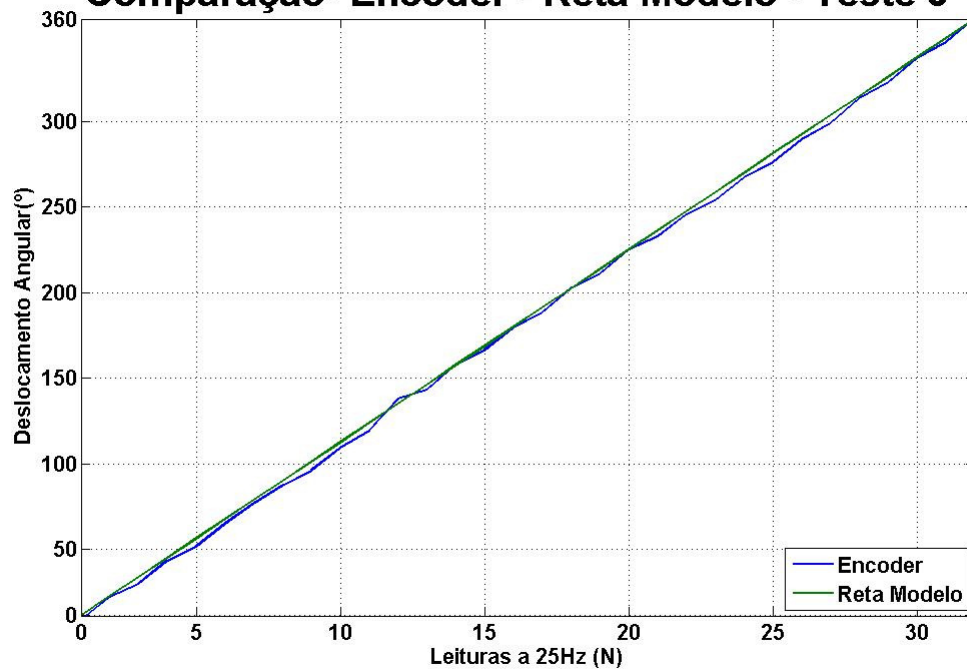
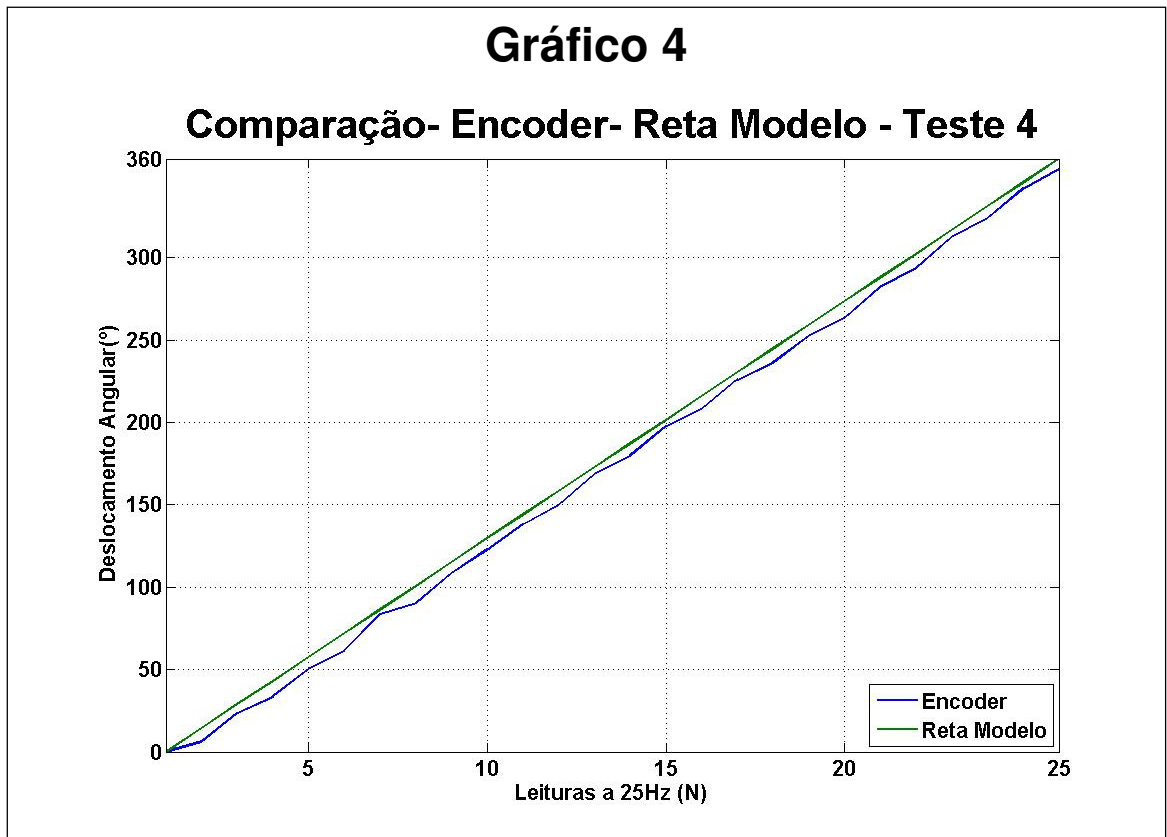


Gráfico 2**Comparação- Encoder - Reta Modelo - Teste 2****Gráfico 3****Comparação- Encoder - Reta Modelo - Teste 3**

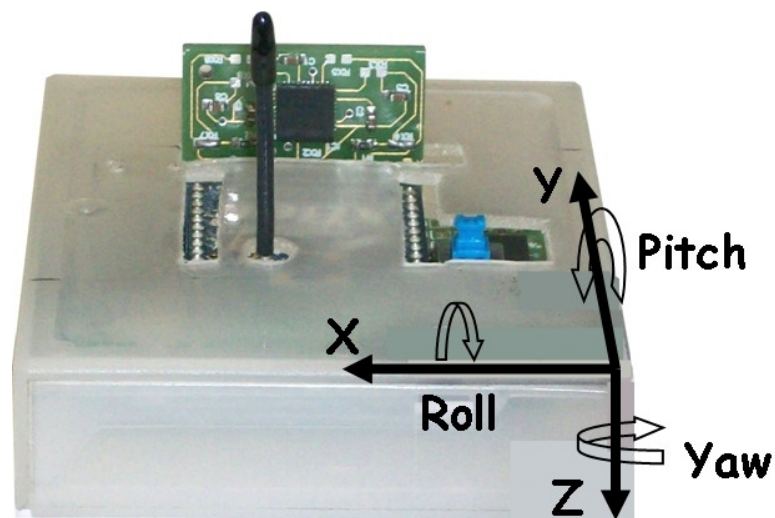


Como pode-se observar, as medições do encoder se aproximam das retas de progressão modelo para todas as velocidades, porém pode-se observar que o encoder demonstrou uma não linearidade de progressão do pé-de-vela, fator que pode resultar em análises não tão precisas para a comparação entre o encoder e o giroscópio.

Quadro 2 Relação entre velocidade e quantidade de deslocamento angular		
Teste	Velocidade em rpm	Leitura a 25Hz
1	6,4	1,5
2	30,0	7,3
3	46,9	11,2
4	60,0	14,4

Para melhor compreensão destes e dos próximos gráficos deve-se ter o conhecimento de que o SM-MAE possui um sistema referencial de coordenadas individuais como mostrado na figura a seguir:

Figura 9 – Sistema Referencial do SIN



E para cálculos mais precisos como a trajetória é necessário a adoção de um sistema referencial de coordenadas, seja ele um ponto fixo na terra, um ponto fixo nas estrelas ou qualquer outro ponto referencial.

Para os sistemas referenciais de coordenadas em que o corpo se encontra no solo terrestre ou nas proximidades da terra e para eventos de longa duração, se faz necessária a utilização de fórmulas que compensem o cálculo de sua trajetória, pois a atração gravitacional e a rotação da Terra causam uma variação na atitude registrada e computada pelo SM-MAE.

Neste caso adotou-se o mesmo Sistema Referencial de Coordenadas do SM-MAE, uma vez que este acoplado ao pé-de-vela representa as acelerações e atitudes do mesmo, e pela complexidade do sistema computacional envolvido para se ter atitude, a velocidade e o posicionamento, foi realizado apenas a comparação entre um sensor de giro e o encoder da plataforma.

O sensor de giro capta dados de deslocamento angular em um eixo, relativo a movimento de dois eixos ortogonais ao primeiro. Sendo assim o sensor de giro realiza medições de velocidade angular no eixo Z (também chamando de *Yaw*) por exemplo, sendo capaz de medir todo o deslocamento angular que um objeto realizou em um plano X,Y, assim representado nas figuras a seguir.

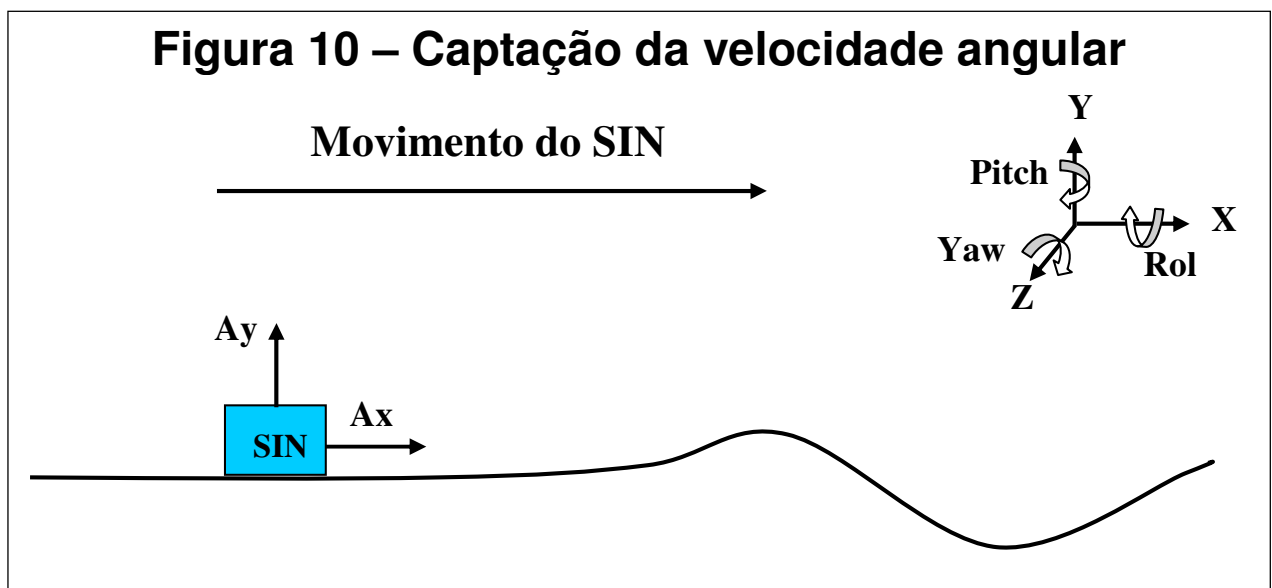
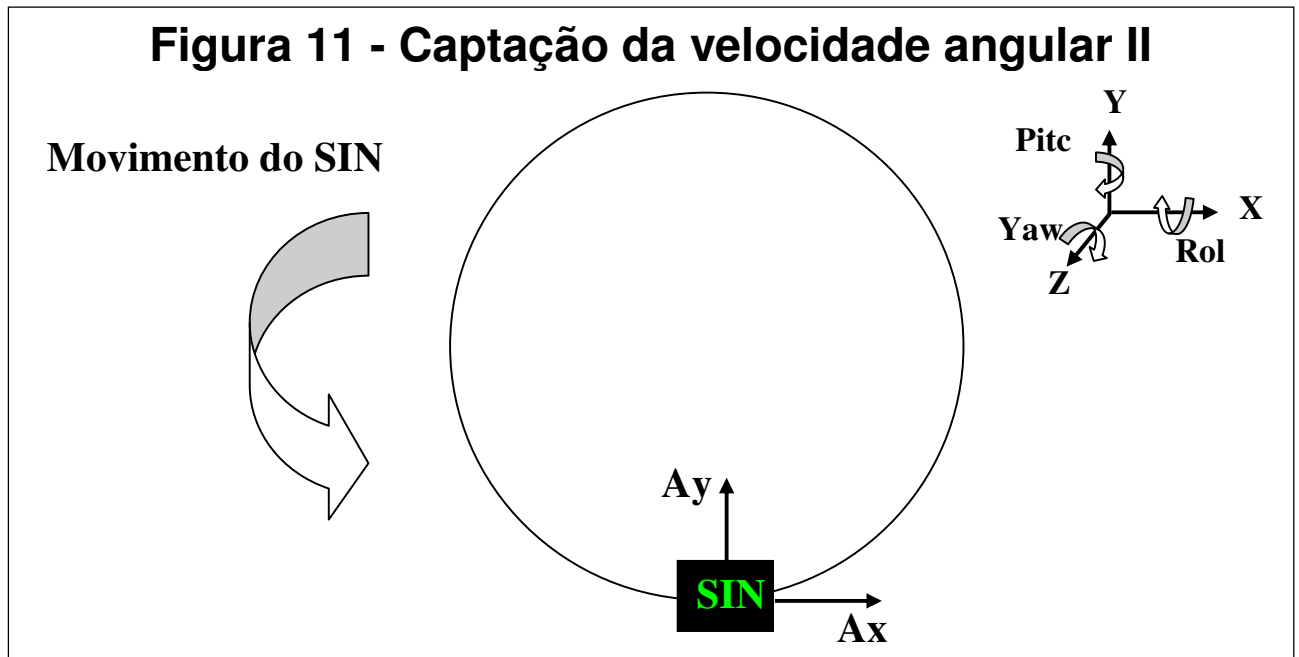


Figura 11 - Captação da velocidade angular II



Para que os sensores de giro do SM-MAE fossem comparados quantitativamente com o encoder, o mesmo foi fixado na ponta do pé-de-vela.

A seguir os dados comparativos de ativação dos sensores de giro, realizando um ciclo de volta.

Gráfico 5

Gráfico das medidas dos 3 Giroscópios - Teste 1

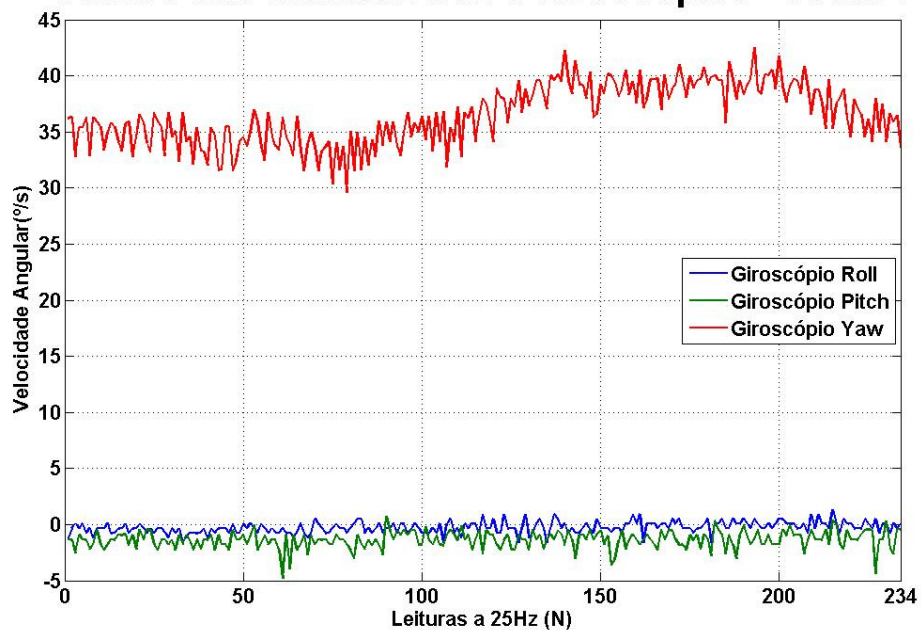


Gráfico 6

Gráfico das medidas dos 3 Giroscópios - Teste 2

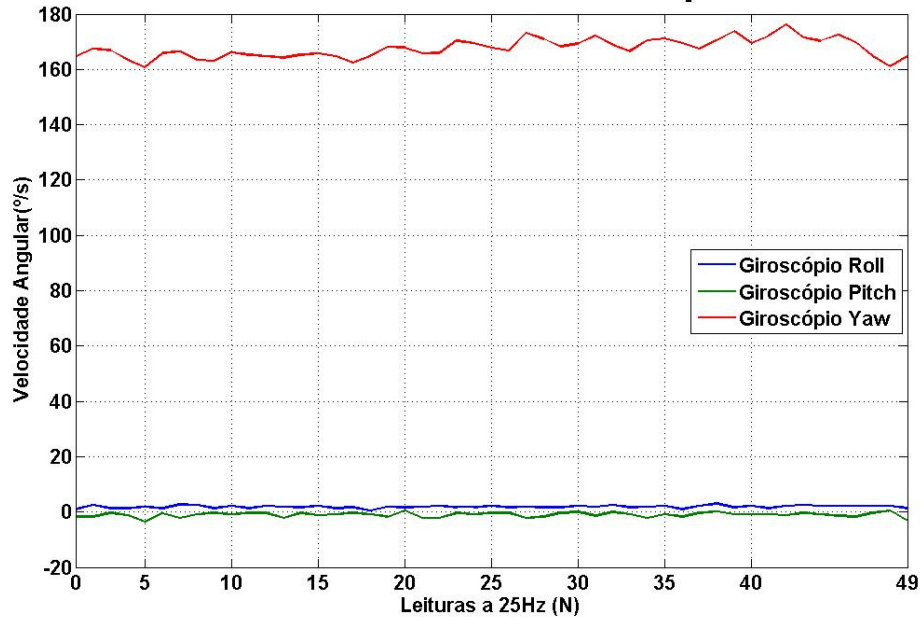
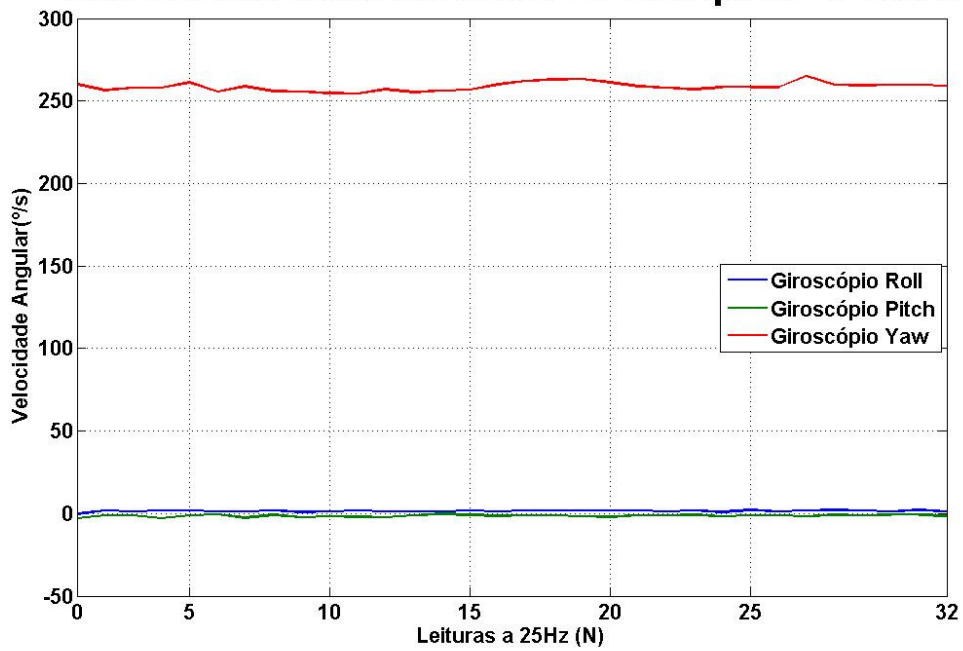
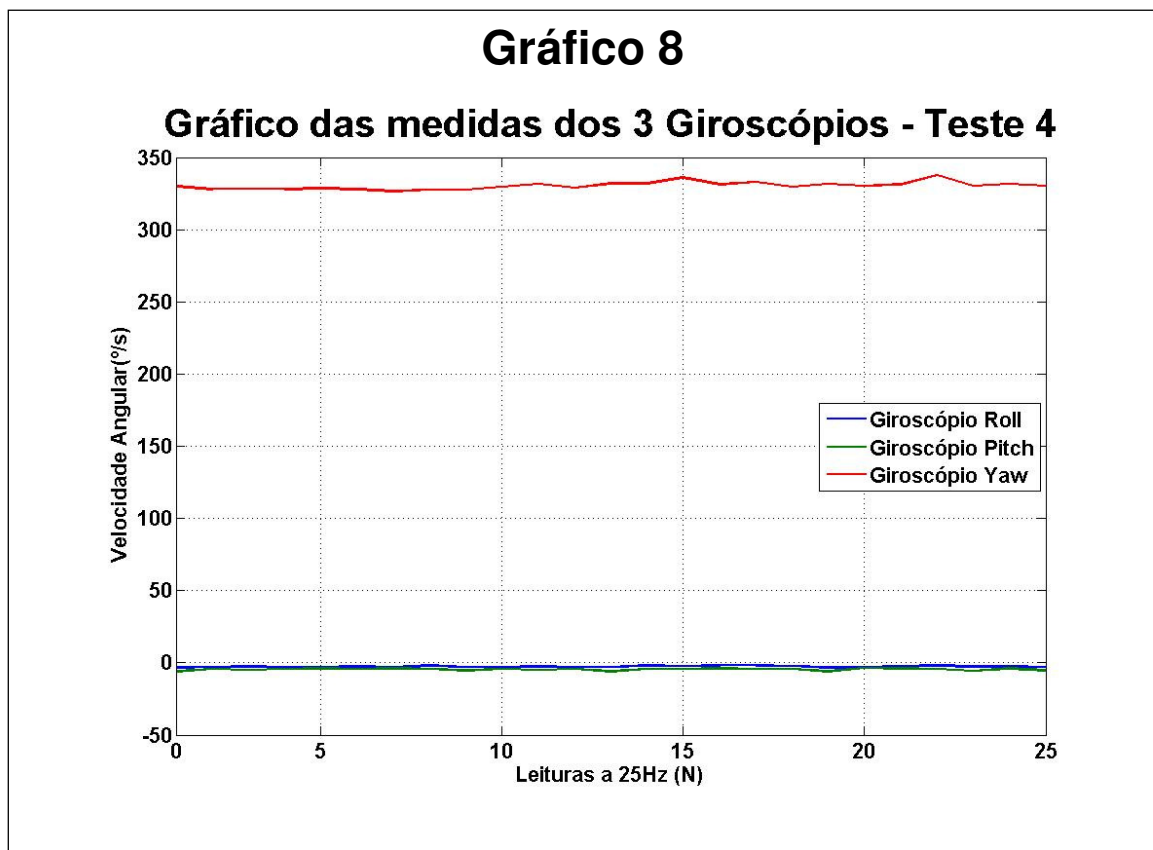


Gráfico 7

Gráfico das medidas dos 3 Giroscópios - Teste 3





Com uma simples análise pode-se verificar que para um movimento circular uniforme, apenas um dos giroscópios é excitado, no caso o Giroscópio do eixo Z, também chamado de *Yaw*.

A próxima etapa de análises realizada foi para verificar qual o nível de pré-ativação que o sensor do eixo Z apresentava em estado estático. Para isso em todos os testes, foi produzida a mediana com o aparelho em estado estático por aproximadamente 20 segundos, após os 5 primeiros segundos, pois entende-se que nesse período os sensores e o aparelho estão se estabilizando, tanto em picos de alimentação como na flexão de suas molas. Os gráficos para cada teste estão a seguir:

Gráfico 9

SM-MAE em Repouso e Mediana após 5 segundos - Teste 1

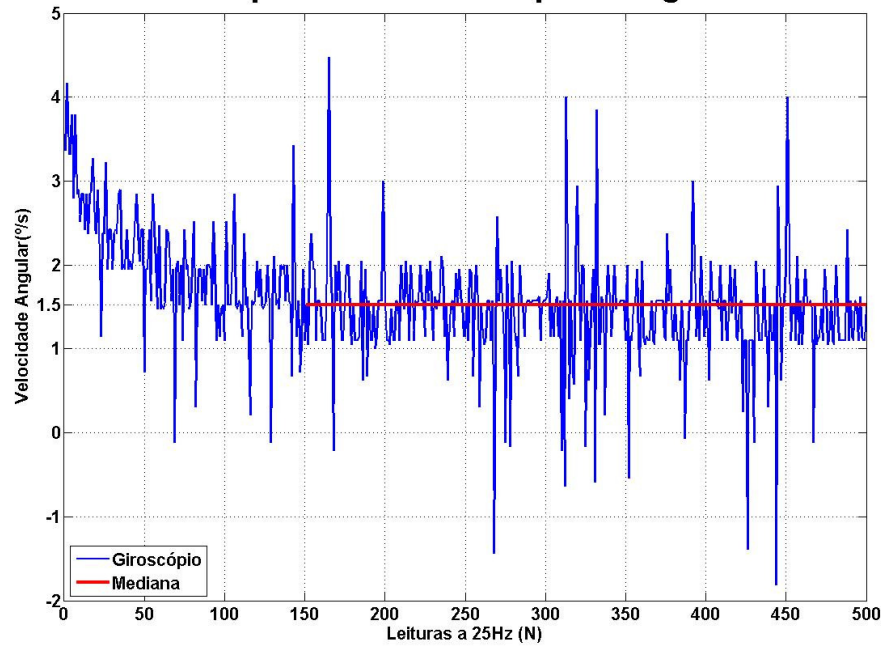


Gráfico 10

SM-MAE em Repouso e Mediana após 5 segundos - Teste 2

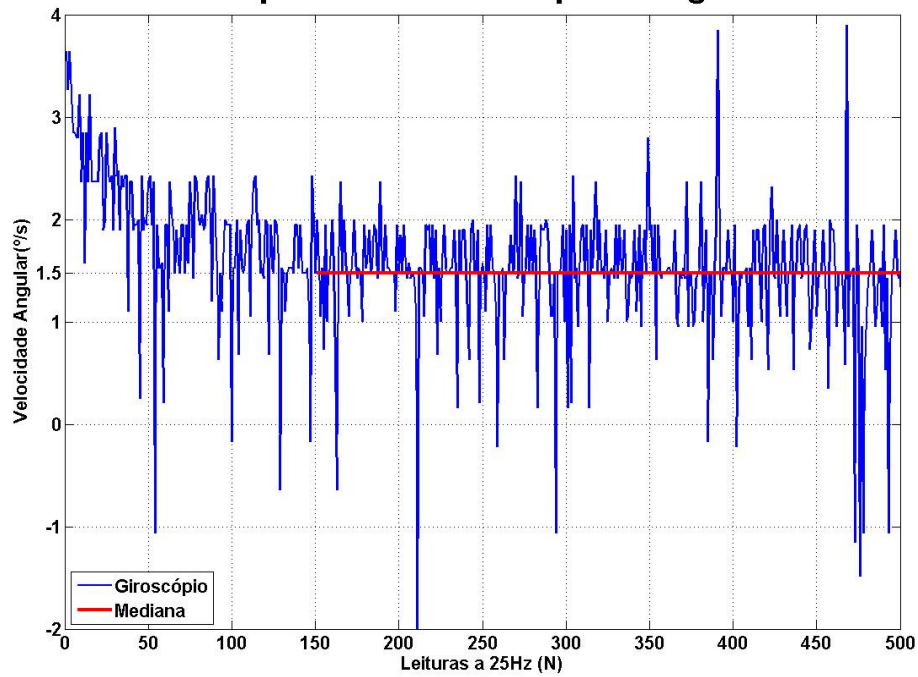


Gráfico 11

SM-MAE em Repouso e Mediana após 5 segundos - Teste 3

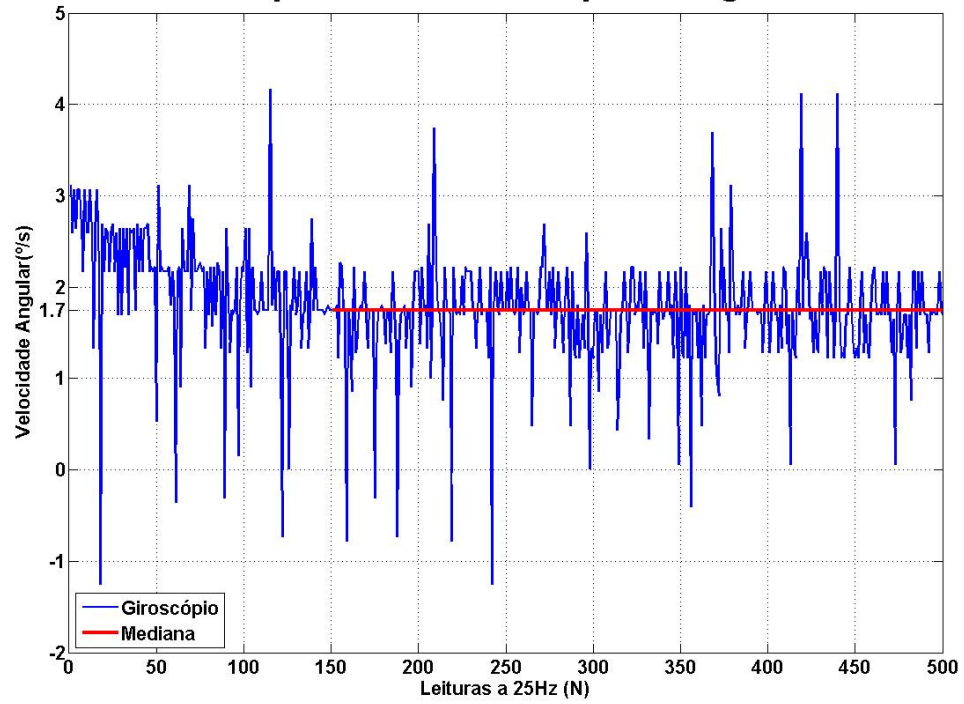
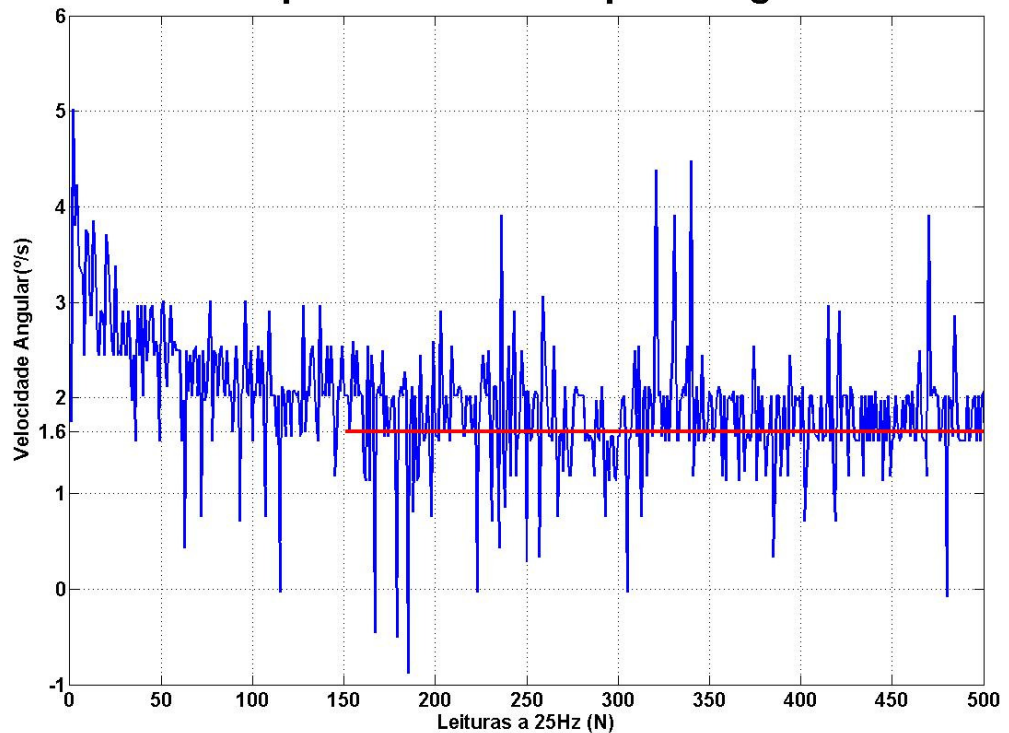


Gráfico 12

SM-MAE em Repouso e Mediana após 5 segundos - Teste 4



O valor das medianas para cada teste estão na tabela abaixo:

Quadro 3 Medida da ativação inicial dos testes simulados- sensor eixo Z		
Teste	Velocidade (rpm)	Off-set ($^{\circ}/s$)
1	6,4	1,5
2	30,0	1,5
3	46,9	1,7
4	60,0	1,6

Obs: Quadro 3 - O valor de deriva foi obtido através da mediana produzida pelos dados do giroscópio em estado estático após 5 segundo de estabilização.

A partir destes dados pode-se verificar que existe certo pico de medidas quando o aparelho é ligado, e após cerca de 5 segundos essas medidas se reduzem e se estabilizam em um patamar de ativação inicial (off-set).

Deve-se atentar para tal valor, para que o mesmo não esteja elevado em demasia, caso isso ocorra, deverá ser feita uma nova calibração do SIN antes dos testes.

Sendo o objetivo deste projeto ter parâmetros de comparação entre o sensor de velocidade angular (giro) e o sensor de deslocamento angular (encoder), foi necessário transformar os dados recebidos pelo giroscópio que se dão em velocidade angular ($^{\circ}/s$) para deslocamento angular ($^{\circ}$). Deste modo cada medição do giroscópio recebida foi dividida pela frequência de aquisição que é de 25Hz. Para a comparação com os dados do encoder, cada medição recebida era somada com a anterior até o ponto que as medições do encoder chegavam a 360 $^{\circ}$ ou completavam uma volta.

Após compreendidas e verificadas todas essas interpretações, será analisado o gráfico que relaciona os dados obtidos do encoder com a reta modelo e o giroscópio do eixo Z (Yaw). Os resultados estão representados nos gráficos a seguir.

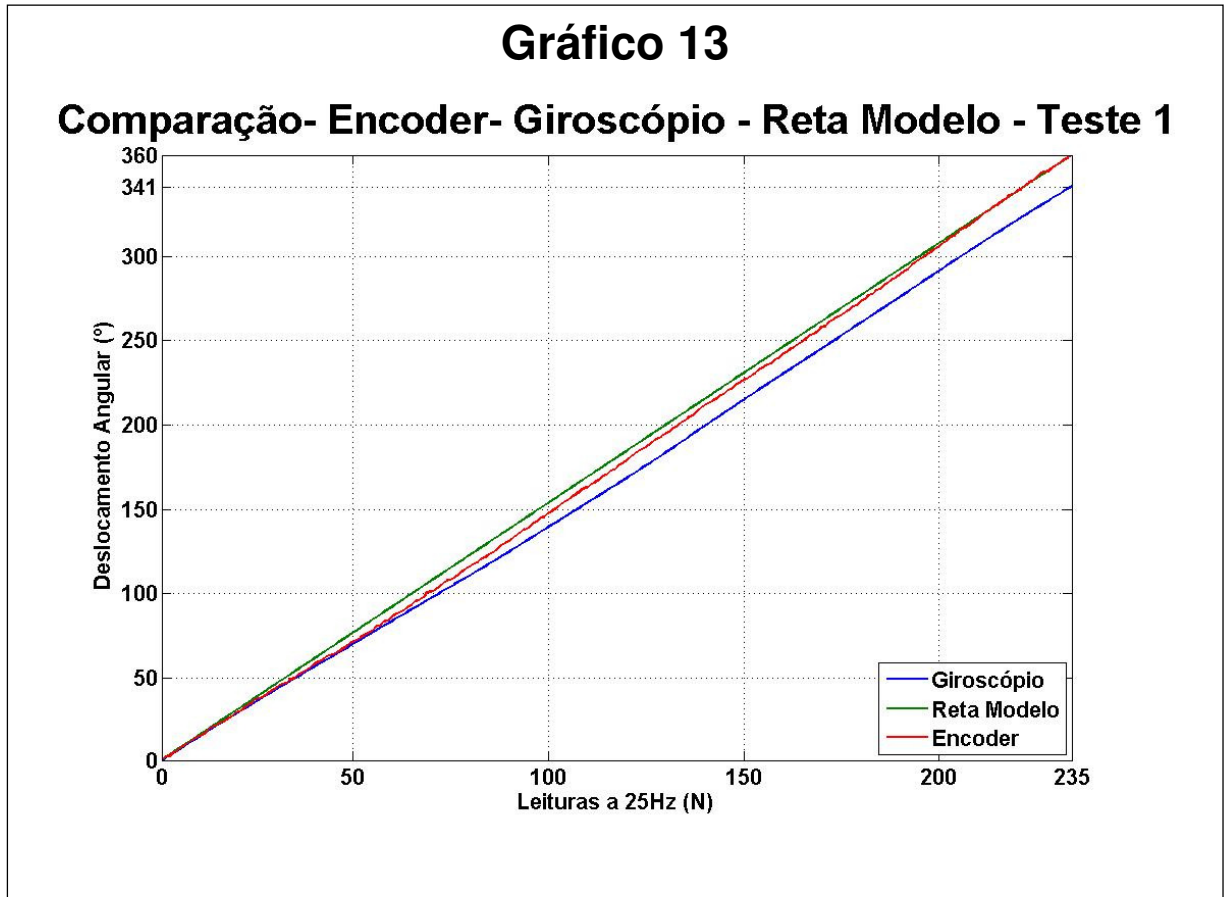
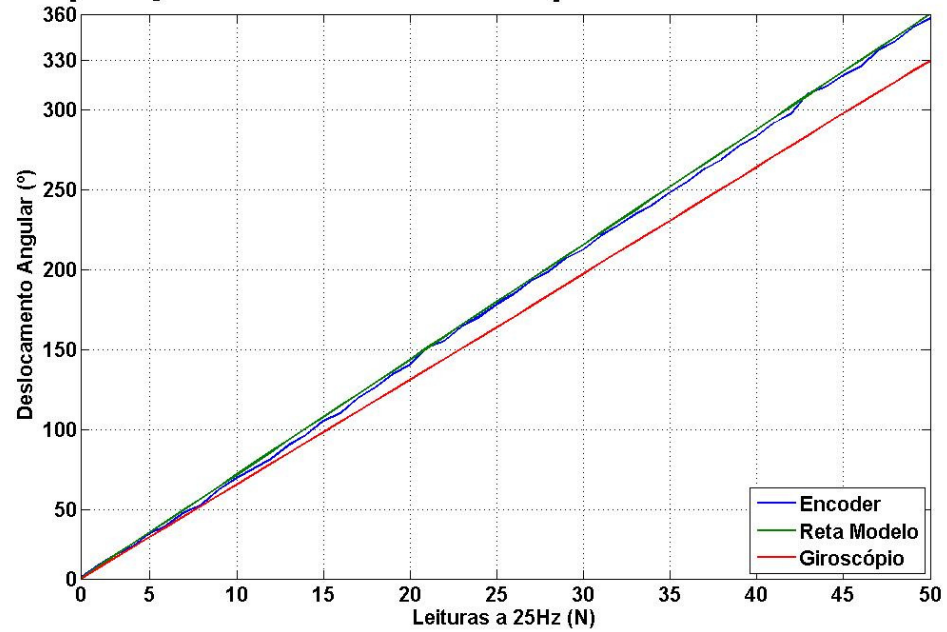
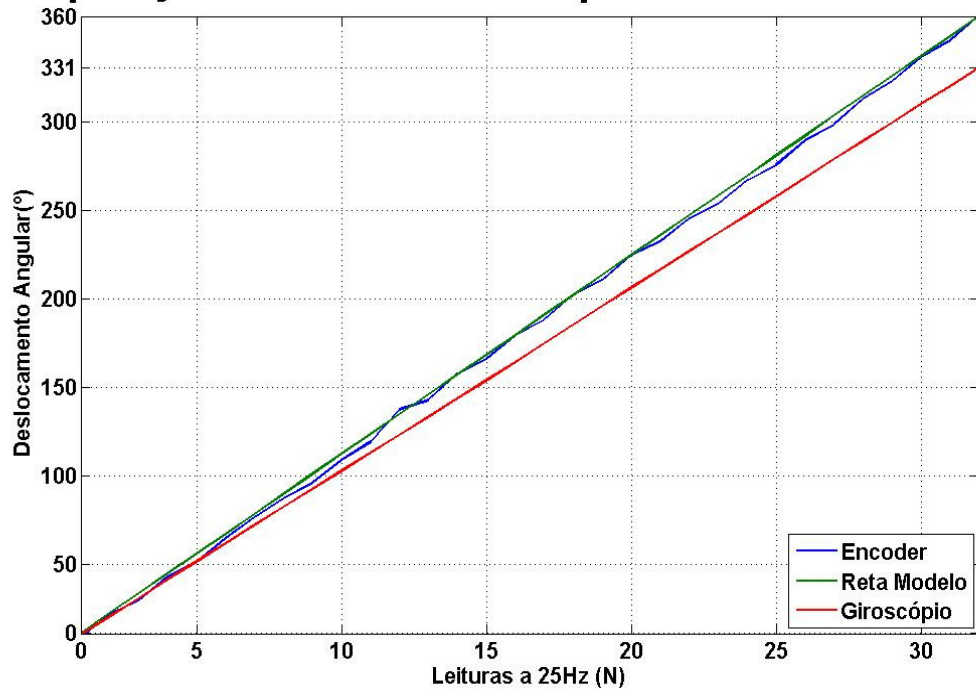
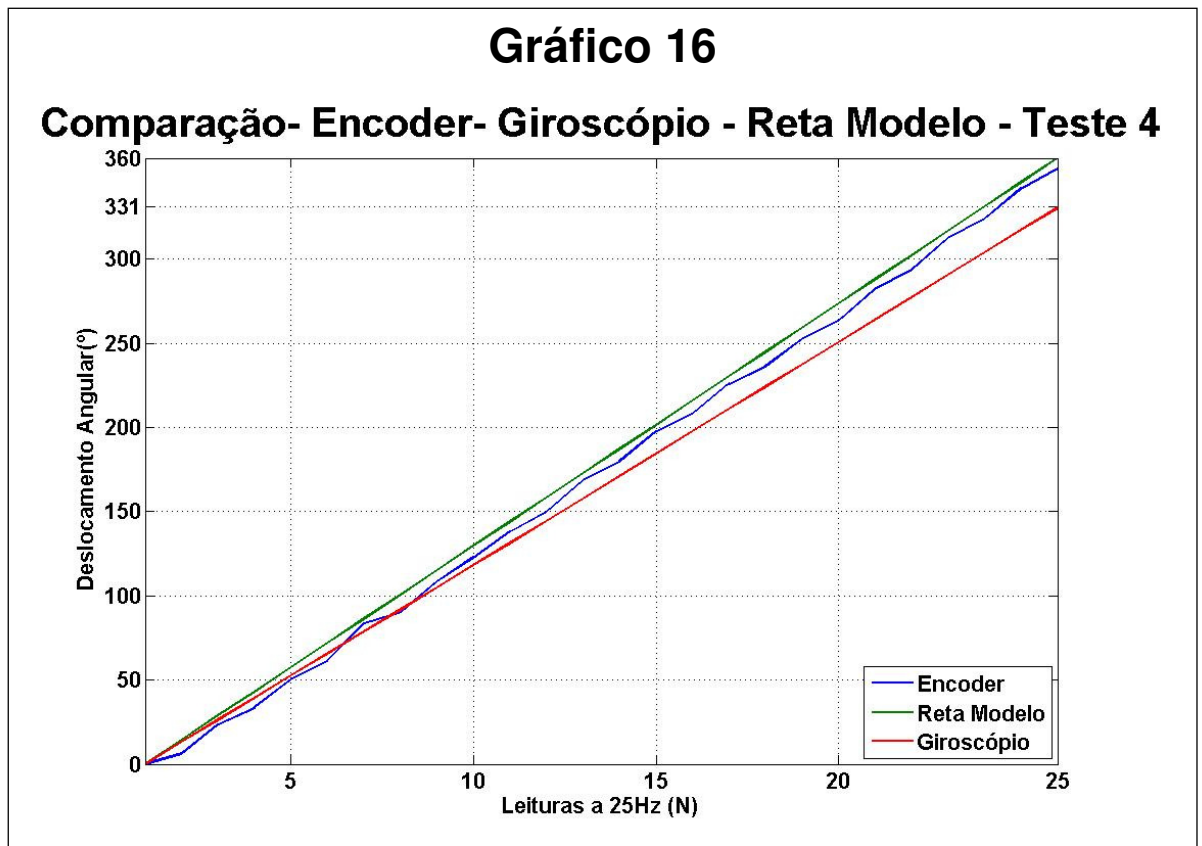


Gráfico 14**Comparação- Encoder- Giroscópio - Reta Modelo - Teste 2****Gráfico 15****Comparação- Encoder- Giroscópio - Reta Modelo - Teste 3**



Como pode-se observar, a resposta do giroscópio apresenta valores menores se comparado a reta modelo e ao encoder, tal diferença existente representa um valor substancial que poderia gerar erros consideráveis para análises em medições não laboratoriais.

A seguir têm-se duas tabelas que representam a diferença dessas medidas.

Tabela 1
Comparação entre Giroscópio e Encoder na 1ª e ultima medida

Teste	Sistema de Medição	Velocidade (rpm)	1ª Medida (º)	Última Medida (º)	Diferença (º)
1	Encoder	6,4	1,5	359,9	18,5
	Giroscópio (Z)	6,4	1,4	341,3	
2	Encoder	30,0	7,8	357,5	26,7
	Giroscópio (Z)	30,0	6,6	330,9	
3	Encoder	46,9	8,8	360,7	29,7
	Giroscópio (Z)	46,9	10,4	331,0	
4	Encoder	60,0	6,2	353,8	23,5
	Giroscópio (Z)	60,0	13,2	330,4	

Tabela 2 Diferença percentual entre um ciclo perfeito e a medição do giroscópio		
Teste	Velocidade	Diferença percentual entre 360º e último valor do giroscópio (%)
1	6,4	5,1
2	30,0	8,0
3	46,9	8,0
4	60,0	8,2

6 - Considerações Finais

Após a análise dos gráficos e tabelas acima, pode-se constatar que a resposta dos sensores de giro do SM-MAE apresentam diferenças se comparada ao encoder, porém deve-se ressaltar que o encoder também captou dados que não correspondem a um movimento circular uniforme. Essa diferença entre os sensores pode estar associado a plataforma de testes, que não conseguiu realizar com sucesso um movimento circular uniforme.

Outro fator que deve ser analisado para futuros estudos é que para a análise da técnica da pedalada, a resolução que a taxa de amostragem proporciona deve compreender no máximo 5°, o que foi verificado apenas no primeiro teste. Essa resolução está associada a velocidade de rotação do pé-de-vela e a taxa de amostragem que o SM-MAE está configurado. Sabendo que em competições de ciclismo de pista alguns ciclistas utilizam cadências (frequência de rotação do pé-de-vela) em valores acima de 160 rpm, podendo chegar até a 190 rpm a frequência de amostragem do SM-MAE deve ser elevada para valores próximos a 240 Hz, para que se tenha essa resolução de 5°.

Com uma resolução de 5° pode-se, através da análise de como o ciclista está reagindo, melhorar sua força ou velocidade em determinados setores de rotação.

Deste modo ainda são necessários mais estudos para verificação em taxas maiores de aquisição e envio do SM-MAE para o computador e se os sensores do giro são sensíveis suficientes para aquisições em frequências elevadas.

Referências

Carpes, F. P., C. B. Mota, et al. (2005). "Aplicação de força no pedal em prova de ciclismo 40 km contra-relógio simulada: estudo preliminar." Revista Brasileira de Educação Física e Esporte **19**: 105-113.

Cho, S. Y. L., Ki Won; Park, Chan Gook; Lee, Jang Gyu (2003). "A Personal Navigation System Using Low-Cost MEMS/GPS/Fluxgate."

David H. Titterton, J. L. W. (2004). Strapdown inertial navigation technology.

James, D. A. (2006). "The Application of Inertial Sensors in Elite Sports Monitoring."

Kevin King, S. W. Y., N.C. Perkins (2007). "Wireless MEMS inertial sensor system for golf swing dynamics."

Mohinder S. Grewal, L. R. W., Lawrence R. Weill, Angus P. Andrews (2007). Global positioning systems, inertial navigation, and integration.

Moritz, E. F., S. Haake, et al. (2006). The Application of Inertial Sensors in Elite Sports Monitoring. The Engineering of Sport **6**, Springer New York: 289-294.

Savage, P. G. (1998). "Strapdown Inertial Navigation Integration Algorithm Design Part 1: Attitude Algorithms." JOURNAL OF GUIDANCE, CONTROL, AND DYNAMICS **21**.

Henao Roa, Yull Heilordt . Desenvolvimento de um sistema microcontrolado para monitoramento de atividades esportivas baseado em sensores microeletromecânicos de aceleração e giro. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, 2009. 145 p. Dissertação (Mestrado).