

# Sensores, processamento e ensaios

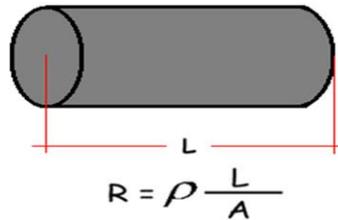
Prof. Dr. Pedro Cardozo de Mello  
Prof. Dr. Gustavo Roque da Silva Assi

# Objetivo

- ▶ Fornecer noções básicas de sensores e processamento de dados em ensaios;
- ▶ Apresentar testes típicos de calibração de modelos;
  - Medição do CG;
  - Teste bifilar para medição das inércias;
  - Inclinação estática para medição da altura metacêntrica (GM);
  - Pull-out para medição da rigidez da ancoragem;

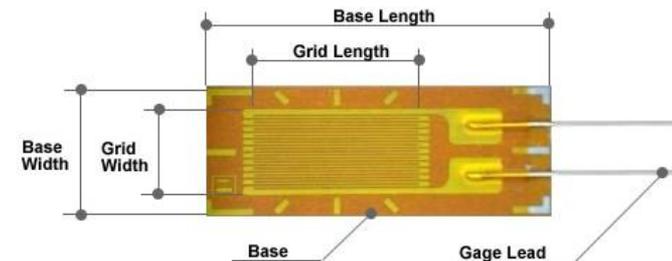
# Extensômetro

- ▶ Converte deformação (*strain*) em sinal elétrico;
  - Ligas metálicas (Cu-Ni) ou semicondutor – 2ª lei de ohm;



- Fator K – Associa deformação e resistência elétrica;

$$k = \frac{\Delta R / R}{\Delta L / L}$$



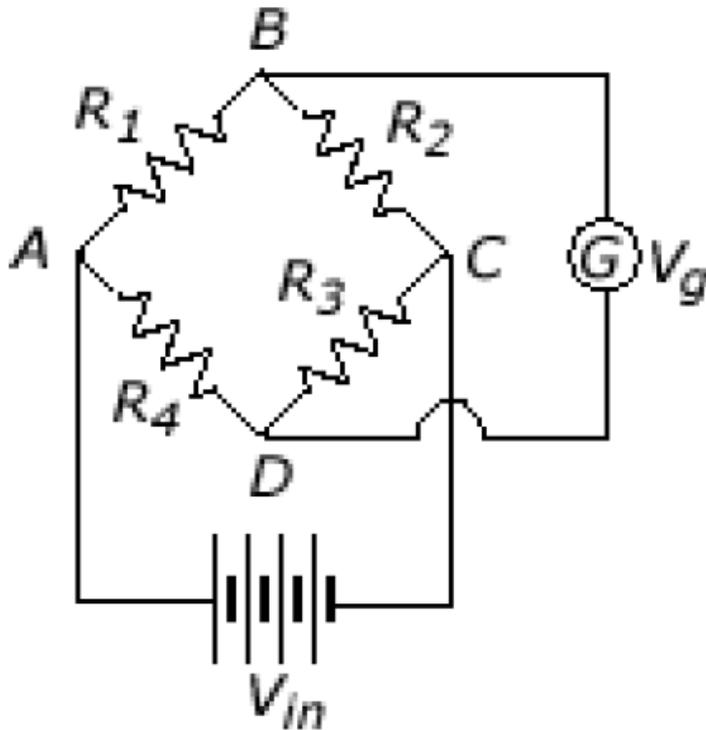
K depende de qual material se quer medir e fabricante;

$\mu S = 10^{-6} S$  ou micro-strain é a taxa de deformação dada em:

$$S = \Delta L / L$$

# Extensômetro

- ▶ Ponte de Wheatstone: Aplicações em sensores



$$V_g = V_{AB} - V_{AD} = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2} R_1 - \frac{V_{in}}{R_4 + R_3} R_4$$

$$V_g = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_4 + R_3)} V_{in} = 0$$

$$\Rightarrow R_1 R_3 = R_2 R_4 \quad \text{or} \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3}$$

Válido para o equilíbrio da ponte.

Da mesma forma se:  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$

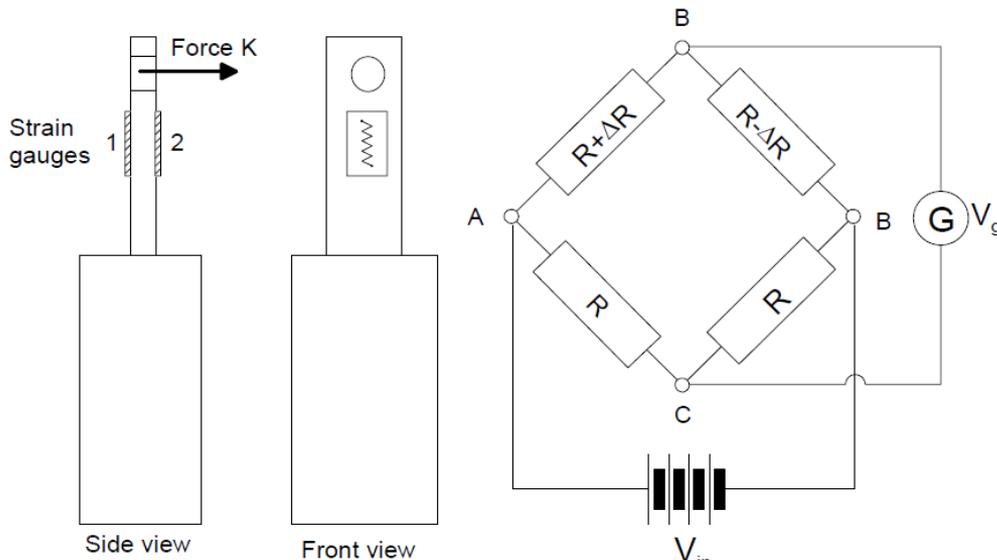
$$\Delta V_g = \frac{\Delta R_1 - \Delta R_2 + \Delta R_3 - \Delta R_4}{4R} V_{in}$$

Circuitos de compensação de ponte.

Ponte: completa, meia e um quarto.

# Extensômetro

- ▶ Ponte de Wheatstone: Aplicações em sensores



$$\Delta V_g = \frac{\Delta R_1 - \Delta R_2 + \Delta R_3 - \Delta R_4}{4R} V_{in}$$

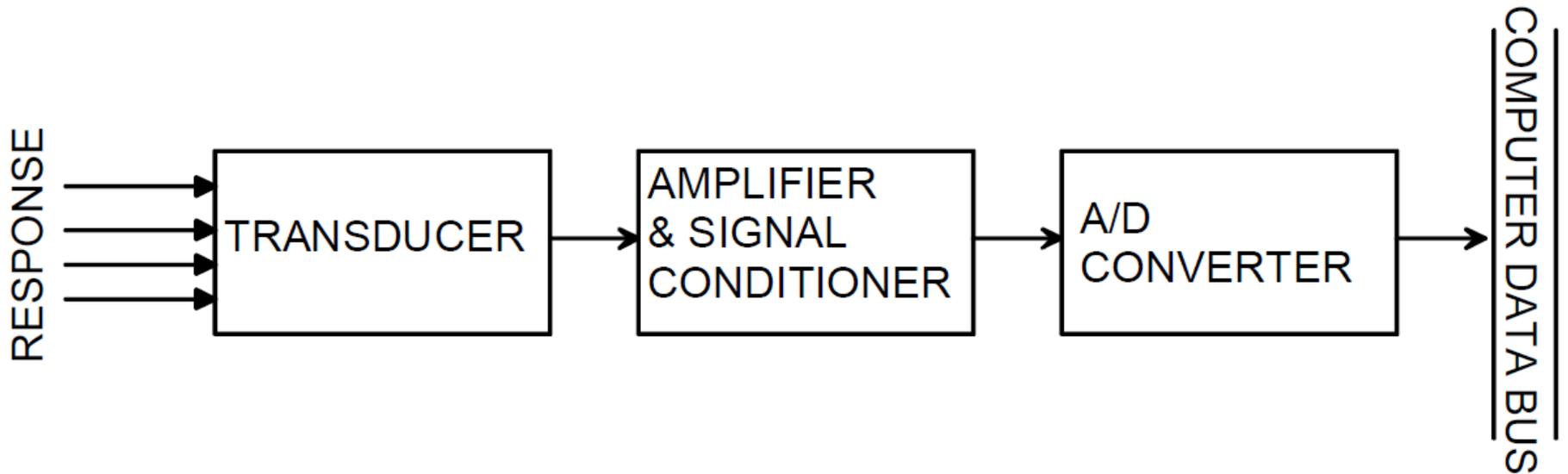
$$k = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L}$$

$$V_g/V_{in} = 2mV/V = \text{fundo de escala} \\ (N)(Kg)(g)(Nm)$$



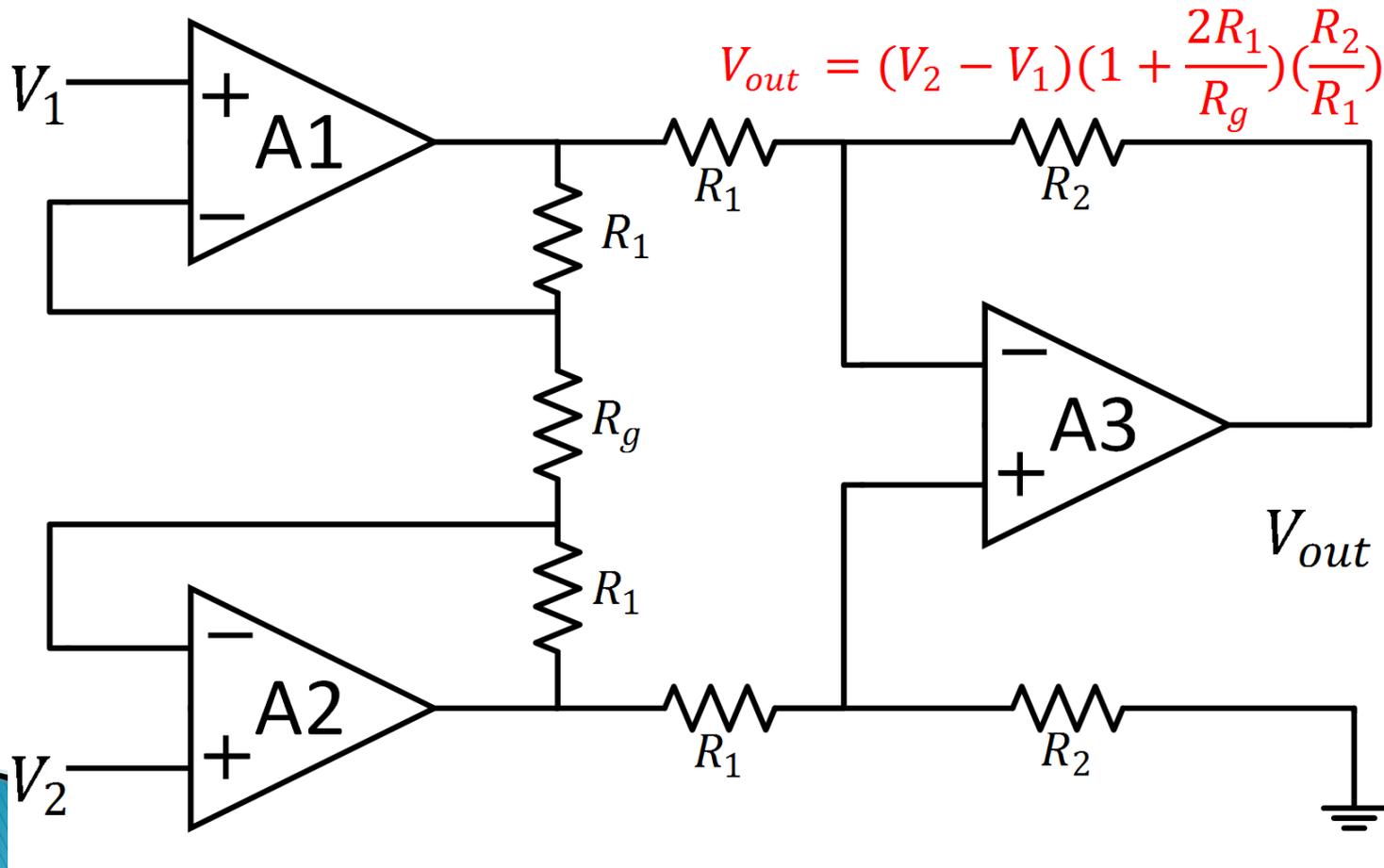
# Aquisição de dados

Sistema de aquisição de dados: Diagrama de blocos



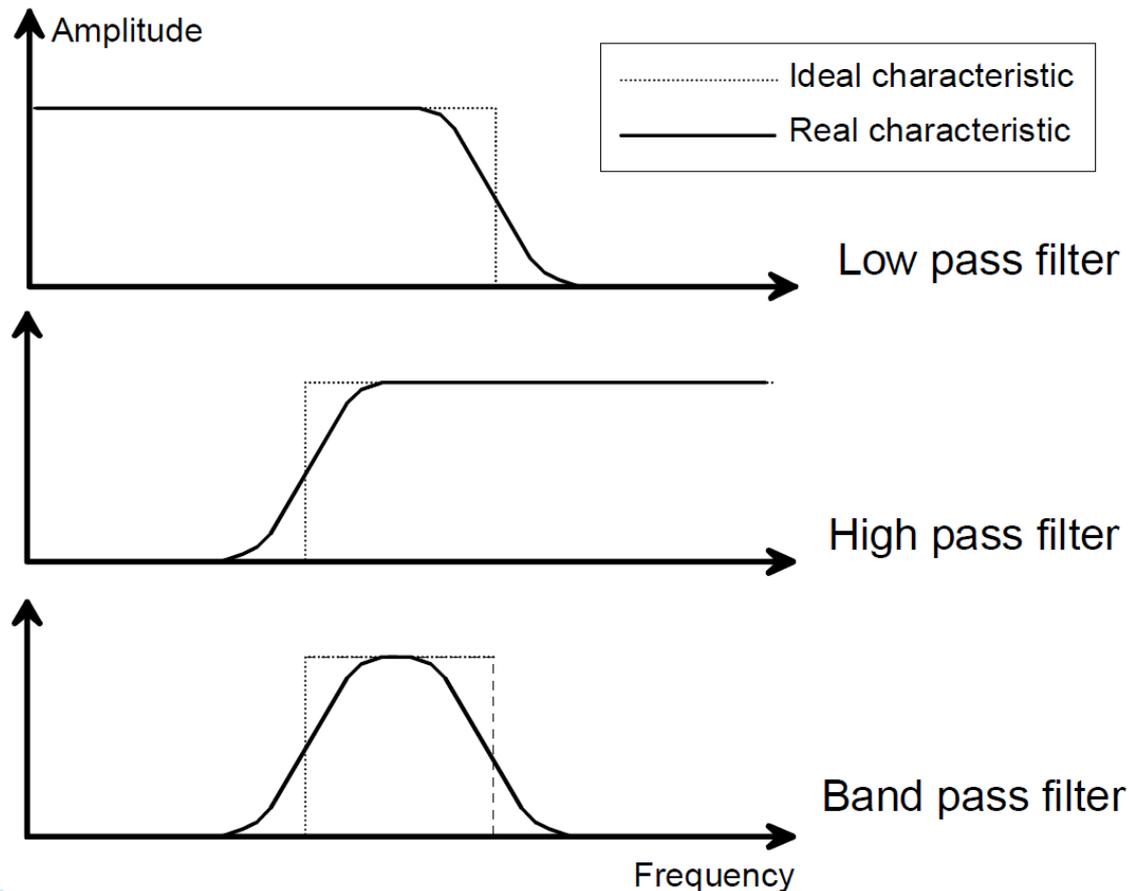
# Aquisição de dados

Sistema de aquisição de dados: Amplificador de instrumentação



# Aquisição de dados

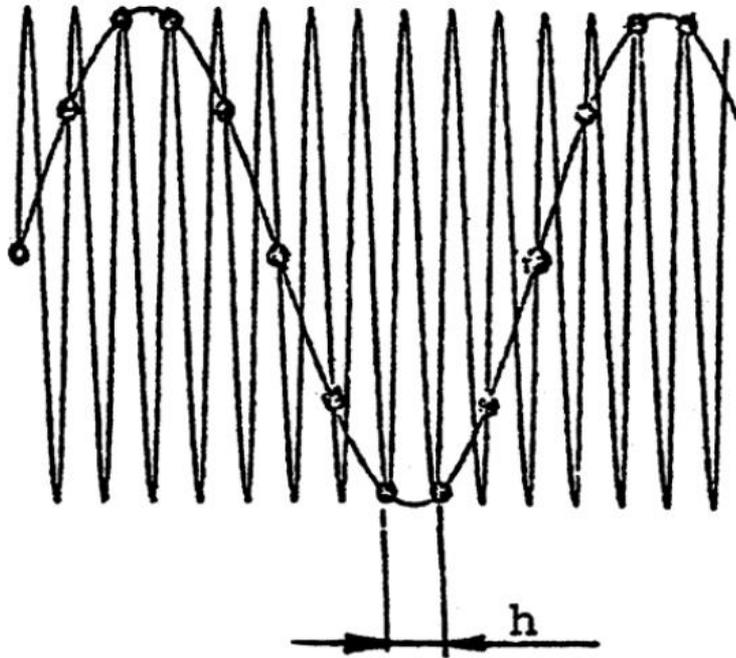
Sistema de aquisição de dados: filtros típicos



# Aquisição de dados

Sistema de aquisição de dados: Conversão analógico > digital

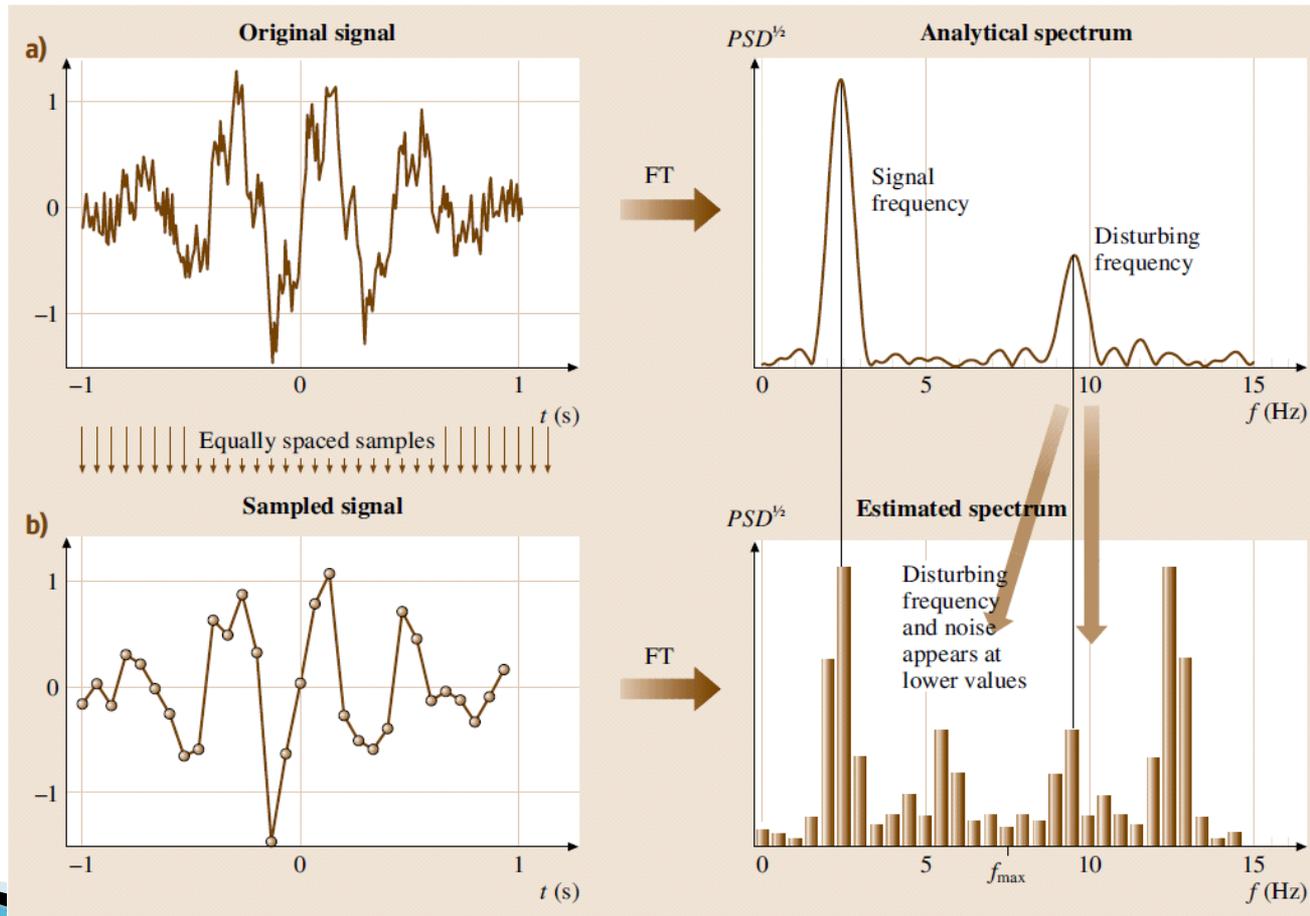
- ▶ Resolução e escala: número de bits:  $2^8=256$ ,  $2^{16}=65535$ ...
- ▶ Taxa de amostragem: frequência de Nyquist ( $f_c$ )
  - Senóides com no mínimo 2 amostras por ciclo.



$$f_c = \frac{1}{2h}$$

# Aquisição de dados

Sistema de aquisição de dados: Conversão analógico > digital



**Fig. 22.2a,b** Aliasing error in a spectrum due to signal frequencies occurring above the Nyquist frequency. (a) Original signal and spectrum, (b) sampled signal and falsified spectrum

# Aquisição de dados

Sistema de aquisição de dados: Conversão analógico > digital

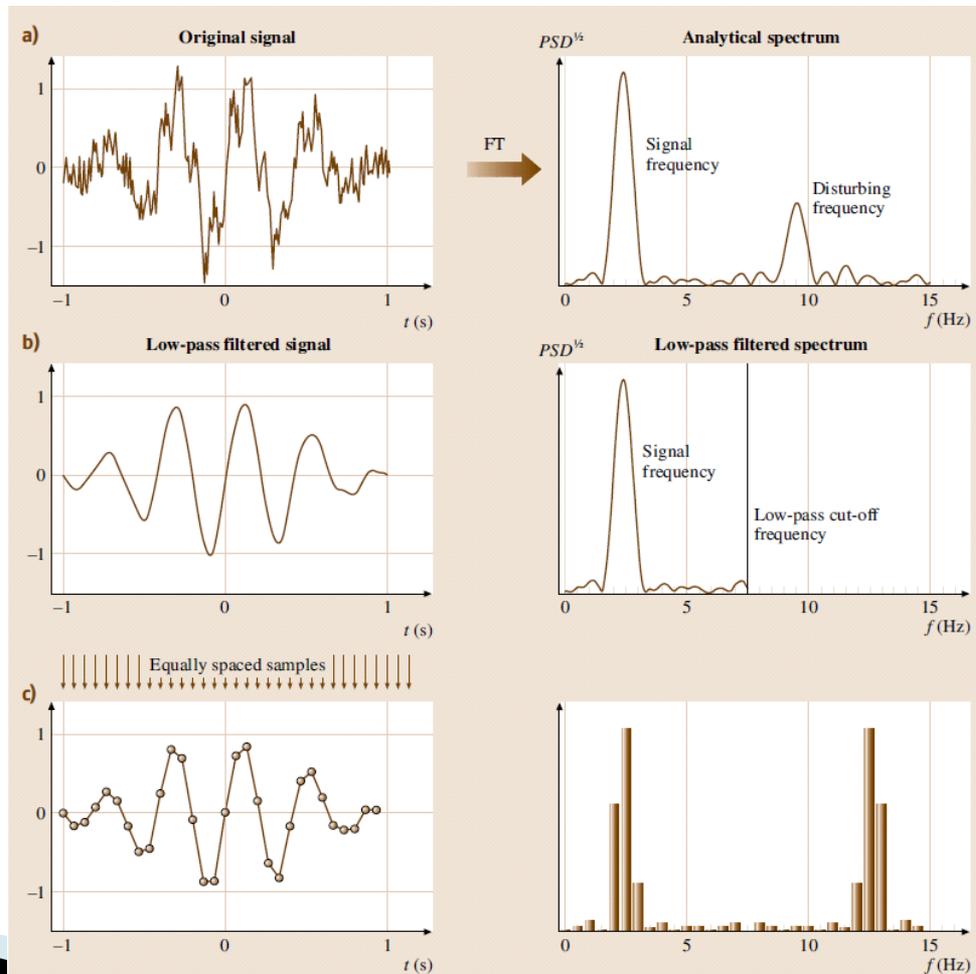
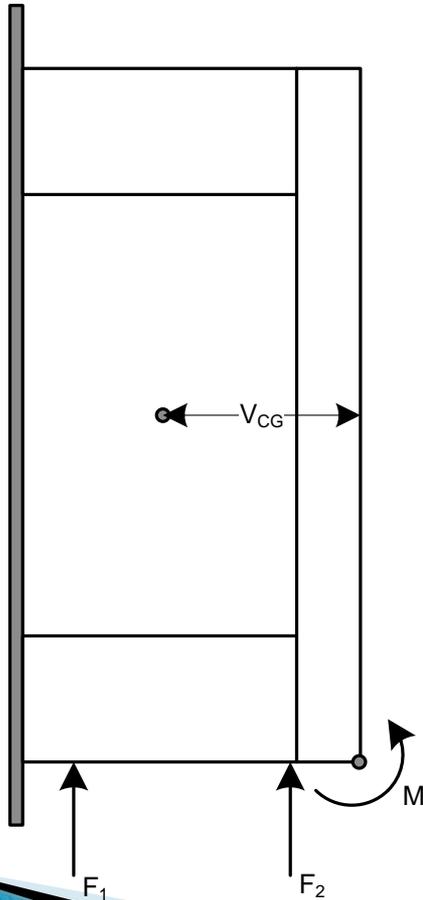


Fig. 22.3a-c Elimination of the aliasing error by use of a low-pass, anti-aliasing filter. (a) Original signal and spectrum, (b) low-pass filtered signal and spectrum, (c) sampled signal and non-aliased spectrum

# Testes com modelos

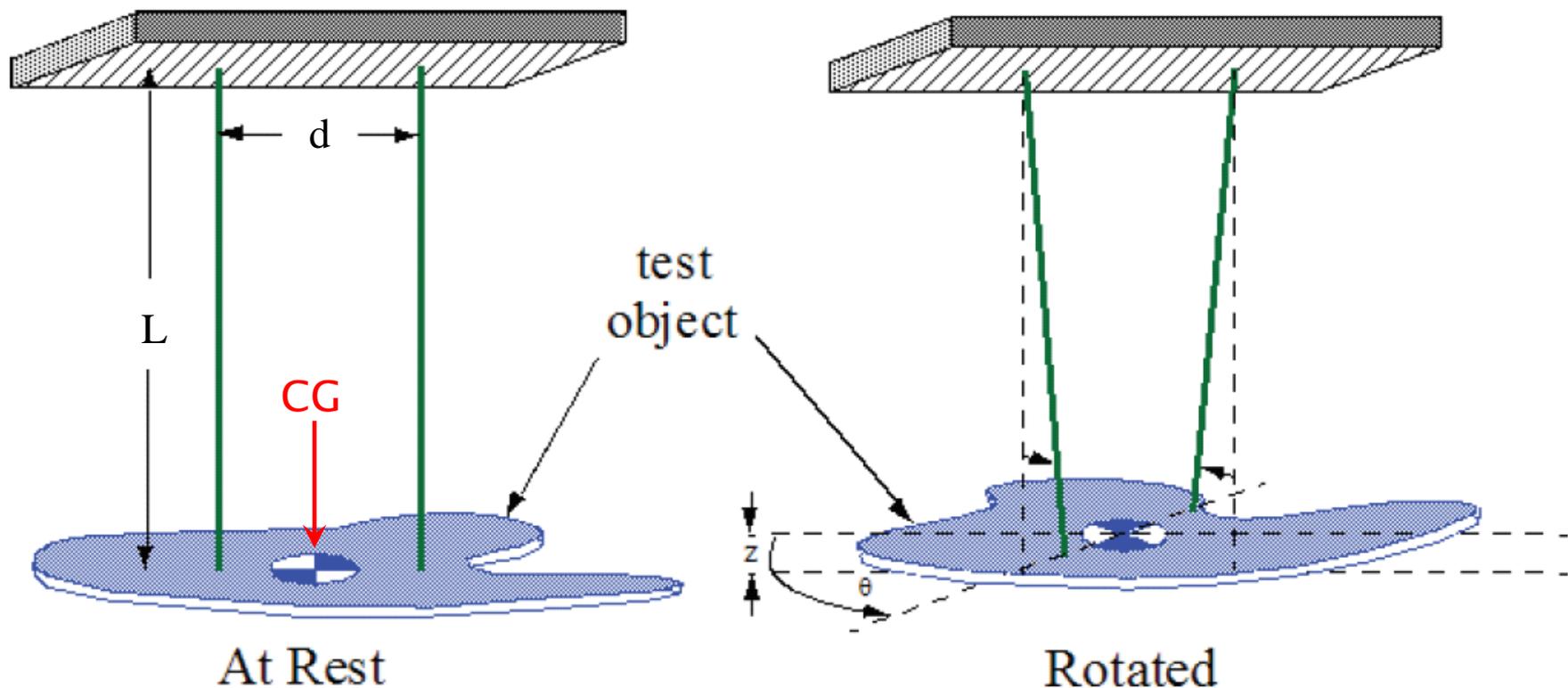
Teste para medição do CG:



Modelo vazio					
Peso	41.95	Kg	+	0 =	41.95 Kg
Inf	x	99	mm		
	P	33	Kg		
Sup	x	309	mm		
	P	8.95	Kg		
Soma M	6032.55	Kgfm			
Vcg	143.8033	mm	Em relação ao fundo do modelo		

# Testes com modelos

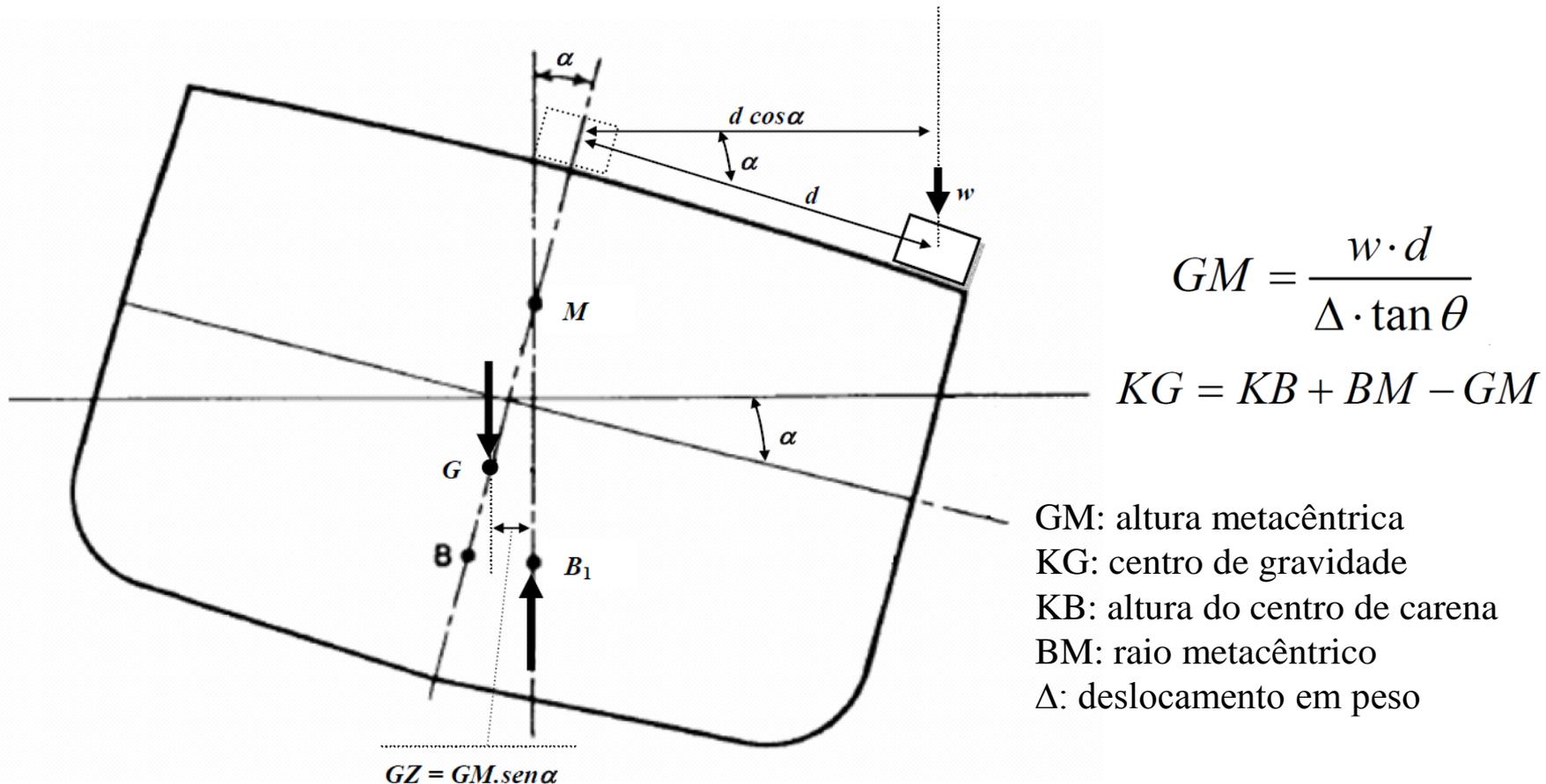
Teste bifilar para medição de inércia – A partir do CG





# Testes com modelos

Teste de inclinação estática - Altura metacêntrica (GM) e Centro de gravidade (KG)

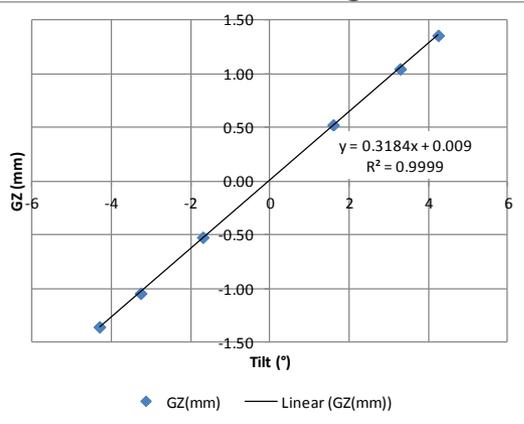


# Testes com modelos – Tanque de provas

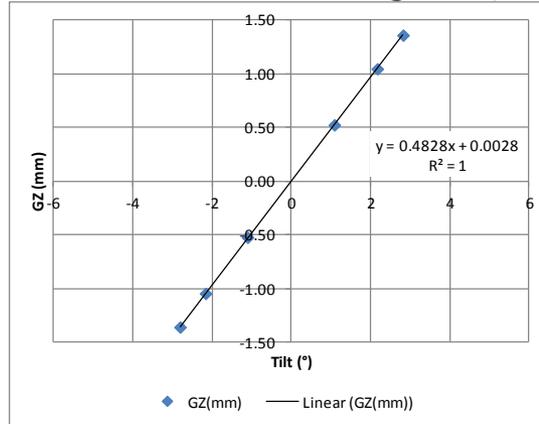
Teste de inclinação estática – Altura metacêntrica (GM) e Centro de gravidade (KG)

Direction	GM (m)	KB (m)	BM (m)	KG (m)
Roll (x)	3.312	8.362	26.855	31.905
Pitch (y)	3.321	8.362	27.063	32.104
			KG exp. (m)	32.004
			KG teo. (m)	33.280
			Error (%)	3.83

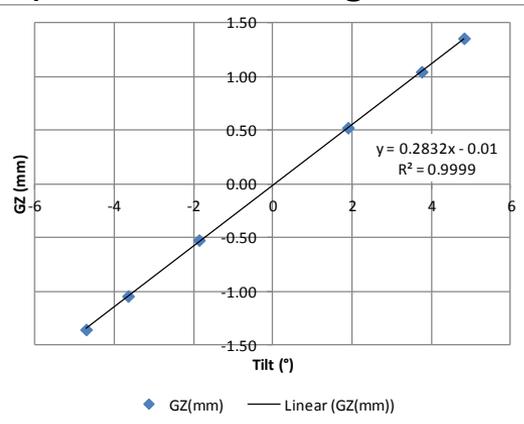
roll sem ancoragem



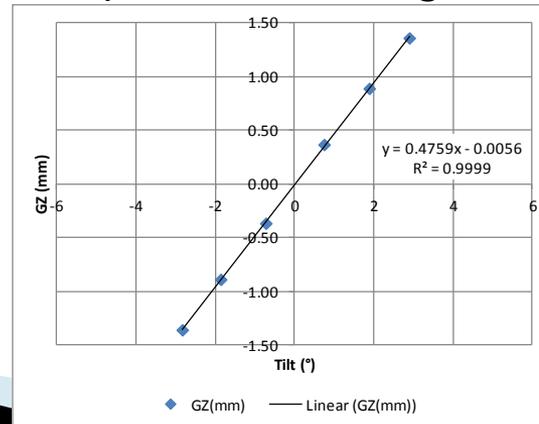
roll com ancoragem



pitch sem ancoragem



pitch com ancoragem



# Testes com Barco real – Alpha Delphini

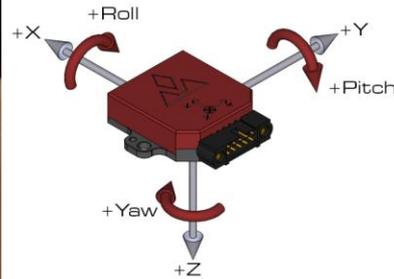
Teste de inclinação estática – Altura metacêntrica (GM) e Centro de gravidade (KG)



# Testes com Barco real - Alpha Delphini

Teste de inclinação estática - Altura metacêntrica (GM) e Centro de gravidade (KG)

## Equipamentos - Ensaio de inclinação estática



(Base dos instrumentos para medição de roll e pitch da embarcação.)

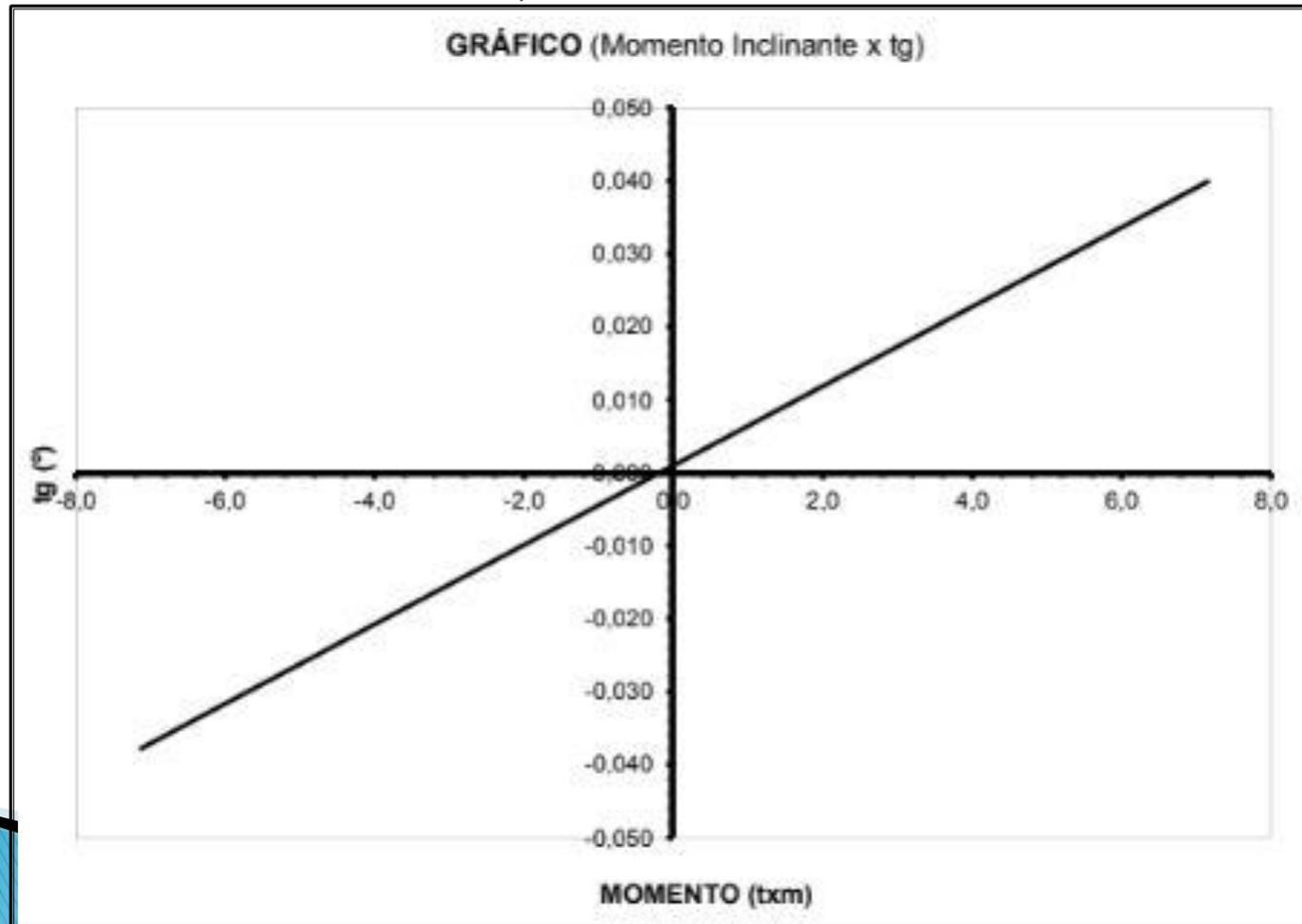


POSIÇÃO INICIAL		MOVIMENTO 1		MOVIMENTO 2	
BB	BE	BB	BE	BB	BE
B	A	B	A	C	A
C		C	B		B
	D		D		C
					D
MOVIMENTO 3		MOVIMENTO 4		MOVIMENTO 5	
BB	BE	BB	BE	BB	BE
	A		A	A	A
	B	B	B	B	B
C	C	C	C	C	C
	D		D		D
MOVIMENTO 6		MOVIMENTO 7		MOVIMENTO 8	
BB	BE	BB	BE	BB	BE
A		A		A	A
B		B		B	
C		C		C	
D	D	D	D		D

# Testes com Barco real - Alpha Delphini

Teste de inclinação estática - Altura metacêntrica (GM) e Centro de gravidade (KG)

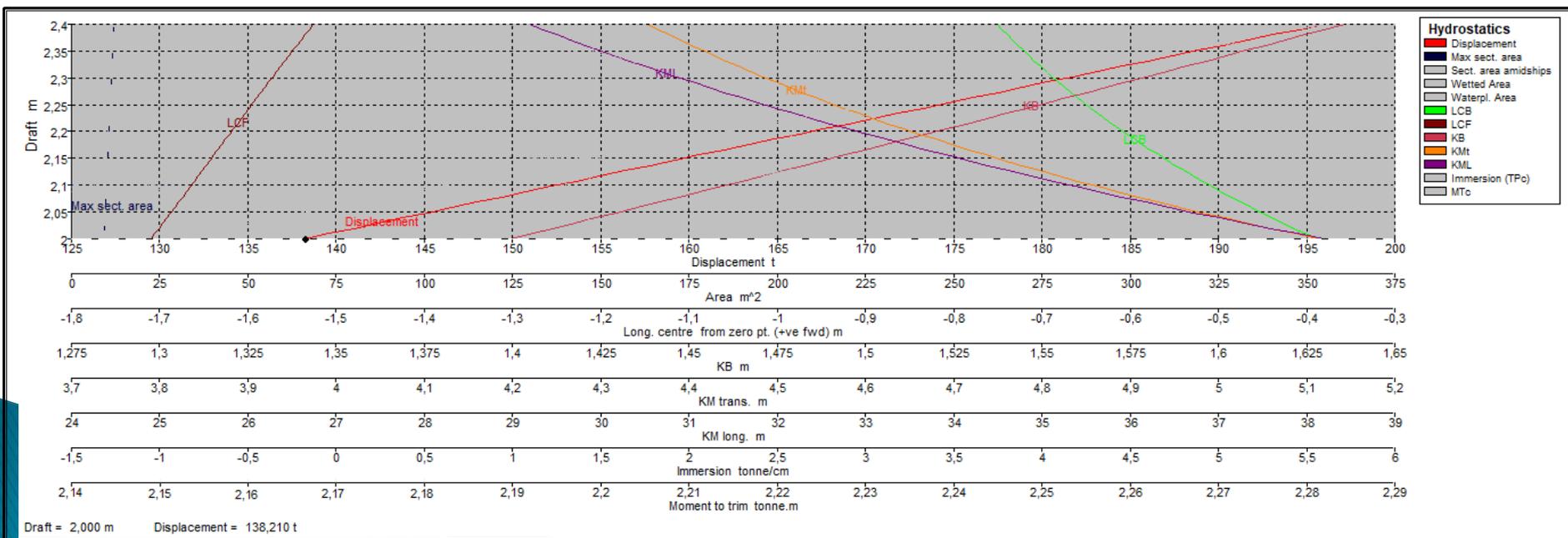
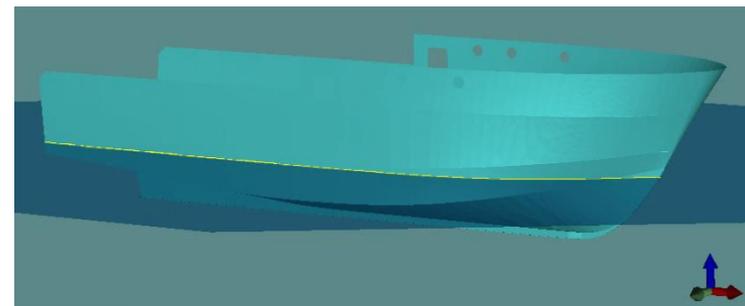
(Gráfico de  $\text{tg}(\theta)$  x momento de inclinação para o movimento de Roll):  
Pontos experimentais com linha de tendência.



# Testes com Barco real - Alpha Delphini

Teste de inclinação estática - Altura metacêntrica (GM) e Centro de gravidade (KG)

Obtenção do GMt e deslocamento da embarcação nas condições do ensaio via software de cálculo hidrostático.



# Testes com modelos

Teste de pull-out -> Medição da rigidez de ancoragem no plano horizontal

Point	Force (N)		Displacement (m)	
	load	unload	load	unload
1	2.91		0.178	
2	3.33		0.194	
3	3.76	2.91	0.218	0.181
4	4.18	4.18	0.241	0.248
5	5.41	5.41	0.329	0.316
6	6.68	6.68	0.401	0.401
	16.27	17.20	(N/m)	
Stiffness exp.	16.74		(N/m)	
Stiffness teo.	16.34		(N/m)	
Error	2.42		(%)	

