



# Calorimetria

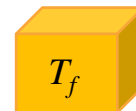
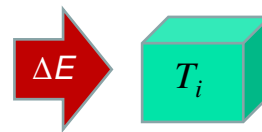
Aula síntese 2007  
Adriana Delgado e Tiago Fiorini

## Introdução

Em um sistema termicamente isolado de toda energia fornecida em forma de calor ( $\Delta E$ ) parte é convertida em energia interna, resultando em um aumento de temperatura ( $\Delta T$ ) do sistema.

$$\Delta E = C \times \Delta T$$

Onde  $C$  é uma constante que expressa a quantidade de energia que o sistema precisa para elevar a sua temperatura de  $1^\circ\text{C}$  (Capacidade térmica!).



$$C_{sist} = c_{\text{água}} \cdot m_{\text{água}} + C_{cal}$$

AD/TFS 2007

## Objetivos da experiência

- Aprender (desenvolver) a análise de resíduos;
- Procurar o intervalo de dados linear;
- Medir a capacidade térmica do sistema água + calorímetro;
- Medir o calor específico da água;

AD/TFS 2007

## Materiais

- Calorímetro + água;
- Termômetro;
- Cronômetro;
- Fonte de alimentação com controle de tensão e de corrente;

AD/TFS 2007

## Métodos


- Adicionar energia ao sistema água + calorímetro e monitorar a variação da temperatura da água em função do tempo;
- Energia térmica é adicionada num sistema (água + calorímetro) termicamente isolado (pelo calorímetro!) através da dissipação por efeito Joule em uma resistência.
- ATENÇÃO EM MANTER A POTÊNCIA DISSIPADA CONSTANTE!

AD/TFS 2007

## Relação funcional

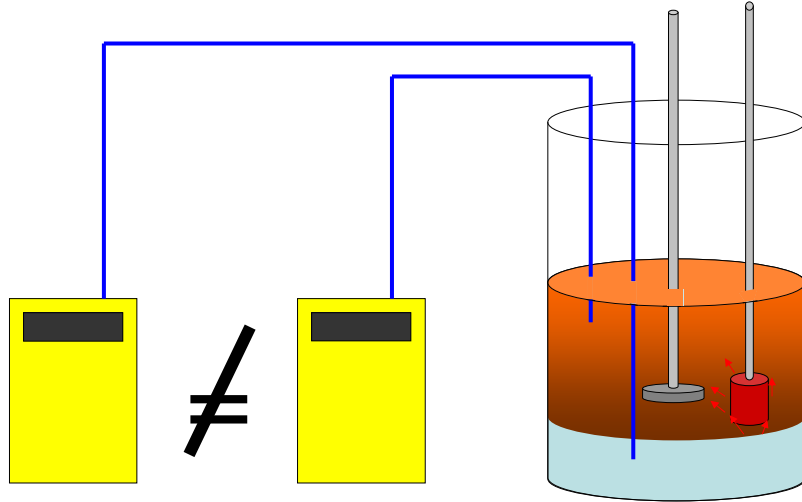
$$\left. \begin{array}{l} \Delta E = C \times \Delta T \\ \Delta E = P \times t \end{array} \right\} C \times \Delta T = P \times t$$

$$T = \frac{P}{C} \cdot t + T_0 \quad \text{RETA!!}$$

$y = a \cdot x + b$    $a = \frac{P}{C_{\text{Sistema}}} \Rightarrow C_{\text{Sistema}} = \frac{P}{a}$

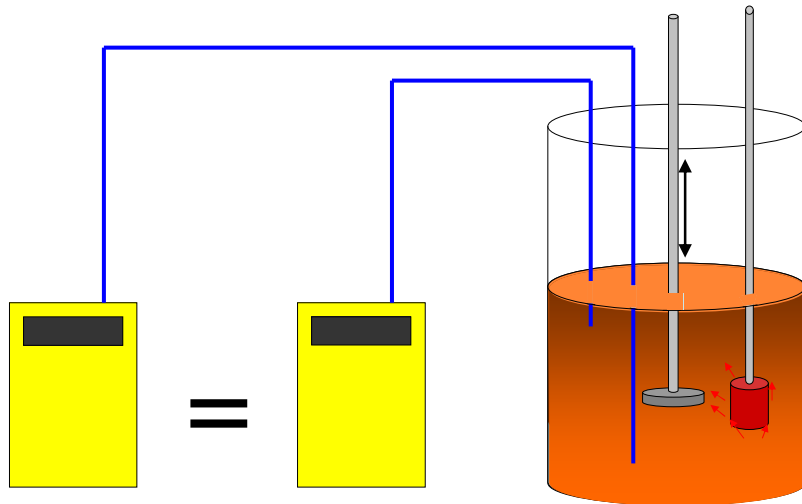
AD/TFS 2007

## Cuidados com a medida



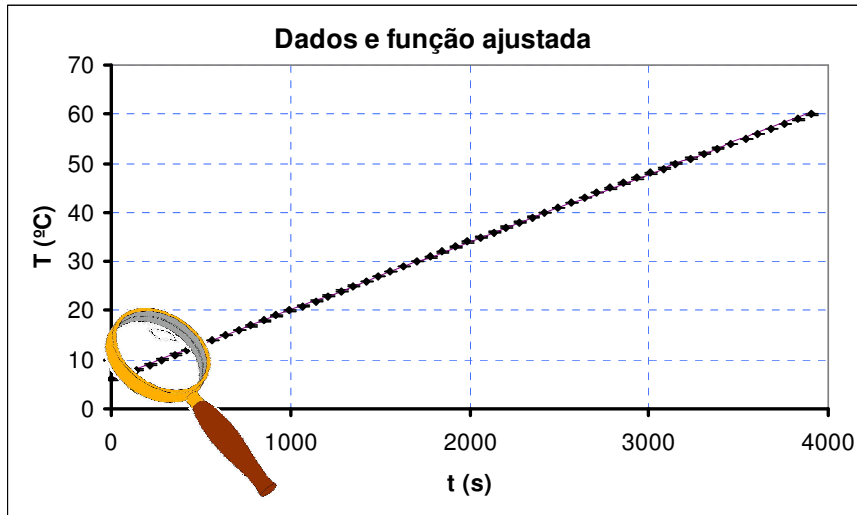
AD/TFS 2007

## Cuidados com a medida



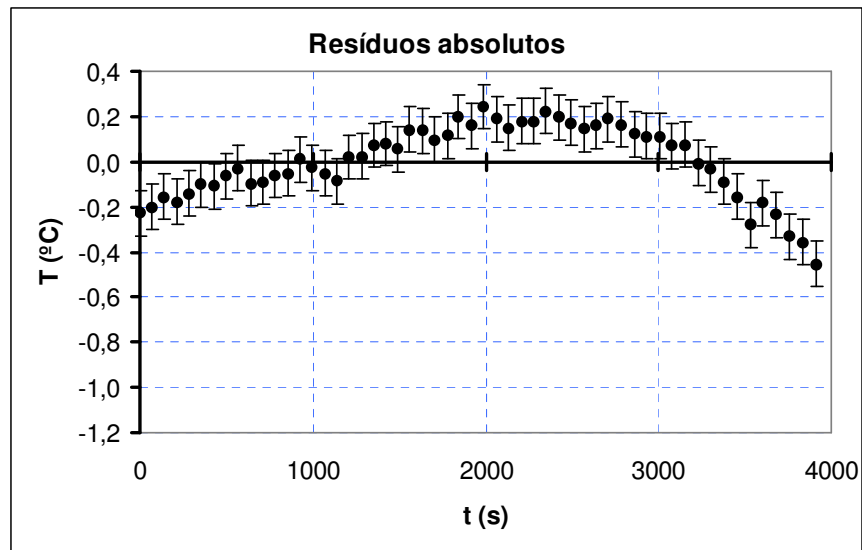
AD/TFS 2007

## Conjunto de dados



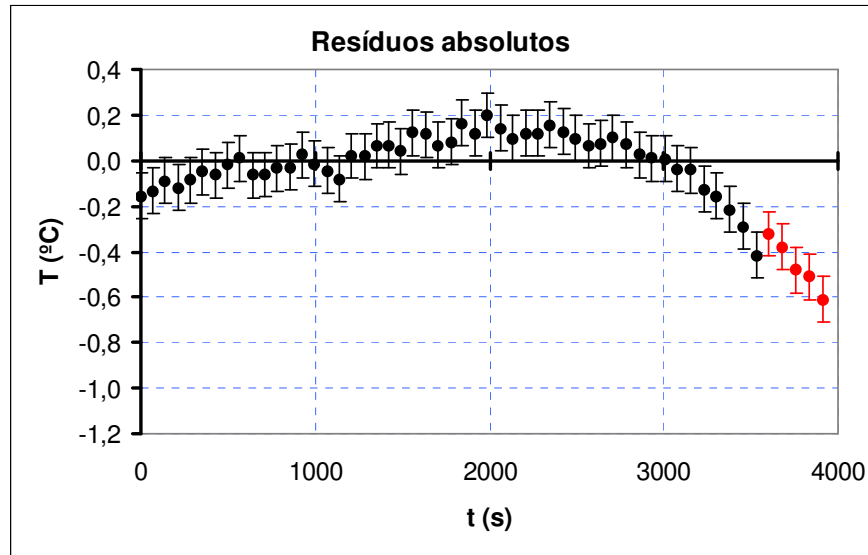
AD/TFS 2007

## Conjunto de dados



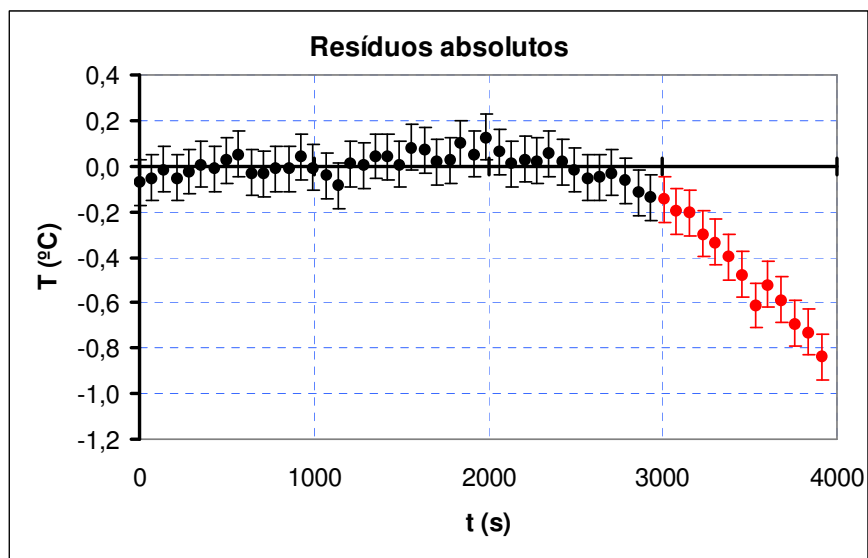
AD/TFS 2007

## Conjunto de datos



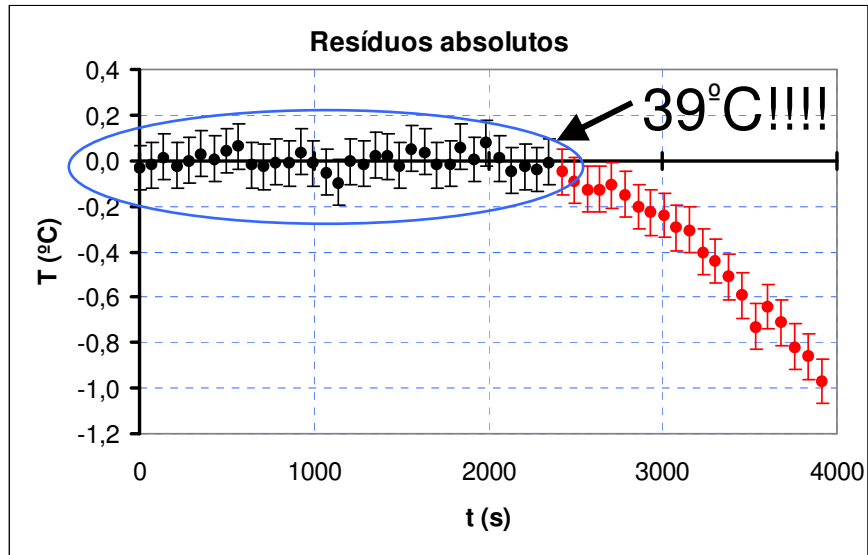
AD/TFS 2007

## Conjunto de datos



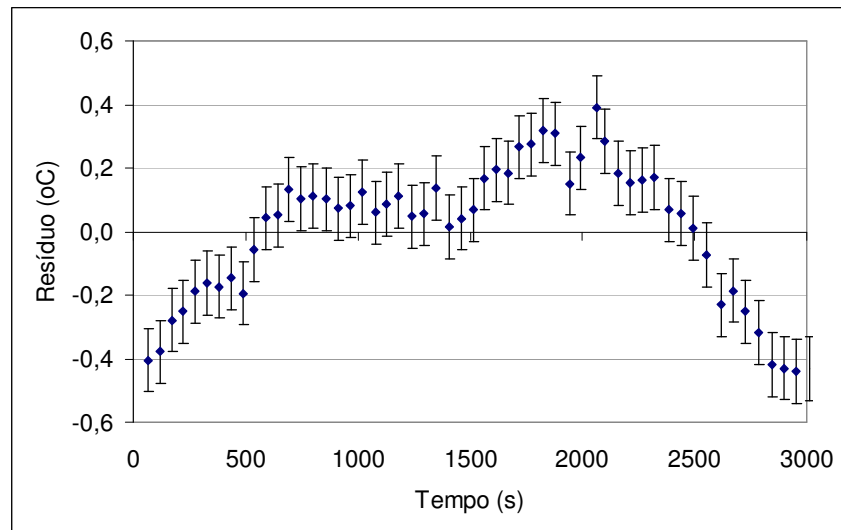
AD/TFS 2007

## Conjunto de dados



AD/TFS 2007

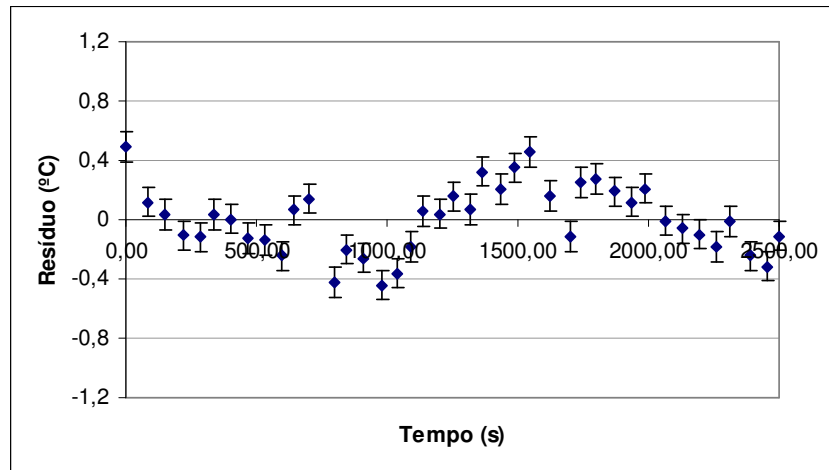
## Problema possível - #1



Falta de agitação!

AD/TFS 2007

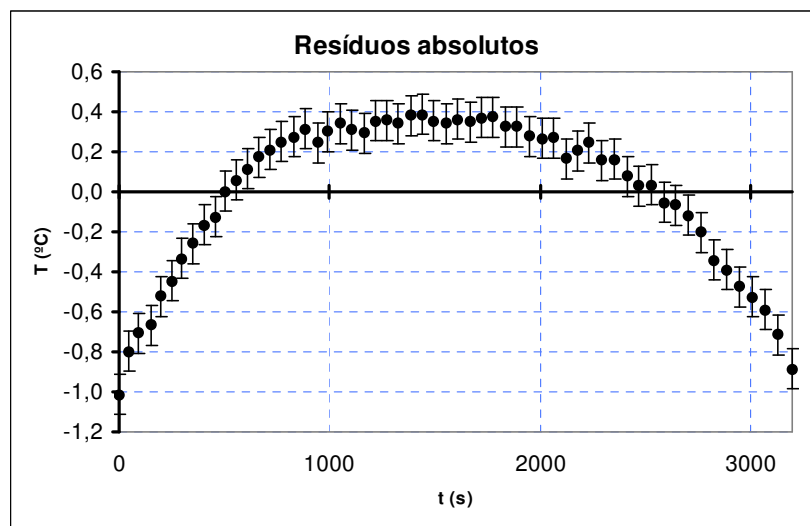
## Problema possível - #1



Falta de agitação!

AD/TFS 2007

## Problema possível - #2

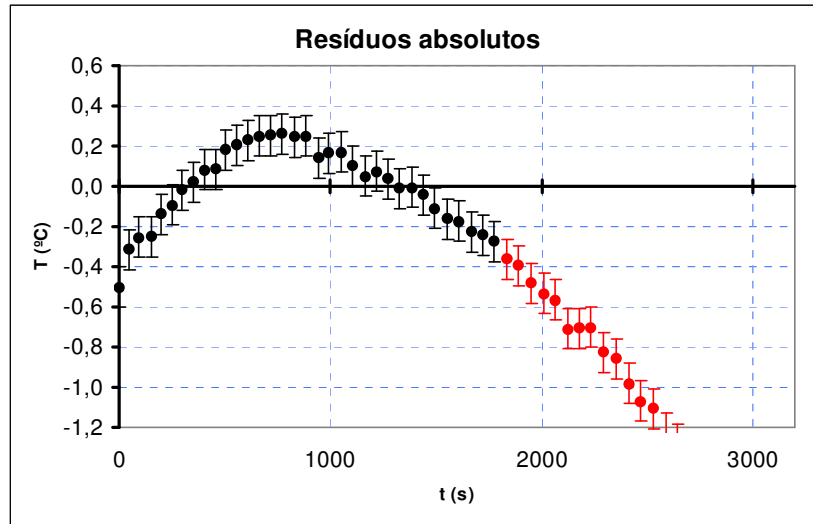


Falta de controle na potência ou perda de calor!

AD/TFS 2007



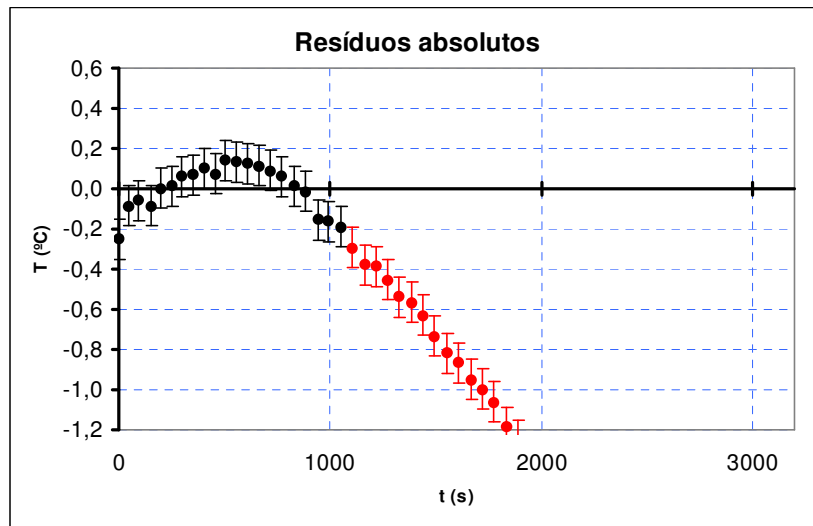
## Problema possível - #2



Falta de controle na potência ou perda de calor!

AD/TFS 2007

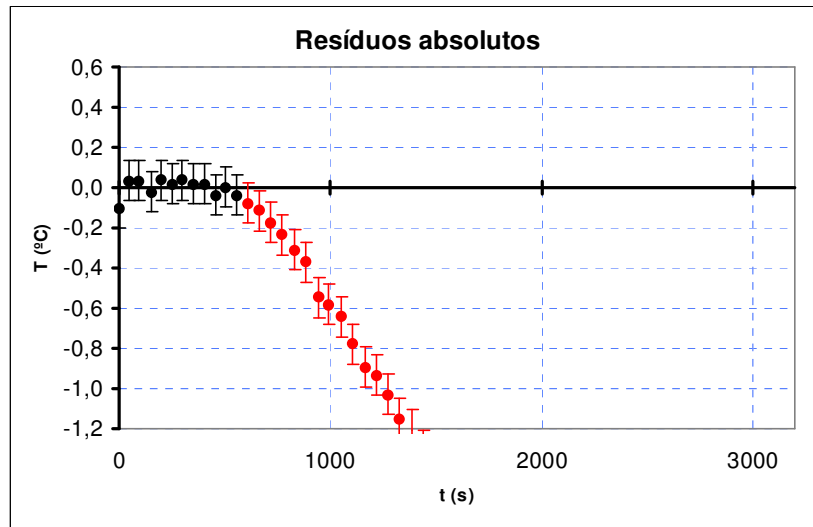
## Problema possível - #2



Falta de controle na potência ou perda de calor!

AD/TFS 2007

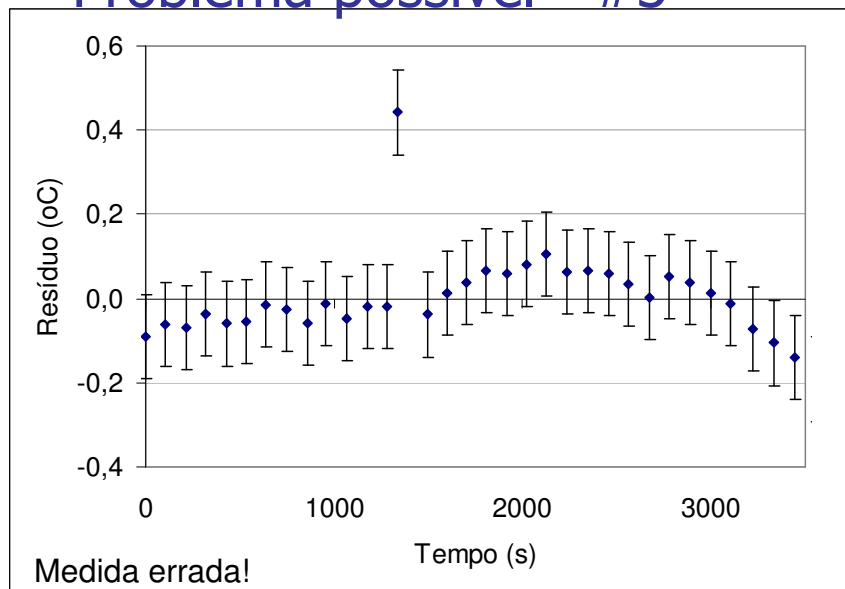
## Problema possível - #2



Falta de controle na potência ou perda de calor!

AD/TFS 2007

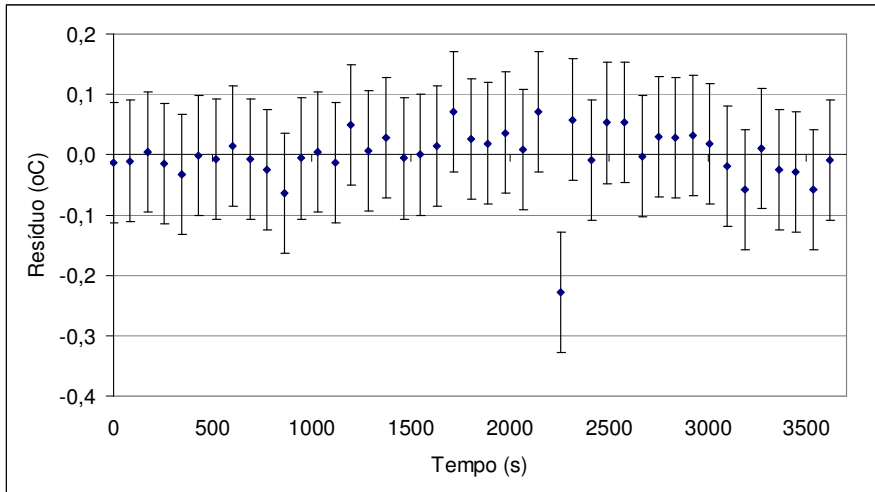
## Problema possível - #3



Medida errada!

AD/TFS 2007

## Problema possível - #3



Medida errada!

AD/TFS 2007

## Juntando os dados

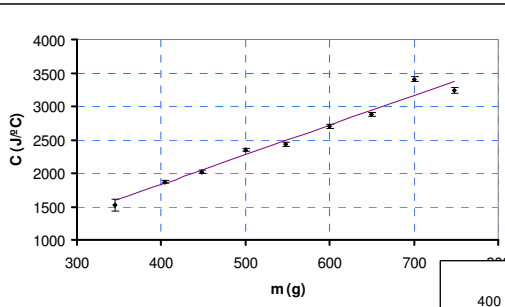
$$C_{\text{Sistema}} = \frac{P}{a}$$

Grupo	M	Sm	C	Sc
1	345,0	5,0	1527	92
2	404,25	0,25	1871	21
3	448,15	0,05	2020	21
4	499,8	1,3	2346	23
6	547,7	1,3	2432	27
8	599,45	0,55	2704	29
5	649,1	0,7	2875	29
9	700,2	1,3	3409	38
7	748	1	3240	41

$$C_{\text{sist}} = c_{\text{água}} \cdot m_{\text{água}} + C_{\text{cal}}$$

AD/TFS 2007

## Juntando os dados

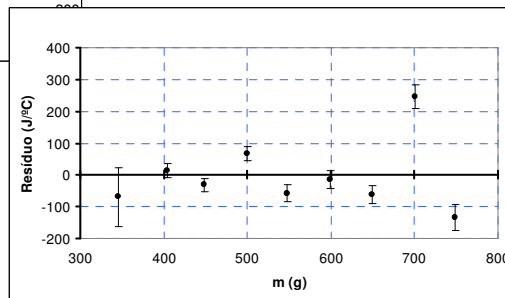


$$C_{sist} = c_{\acute{a}gua} \cdot m_{\acute{a}gua} + C_{cal}$$

$$Y_a(x) = a \cdot x + b$$

$a \pm sa =$	4,41	0,09
$b \pm sb =$	75,0	47,4

Não compatível com valor de referência (4,186)!



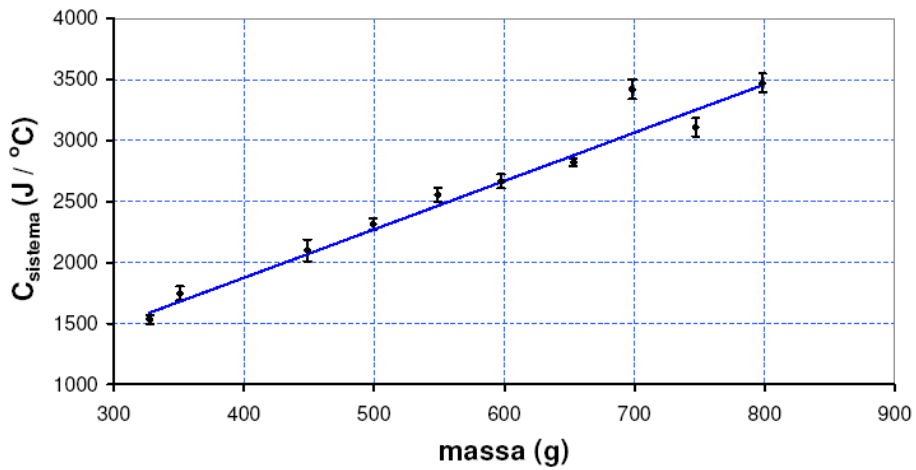
AD/TFS 2007

## Os calorímetros utilizados são iguais?

O que quer dizer **ser igual**?

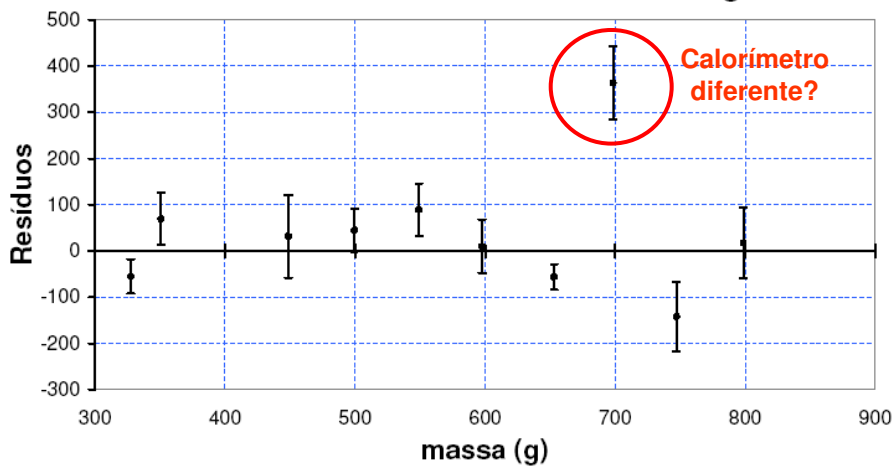
## Dados da turma 1

Capacidade térmica do sistema  
calorímetro + água



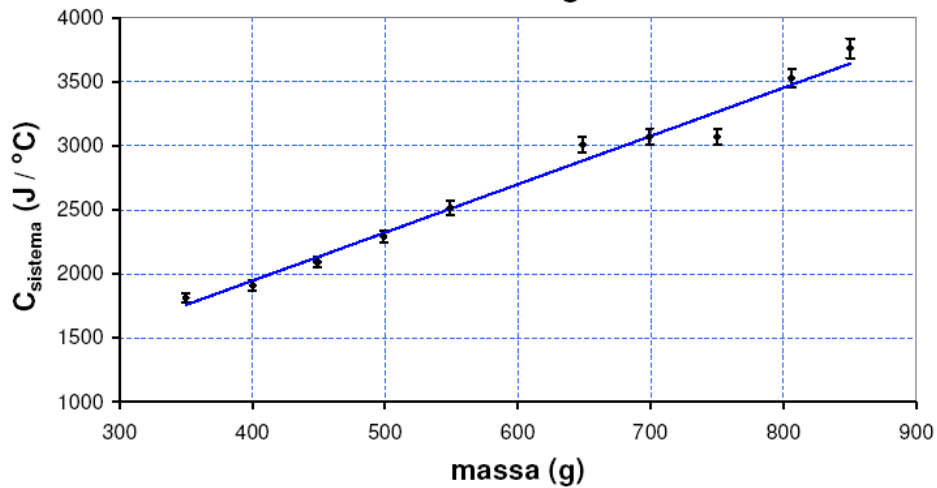
## Dados da turma 1

Resíduos absolutos dos dados de capacidade  
térmica do sistema calorímetro + água



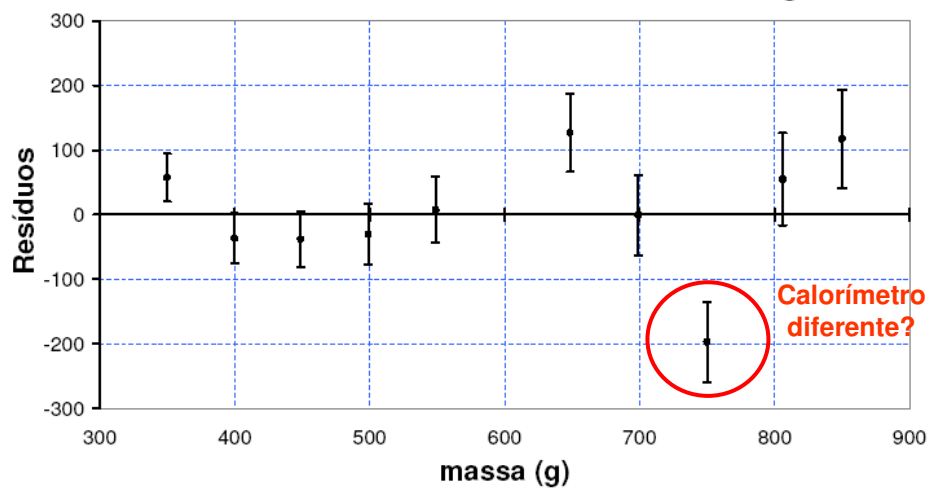
## Dados da turma 2

Capacidade térmica do sistema  
calorímetro + água



## Dados da turma 2

Resíduos absolutos dos dados de capacidade  
térmica do sistema calorímetro + água



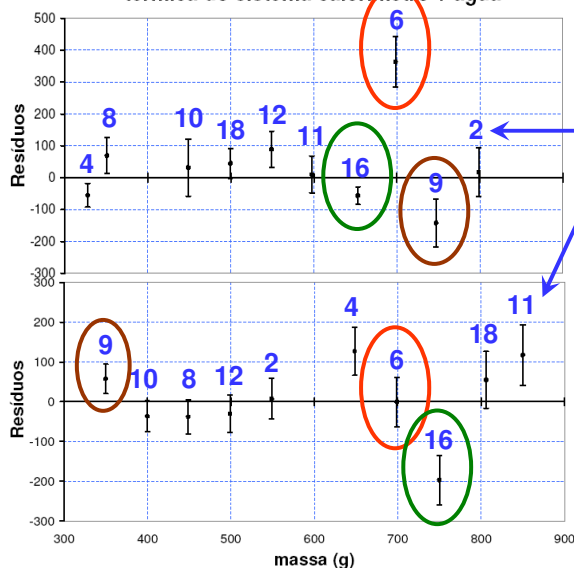
## Testando a hipótese...

- **Hipótese:** Existem alguns calorímetros com capacidade térmica diferentes dos demais.
- **Teste da hipótese:** Se existirem calorímetros diferentes, cada um deles deve originar valores de **capacidade térmica do sistema** que sistematicamente não se ajustam aos dados da sala, independentemente do medidor e da temperatura ambiente no momento da medida.

## Testando a hipótese...

Resíduos absolutos dos dados de capacidade térmica do sistema calorímetro + água

Turma 1  
Manhã



## Resultado

- **Não é possível** afirmar que existe algum calorímetro diferente dos demais, considerando apenas os dados das turmas 1 e 2.

## Testando a hipótese 2...

- **Hipótese 2:** Não existem calorímetros com capacidade térmica diferentes dos demais.
- **Teste da hipótese 2:** **Se não** existirem calorímetros diferentes, podemos ajustar os dados de **capacidade térmica** do sistemas obtidos nas **várias salas** e obter um **valor médio** de capacidade térmica dos calorímetros.
- Além disso, o modelo teórico diz que o **coeficiente angular da reta** ajustada deve ter o valor do **calor específico da água**.



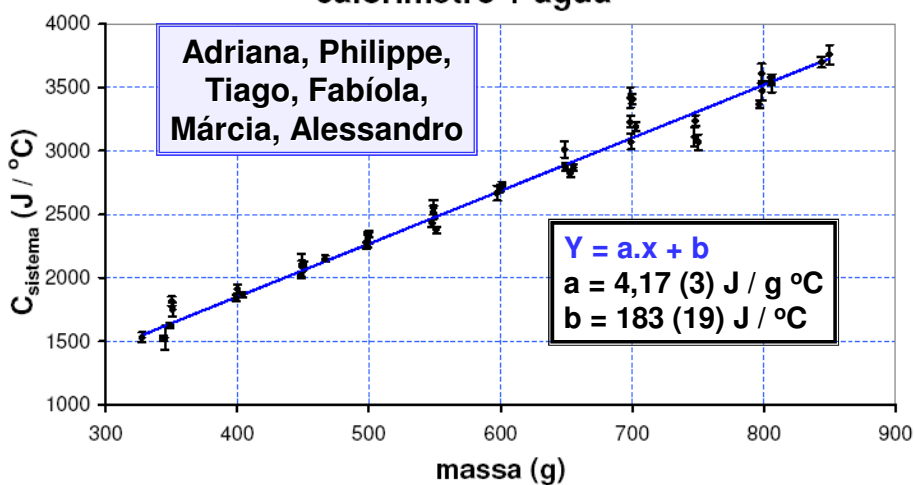
## Resultados em cada turma

Turma	$C_{\text{água}}$ (J / g °C)	$\sigma$ (%)	$C_{\text{cal}}$ (J / °C)	$\sigma$ (%)	horário
1	3,96(11)	2,7	291(61)	21	Manhã
2	3,77(10)	2,7	440(56)	13	Noite
3	4,41(9)	2,0	75(48)	63	Manhã
4	4,15(6)	1,3	162(30)	18	Noite
5	4,30(7)	1,6	128(38)	30	Manhã

$$C_{\text{sist}} = C_{\text{água}} \cdot m + C_{\text{cal}}$$

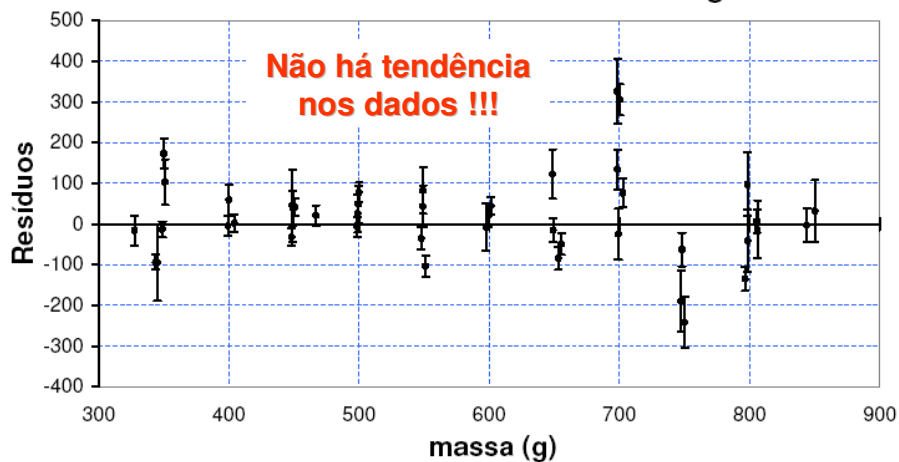
## Testando a hipótese 2: Ajuste dos dados de diferentes salas

Capacidade térmica do sistema  
calorímetro + água



## Testando a hipótese 2: Ajuste dos dados de diferentes salas

Resíduos absolutos dos dados de capacidade térmica do sistema calorímetro + água



## Resultados

- Com os dados obtidos não é possível distinguir nenhum calorímetro dos demais.
- É possível dizer que **dentro da precisão** do experimento e da **flutuação dos dados**, os **calorímetros são iguais** e possuem um valor de capacidade térmica média  **$C_{\text{médio}} = 183 (19) \text{ J} / ^\circ\text{C}$** .
- Obteve-se para o coeficiente angular  **$c = 4,17 (3) \text{ J} / \text{g } ^\circ\text{C}$** , que é **compatível** com o valor **de referência** do **calor específico da água**  **$c = 4,186 \text{ J} / \text{g } ^\circ\text{C}$** .

## E os dados que foram excluídos da análise?

Os dados estão **errados**?

Para “explicar” todos os pontos experimentais, temos que estabelecer um modelo mais elaborado.

- Capacidade térmica do calorímetro:

$$C(T) = C_0 + kT$$

- Quantidade de calor de um sistema água + calorímetro:

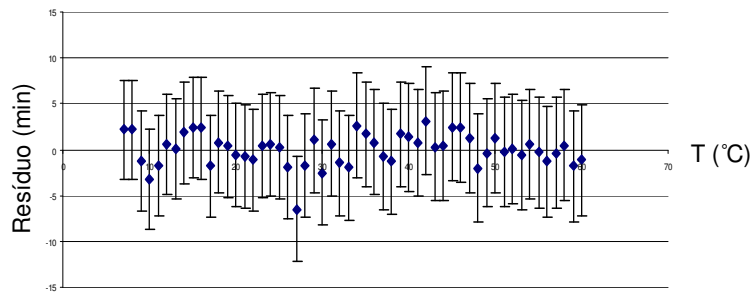
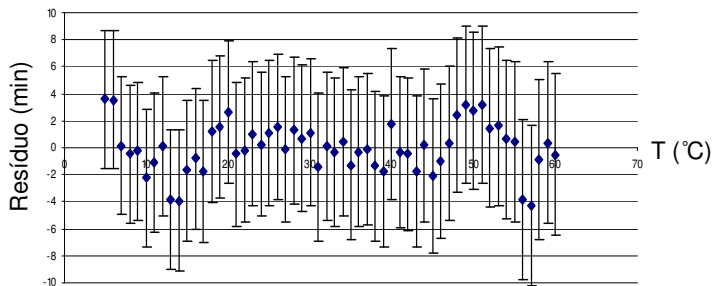
$$\Delta E = mc_{\text{água}}\Delta T + \int_{T_{\text{inicial}}}^T C(T)dT$$

Resolvendo a integral para  $t$ , temos:

$$t = \frac{k}{2P}T^2 + \frac{(mc_A + C_0)}{P}T - \frac{1}{P} \left( mc_A T_0 + C_0 T_0 + \frac{kT_0^2}{2} \right)$$

Que se assemelha a:

$$y = ax^2 + bx + c$$



**FIM**

Questões?