



## Experimento 4 – Relatório

versão 1s2019

### **INSTRUÇÕES**

Uma versão deste relatório deve ser entregue em formato pdf no Moodle e, a critério do professor, uma versão impressa deste relatório poderá também ser requerida na data programada. Não serão aceitos relatórios entregues com atraso.

Em no máximo uma página, descreva o seu experimento e sua análise. Você deve abordar os seguintes pontos:

1. *O que você investigou no experimento?*
2. *Como você realizou o experimento?*

Ao descrever o experimento, tenha em mente que o seu professor tem apenas uma idéia geral de como executou o experimento, mas desconhece os detalhes; assim, você precisa deixar o seu procedimento experimental claro para ele. Adicionalmente, discuta quais são as principais fontes de incerteza do experimento. Mencione as principais dificuldades encontradas e cuidados tomados na execução do experimento. Defina claramente os símbolos e variáveis relevantes.

3. *Quais os resultados principais do seu experimento?*

Foram feitas duas perguntas na apostila do experimento:

- Qual é a equação matemática que relaciona o diâmetro da cratera com a energia cinética da esfera no momento do impacto?
- Qual o mecanismo mais provável através do qual a energia da esfera é gasta ao impactar com a areia?

Quais são as suas respostas a essas perguntas? Descreva claramente como que os seus dados suportam as suas respostas.

4. *O que você pode concluir a partir do experimento?*



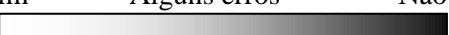


O resultado do experimento permite você responder as perguntas específicas completa e satisfatoriamente? O que poderia ser melhorado ou feito diferentemente no experimento de modo a responder as perguntas de maneira mais completa?

**ATENÇÃO:** A descrição do experimento não é para ser feita no formato de pergunta/resposta. Ela deve ser no formato de uma “redação”, ou seja, uma narrativa do experimento e da sua análise. As perguntas acima servem para orientar a organização dessa sua narrativa.

Inclua todas as demais informações pertinentes (desenvolvimento das contas; planilhas de incertezas; tabelas com os dados experimentais; gráficos; ilustração do aparato) nos anexos.

Inclua todas as páginas deste roteiro no seu relatório, incluindo esta.

## Rubrica de Avaliação – Experimento 4

		Pontos
Descrição do experimento	Excelente 5,0  0,0 Razoável Inadequada	
Os gráficos estão corretos?	Sim 2,0  0,0 Alguns erros Não	
O tratamento dos dados está correto, incluindo a análise do gráfico log-log para obtenção da Lei de Escala?	Sim 1,5  0,0 Alguns erros Não	
A tabelas estão formatadas corretamente?	Sim 0,5  0,0 Alguns erros Não	
Foram coletados dados suficientes e de boa qualidade?	Sim 1,0  0,0 Mais ou menos Não	
<b>TOTAL</b>		

## Declaração de Honestidade Acadêmica

Os autores deste relatório declaram conhecer o regulamento da UNICAMP (definido no Regimento Geral da UNICAMP, Título X, artigo 227, parágrafo VII) e da disciplina no que tange o recurso a meios fraudulentos com o propósito de lograr aprovação na disciplina. Em F129, a desonestidade acadêmica é considerada fraude. A desonestidade acadêmica inclui, dentre outros, a cola em provas e exame final, o plágio em relatórios, a falsificação e a fabricação de dados experimentais.

*Obs.: Cada membro do grupo deve assinar os campos abaixo atestando ciência dos termos da declaração de honestidade acadêmica*

Nome: Pedro Henrique Rodrigues de Araújo RA: 223382

Nome: Pedro Sader Azevedo RA: 243245

Nome: Guilherme Tezoli Bakaukas RA: 217332

Nome: Leonardo Almeida Reis RA: 239104

*Pedro Araújo*

*Pedro S.A.*

*Guilherme Tezoli*

*Leonardo Reis*

## Descrição do experimento

Insira a descrição do seu experimento abaixo.

O objetivo do experimento descrito a seguir foi avaliar a lei matemática que relaciona a energia cinética ( $E$ ) de uma esfera em queda livre com o diâmetro ( $D$ ) da cratera feita pela mesma numa superfície arenosa. Mais especificamente, procurou-se determinar o mecanismo mais provável de transformação de energia: deformação da superfície ou ejeção de material.

Sabemos que, se a energia for empregada primariamente no primeiro mecanismo, o diâmetro da cratera será proporcional à raiz cúbica da energia ( $D \propto E^{1/3}$ ). No entanto, se a energia for empregada primariamente no segundo mecanismo, o diâmetro da cratera será proporcional à raiz quarta da energia ( $D \propto E^{1/4}$ ). Portanto, basta descobrir experimentalmente qual das curvas melhor acomoda o diâmetro das crateras formadas. Com esse fim, realizamos o procedimento abaixo:

Uma esfera de aço foi lançada a uma caixa de plástico preenchida com areia, cinco vezes em cada altura escolhida. Nos primeiros lançamentos (40 cm, 50 cm, 60 cm, 70 cm, 80 cm, 90 cm) a caixa foi colocada em cima de uma mesa e a altura foi medida utilizando um suporte vertical com régua metálica acoplada - um dos guias de medida foi alinhado ao nível da areia e o outro foi posicionado (em relação ao primeiro) na altura escolhida. Acoplou-se uma régua ao guia de medida superior a fim de diminuir a incerteza associada ao alinhamento com o centro da esfera. Nos lançamentos seguintes (100 cm, 120 cm, 140 cm, 160 cm), a caixa foi colocada no chão e altura foi medida como a soma da altura da mesa com a medida da régua metálica (vide Anexo V). Em ambos os casos, a cada lançamento, o diâmetro das crateras foi medido com um paquímetro e a areia foi nivelada tomando cuidado para não compactá-la.

O nivelamento da areia foi uma das maiores fontes de incerteza para a determinação da altura de lançamento. Além disso, a heterogeneidade da superfície foi uma fonte de variações nos diâmetros das crateras de impacto, pois grãos finos produziram crateras menores enquanto grãos grandes produziram crateras maiores.

Ao fazer o gráfico dos dados coletados em escala logarítmica (vide Anexo IV) foi obtida uma reta, o que sugere que a relação entre o diâmetro e a energia é modelada por uma Lei de Potência do tipo  $D = CE^n$ . Calculamos o valor de  $C$  como 98mm e o valor de  $n$  como 0,353, resultando na equação  $D = 98 \times E^{0.352}$ . O resultado de  $n$  é especialmente relevante, pois permite concluir qual o principal mecanismo em que energia cinética é gasta. Como 0,353 se aproxima mais de  $1/3$  (associado à deformação da superfície) do que de  $1/4$  (associado à ejeção de material), é mais provável que a energia cinética da esfera seja utilizada na deformação da superfície.

Para investigar mais satisfatoriamente o principal mecanismo de gasto de energia seria necessário estudar mais a fundo a influência da superfície de impacto nos diâmetros das crateras. Como mencionado anteriormente, o tamanho dos grãos do solo influenciou os resultados visivelmente. No entanto, o tamanho dos grãos do solo foi mantido constante em todos os lançamentos desse experimento, portanto as conclusões aqui descritas mantêm sua validade.

## ANEXO I: Desenvolvimento das contas

---

Explicita aqui as contas referentes ao tratamento dos dados coletados (médias, incertezas, Lei de Escala). No caso das médias e incertezas, basta explicitar o caso de uma única altura de lançamento da esfera. Pode ser preenchido à mão.

### Cálculo de Incertezas da Altura (h)

- Leitura da régua metálica:  $a=2$  mm  
 $\text{Incerteza} = 2.0/2\sqrt{6}$   
 $\text{Incerteza} \approx 0.408$  mm
- Efeito paralaxe na leitura da régua:  $a=2$  mm  
 $\text{Incerteza} = 2.0/2\sqrt{3}$   
 $\text{Incerteza} \approx 0.577$  mm
- Posicionamento do centro da esfera:  $a=4$  mm  
 $\text{Incerteza} = 4.0/2\sqrt{6}$   
 $\text{Incerteza} \approx 1.154$  mm
- Nivelamento da areia:  $a=8$  mm  
 $\text{Incerteza} = 8.0/2\sqrt{6}$   
 $\text{Incerteza} \approx 1.633$  mm
- Incerteza-padrão combinada:  
 $\text{Incerteza combinada} = \sqrt{((0.408)^2 + (0.577)^2 + (1.154)^2 + (1.633)^2)}$   
 $\text{Incerteza combinada} = \sqrt{(0.166 + 0.333 + 1.332 + 2.666)}$   
 $\text{Incerteza combinada} \approx 2.121$  mm  $\rightarrow$  um único algarismo significativo  $\rightarrow 2$  mm

### Avaliação de Incertezas Tipo B do Diâmetro (D)

- Leitura do paquímetro:  $a=2$  mm  
 $\text{Incerteza} = 2.0/2\sqrt{6}$   
 $\text{Incerteza} \approx 0.4082$  mm
- Determinação das bordas da cratera:  $a=6$  mm  
 $\text{Incerteza} = 6.0/2\sqrt{6}$   
 $\text{Incerteza} \approx 1.225$  mm

### Avaliação de Incertezas Tipo A do Diâmetro (D)

- Em  $h=400$  mm  
 $\text{Média} = (47.0 + 48.0 + 49.0 + 51.0 + 50.0)/5$   
 $\text{Média} = 49.0$  mm  
 $\text{Desvio-padrão} = \sqrt{((-2.0)^2 + (-1.0)^2 + (0.0)^2 + (2.0)^2 + (1.0)^2)}/4$   
 $\text{Desvio-padrão} = \sqrt{(4.0 + 1.0 + 0.0 + 4.0 + 1.0)}/4$   
 $\text{Desvio-padrão} = 1.5811388300841898$  mm  
 $\text{Incerteza-padrão} = 1.581139/\sqrt{5}$   
 $\text{Incerteza-padrão} \approx 0.707$  mm
- Em  $h=500$  mm  
 $\text{Média} = (59.0 + 59.0 + 58.0 + 60.0 + 60.0)/5$   
 $\text{Média} = 59.2$  mm  
  
 $\text{Desvio-padrão} = \sqrt{((-0.200)^2 + (-0.200)^2 + (-1.200)^2 + (0.800)^2 + (0.800)^2)}/4$   
 $\text{Desvio-padrão} = \sqrt{(0.040 + 0.040 + 1.440 + 0.640 + 0.640)}/4$   
 $\text{Desvio-padrão} = 0.834$  mm  
 $\text{Incerteza-padrão} = 0.834/\sqrt{5}$   
 $\text{Incerteza-padrão} = 0.374$  mm
- Em  $h=600$  mm

- Média =  $(62.0 + 63.0 + 61.0 + 60.0 + 63.0)/5$   
Média = 61.8 mm  
Desvio-padrão =  $\sqrt{[(0.200)^2 + (1.200)^2 + (-0.800)^2 + (-1.800)^2 + (1.200)^2]/4}$   
Desvio-padrão =  $\sqrt{(0.040 + 1.440 + 0.640 + 3.240 + 1.440)/4}$   
Desvio-padrão = 1.304 mm  
Incerteza-padrão =  $1.304/\sqrt{5}$   
Incerteza-padrão = 0.583 mm
- Em h=700 mm  
Média =  $(66.0 + 66.0 + 64.0 + 64.0 + 67.0)/5$   
Média = 65.4 mm  
Desvio-padrão =  $\sqrt{[(0.600)^2 + (0.600)^2 + (-1.400)^2 + (-1.400)^2 + (1.600)^2]/4}$   
Desvio-padrão =  $\sqrt{(0.360 + 0.360 + 1.960 + 1.960 + 2.560)/4}$   
Desvio-padrão = 1.342 mm  
Incerteza-padrão =  $1.342/\sqrt{5}$   
Incerteza-padrão = 0.600 mm
  - Em h=800 mm  
Média =  $(66.0 + 66.0 + 69.0 + 69.0 + 68.0)/5$   
Média = 67.6 mm  
Desvio-padrão =  $\sqrt{[(-1.600)^2 + (-1.600)^2 + (1.400)^2 + (1.400)^2 + (0.400)^2]/4}$   
Desvio-padrão =  $\sqrt{(2.560 + 2.560 + 1.960 + 1.960 + 0.160)/4}$   
Desvio-padrão = 1.517 mm  
Incerteza-padrão =  $1.517/\sqrt{5}$   
Incerteza-padrão = 0.678 mm
  - Em h=900 mm  
Média =  $(72.0 + 71.0 + 70.0 + 71.0 + 73.0)/5$   
Média = 71.4 mm  
Desvio-padrão =  $\sqrt{[(0.600)^2 + (-0.400)^2 + (-1.400)^2 + (-0.400)^2 + (1.600)^2]/4}$   
Desvio-padrão =  $\sqrt{(0.360 + 0.160 + 1.960 + 0.160 + 2.560)/4}$   
Desvio-padrão = 1.140 mm  
Incerteza-padrão =  $1.140/\sqrt{5}$   
Incerteza-padrão = 0.510 mm
  - Em h=1000 mm  
Média =  $(71.0 + 69.0 + 71.0 + 73.0 + 71.0)/5$   
Média = 71.0 mm  
Desvio-padrão =  $\sqrt{[(0.0)^2 + (-2.0)^2 + (0.0)^2 + (2.0)^2 + (0.0)^2]/4}$   
Desvio-padrão =  $\sqrt{(0.0 + 4.0 + 0.0 + 4.0 + 0.0)/4}$   
Desvio-padrão = 1.414 mm  
Incerteza-padrão =  $1.414/\sqrt{5}$   
Incerteza-padrão = 0.632 mm
  - Em h=1200 mm  
Média =  $(70.0 + 70.0 + 72.0 + 70.0 + 73.0)/5$   
Média = 71.0 mm  
Desvio-padrão =  $\sqrt{[(-1.0)^2 + (-1.0)^2 + (1.0)^2 + (-1.0)^2 + (2.0)^2]/4}$   
Desvio-padrão =  $\sqrt{(1.0 + 1.0 + 1.0 + 1.0 + 4.0)/4}$   
Desvio-padrão = 1.414 mm  
Incerteza-padrão =  $1.414/\sqrt{5}$   
Incerteza-padrão = 0.632 mm
  - Em h=1400 mm  
Média =  $(79.0 + 77.0 + 76.0 + 78.0 + 78.0)/5$   
Média = 77.6 mm  
Desvio-padrão =  $\sqrt{[(1.400)^2 + (-0.600)^2 + (-1.600)^2 + (0.400)^2 + (0.400)^2]/4}$   
Desvio-padrão =  $\sqrt{(1.960 + 0.360 + 2.560 + 0.160 + 0.160)/4}$   
Desvio-padrão = 1.140 mm  
Incerteza-padrão =  $1.140/\sqrt{5}$

- Incerteza-padrão = 0.510 mm  
 • Em h=1600 mm  
 Média =  $(79.0 + 78.0 + 78.0 + 78.0 + 79.0)/5$   
 Média = 78.4 mm  
 Desvio-padrão =  $\sqrt{((0.600)^2 + (-0.400)^2 + (-0.400)^2 + (-0.400)^2 + (0.600)^2)/4}$   
 Desvio-padrão =  $\sqrt{(0.360 + 0.160 + 0.160 + 0.160 + 0.360)/4}$   
 Desvio-padrão = 0.548 mm  
 Incerteza-padrão =  $0.548/\sqrt{5}$   
 Incerteza-padrão = 0.245 mm

#### **Avaliação de Incertezas Padrão Combinadas do Diâmetro (D)**

- Em h=400 mm  
 Incerteza combinada =  $\sqrt{((0.408)^2 + (1.225)^2 + (0.707)^2)}$   
 Incerteza combinada =  $\sqrt{(0.166 + 1.501 + 0.500)}$   
 Incerteza combinada  $\approx 1.472$  mm → um único algarismo significativo → 1 mm
- Em h=500 mm  
 Incerteza combinada =  $\sqrt{((0.408)^2 + (1.225)^2 + (0.374)^2)}$   
 Incerteza combinada =  $\sqrt{(0.166 + 1.501 + 0.139)}$   
 Incerteza combinada  $\approx 1.344$  mm → um único algarismo significativo → 1 mm
- Em h=600 mm  
 Incerteza Combinada =  $\sqrt{((0.408)^2 + (1.225)^2 + (0.583)^2)}$   
 Incerteza Combinada =  $\sqrt{(0.166 + 1.500 + 0.339)}$   
 Incerteza Combinada = 1.416 mm → um único algarismo significativo → 1 mm
- Em h=700 mm  
 Incerteza Combinada =  $\sqrt{((0.408)^2 + (1.225)^2 + (0.6)^2)}$   
 Incerteza Combinada =  $\sqrt{(0.166 + 1.50 + 0.36)}$   
 Incerteza Combinada = 1.423 mm → um único algarismo significativo → 1 mm
- Em h=800 mm  
 Incerteza Combinada =  $\sqrt{((0.408)^2 + (1.225)^2 + (0.678)^2)}$   
 Incerteza Combinada =  $\sqrt{(0.166 + 1.50 + 0.459)}$   
 Incerteza Combinada = 1.458 mm → um único algarismo significativo → 1 mm
- Em h=900 mm  
 Incerteza Combinada =  $\sqrt{((0.408)^2 + (1.225)^2 + (0.51)^2)}$   
 Incerteza Combinada =  $\sqrt{(0.166 + 1.500 + 0.260)}$   
 Incerteza Combinada = 1.388 mm → um único algarismo significativo → 1 mm
- Em h=1000 mm  
 Incerteza Combinada =  $\sqrt{((0.408)^2 + (1.225)^2 + (0.632)^2)}$   
 Incerteza Combinada =  $\sqrt{(0.166 + 1.500 + 0.399424)}$   
 Incerteza Combinada = 1.437 mm → um único algarismo significativo → 1 mm
- Em h=1200 mm  
 Incerteza Combinada =  $\sqrt{((0.408)^2 + (1.225)^2 + (0.632)^2)}$   
 Incerteza Combinada =  $\sqrt{(0.166 + 1.500 + 0.399424)}$   
 Incerteza Combinada = 1.437 mm → um único algarismo significativo → 1 mm
- Em h=1400 mm  
 Incerteza Combinada =  $\sqrt{((0.408)^2 + (1.225)^2 + (0.51)^2)}$   
 Incerteza Combinada =  $\sqrt{(0.166 + 1.500 + 0.2601)}$   
 Incerteza Combinada = 1.388 mm → um único algarismo significativo → 1 mm
- Em h=1600 mm  
 Incerteza Combinada =  $\sqrt{((0.408)^2 + (1.225)^2 + (0.245)^2)}$   
 Incerteza Combinada =  $\sqrt{(0.166 + 1.500 + 0.060)}$   
 Incerteza Combinada = 1.314 mm → um único algarismo significativo → 1 mm

**Observação:** decidimos colocar as incertezas combinadas de cada altura a fim de facilitar o acesso aos dados para fazer os gráficos.

### **Cálculo de Energias Cinéticas**

Pela fórmula de Torricelli:  $v = \sqrt{v_0^2 + 2gh} \rightarrow v = \sqrt{0 + 2 * 9,8 * h} \rightarrow v = \sqrt{19,6 * h}$

- Em  $h = 0,4\text{m}$  :  $v = \sqrt{19,6 * 0,4} = 2,80 \rightarrow E = 0,0439 * (2,80)^2 / 2 \rightarrow E = 0,172 \text{ J}$
- Em  $h = 0,5\text{m}$  :  $v = \sqrt{19,6 * 0,5} = 3,13 \rightarrow E = 0,0439 * (3,13)^2 / 2 \rightarrow E = 0,215 \text{ J}$
- Em  $h = 0,6\text{m}$  :  $v = \sqrt{19,6 * 0,6} = 3,43 \rightarrow E = 0,0439 * (3,43)^2 / 2 \rightarrow E = 0,258 \text{ J}$
- Em  $h = 0,7\text{m}$  :  $v = \sqrt{19,6 * 0,7} = 3,70 \rightarrow E = 0,0439 * (3,70)^2 / 2 \rightarrow E = 0,301 \text{ J}$
- Em  $h = 0,8\text{m}$  :  $v = \sqrt{19,6 * 0,8} = 3,96 \rightarrow E = 0,0439 * (3,96)^2 / 2 \rightarrow E = 0,344 \text{ J}$
- Em  $h = 0,9\text{m}$  :  $v = \sqrt{19,6 * 0,9} = 4,20 \rightarrow E = 0,0439 * (4,20)^2 / 2 \rightarrow E = 0,387 \text{ J}$
- Em  $h = 1,0\text{m}$  :  $v = \sqrt{19,6 * 1,0} = 4,43 \rightarrow E = 0,0439 * (4,43)^2 / 2 \rightarrow E = 0,430 \text{ J}$
- Em  $h = 1,2\text{m}$  :  $v = \sqrt{19,6 * 1,2} = 4,85 \rightarrow E = 0,0439 * (4,85)^2 / 2 \rightarrow E = 0,516 \text{ J}$
- Em  $h = 1,4\text{m}$  :  $v = \sqrt{19,6 * 1,4} = 5,24 \rightarrow E = 0,0439 * (5,24)^2 / 2 \rightarrow E = 0,602 \text{ J}$
- Em  $h = 1,6\text{m}$  :  $v = \sqrt{19,6 * 1,6} = 5,60 \rightarrow E = 0,0439 * (5,60)^2 / 2 \rightarrow E = 0,688 \text{ J}$

### **Coefficiente Angular do gráfico log-log (através de medições no gráfico com a régua)**

$$n = 2,5\text{cm} / 7,1\text{cm} = 0,352$$

Comparação com os expoentes característicos:

$$0,352 - 1/3 \approx 0,019$$

$$0,352 - 1/4 = 0,098$$

### **Coefficiente Linear do gráfico log-log (onde a reta cruza o eixo x=1):**

$$C = 98\text{mm}$$

## ANEXO II: Planilha de incertezas

Complete as planilhas de incertezas abaixo para uma das medições realizadas. Preencha para cada uma um título apropriado.

*Determinação da altura  $h$  de lançamento da esfera.*

Tabela 1 - Tabela de Incertezas da Medida de Altura de Lançamento ( $h$ )

Componente de incerteza	Símbolo	Incerteza-padrão	f.d.p.	Tipo de avaliação
Leitura da régua metálica	$u_{régua}$	0,408 mm	Triangular	B
Efeito de paralaxe na leitura da régua	$u_{paralaxe}$	0,577 mm	Retangular	B
Posicionamento do centro da esfera*	$u_{centro}$	1,154 mm	Retangular	B
Nivelamento da areia**	$u_{areia}$	1,633 mm	Triangular	B
Incerteza-padrão combinada: $u_c(h) = 2,121$ mm				

\*A cada novo lançamento, para uma mesma altura  $h$ , a esfera é segurada em posição (em relação ao guia de medição da régua) ligeiramente diferente, introduzindo uma incerteza adicional à medição. Estime esta incerteza.

\*\*Entre lançamentos, a areia é nivelada com a espátula e a caixa chacoalhada. O nivelamento produzido geralmente é irregular, introduzindo uma incerteza na altura  $h$ , já que esta é medida em relação ao nível da areia na caixa. Estime esta incerteza.

*Determinação do diâmetro  $D$  da cratera.*

Tabela 2 - Tabela de Incertezas da Medida do Diâmetro das Crateras ( $D$ )

Componente de incerteza	Símbolo	Incerteza-padrão	f.d.p.	Tipo de avaliação
Leitura do paquímetro	$u_{paquímetro}$	0,408 mm	Triangular	B
Determinação das bordas da cratera	$u_{bordas}$	1,225 mm	Triangular	B
Medições repetidas (____ vezes)	$u_{cratera}$	Vide Anexo I	Gaussiana	A
Incerteza-padrão combinada: $u_c(D) =$ Vide Anexo I				

Obs.: “Tipo de avaliação” refere-se a uma avaliação do Tipo A ou do Tipo B e f.d.p. é a função de densidade de probabilidade usada para avaliar a incerteza.



### ANEXO III: Dados experimentais

---

Construa aqui uma tabela com 3 colunas: diâmetro da cratera, altura de lançamento e energia da esfera usando os dados coletados já analisados, ou seja, com os valores médios e incertezas (exceto para a energia da esfera). Pode ser preenchido à mão.

Diâmetro da cratera (D)	Altura de lançamento (h)	Energia cinética (E)
$49 \pm 1$ mm	$400 \pm 2$ mm	0,172 J
$59 \pm 1$ mm	$500 \pm 2$ mm	0,215 J
$62 \pm 1$ mm	$600 \pm 2$ mm	0,258 J
$65 \pm 1$ mm	$700 \pm 2$ mm	0,301 J
$68 \pm 1$ mm	$800 \pm 2$ mm	0,344 J
$71 \pm 1$ mm	$900 \pm 2$ mm	0,387 J
$71 \pm 1$ mm	$1000 \pm 2$ mm	0,430 J
$71 \pm 1$ mm	$1200 \pm 2$ mm	0,516 J
$78 \pm 1$ mm	$1400 \pm 2$ mm	0,602 J
$78 \pm 1$ mm	$1600 \pm 2$ mm	0,688 J

## ANEXO IV: Gráficos

Anexe os gráficos em papel milimetrado e log-log de diâmetro da cratera em função da energia da esfera no momento do impacto com a areia. *Os gráficos devem ser confeccionados à mão. O uso de software gráfico não é permitido.*

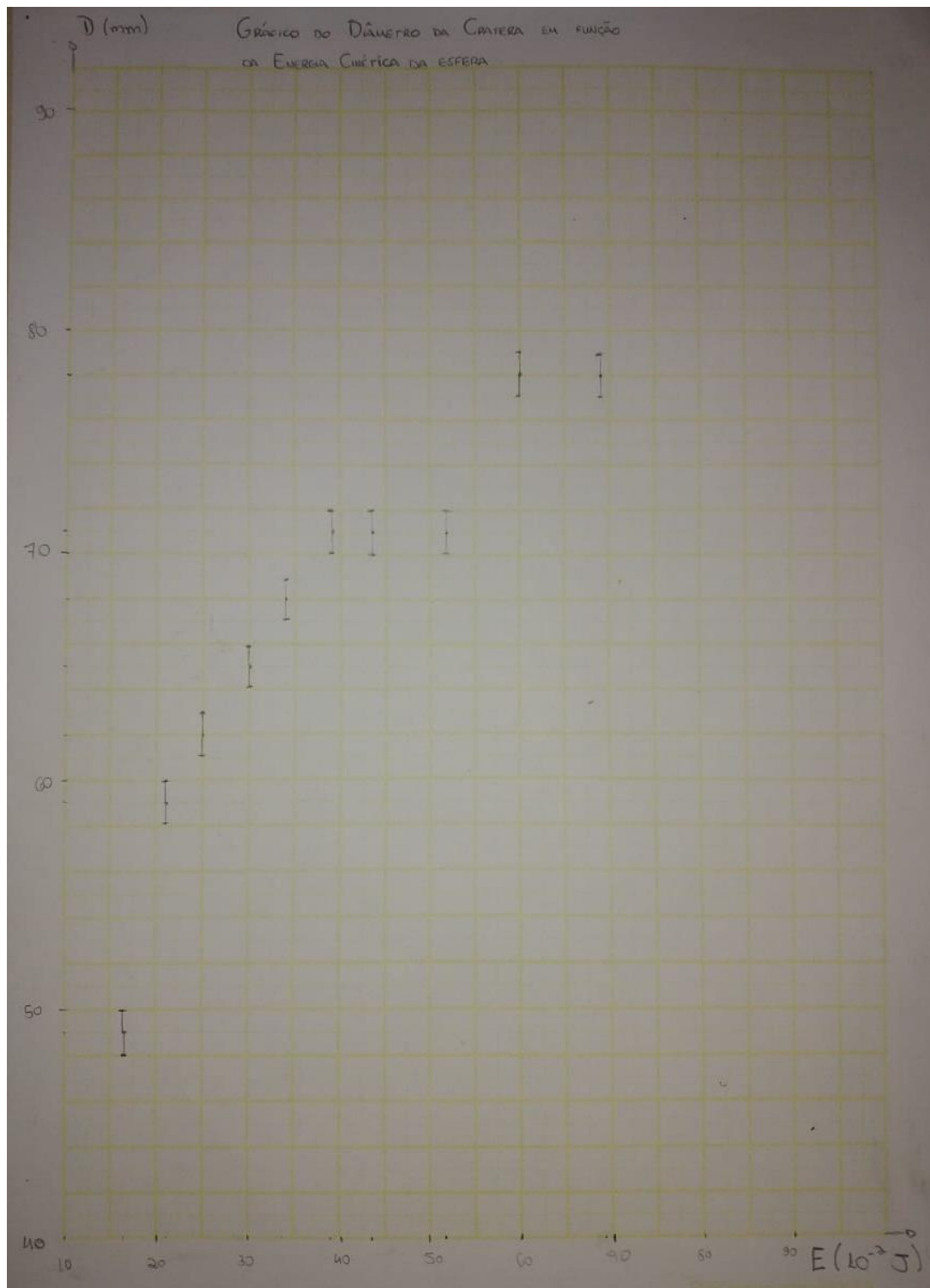
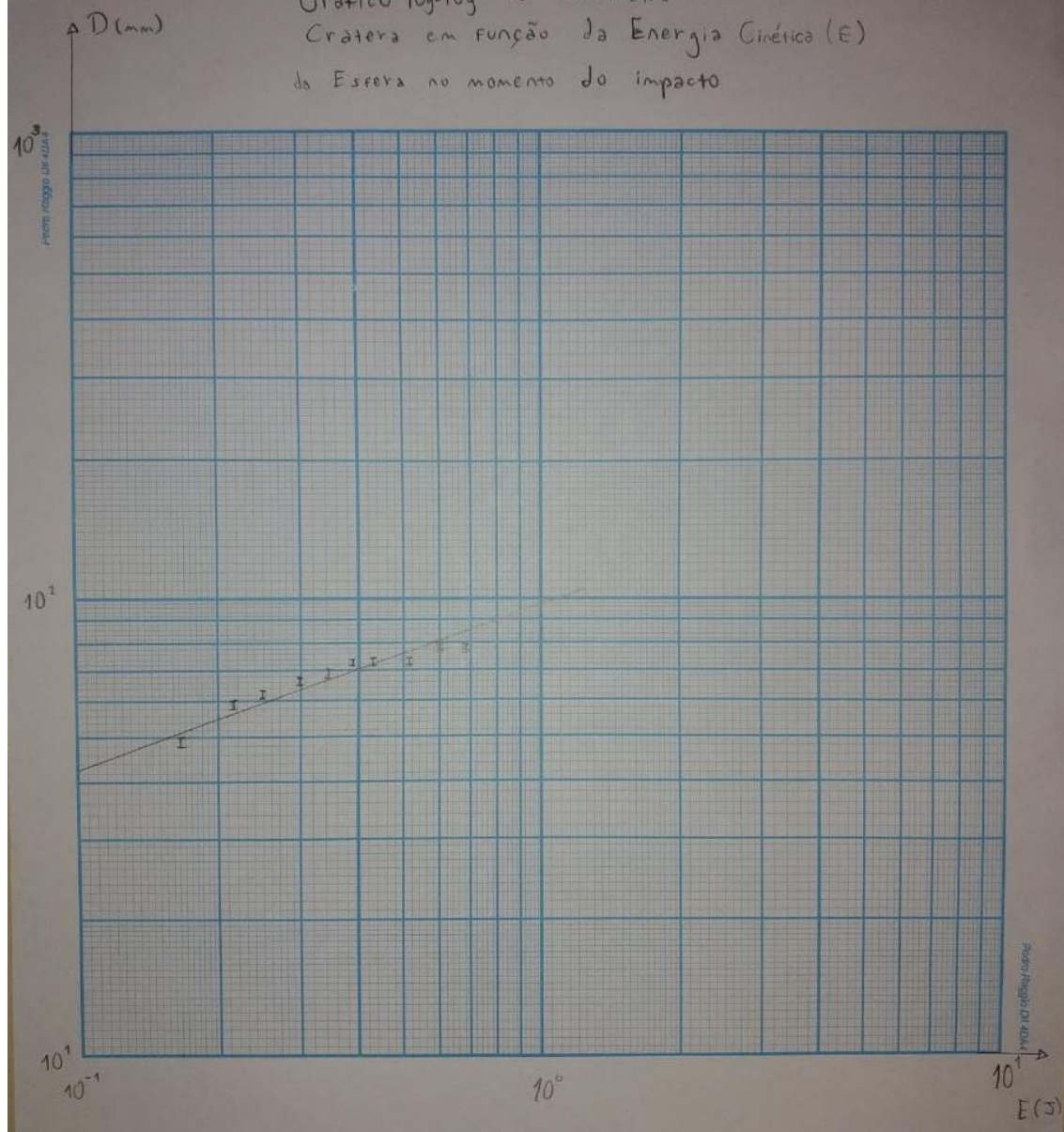
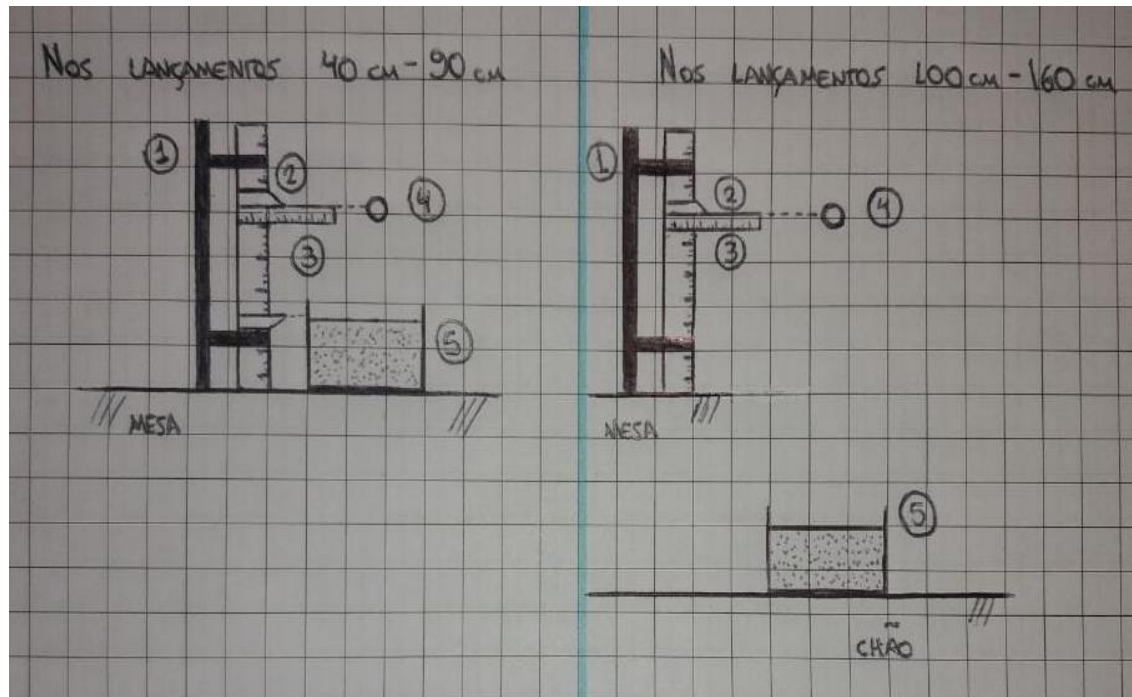


Gráfico log-log do Diâmetro (D) da  
Cratera em função da Energia Cinética (E)  
da Esfera no momento do impacto



## ANEXO V: Aparato experimental

Faça uma figura ilustrando o seu aparato experimental, identificando os principais componentes.



Onde:

- 1 = suporte vertical com régua metálica acoplada
- 2 = guia de medição
- 3 = régua acoplada ao guia de medição
- 4 = esfera de aço
- 5 = caixa de plástico preenchida com areia seca

## ANEXO VI: Foto do caderno

Insira aqui uma foto da(s) página(s) do caderno de laboratório contendo os dados coletados e o visto dado pelo professor.

<b>1º 40 cm</b> 1- 4,7 cm 2- 4,8 cm 3- 4,9 cm 4- 5,1 cm 5- 5,0 cm  $\mu = 4,9 \text{ cm}$	<b>2º 50 cm</b> 1- 5,9 cm 2- 5,9 cm 3- 5,8 cm 4- 6,0 cm 5- 6,0 cm  $\mu = 5,88 = 5,9 \text{ cm}$	<b>3º 60 cm</b> 1- 6,2 cm 2- 6,3 cm 3- 6,1 cm 4- 6,0 cm 5- 6,3 cm  $\mu = 6,18 = 6,2 \text{ cm}$	<b>4º 70 cm</b> 1- 6,6 cm 2- 6,4 cm 3- 6,6 cm 4- 6,7 cm 5- 6,4 cm  $\mu = 6,52 = 6,5 \text{ cm}$	<b>5º 80 cm</b> 1- 6,6 cm 2- 6,8 cm 3- 6,6 cm 4- 6,9 cm 5- 6,9 cm  $\mu = 6,76 = 6,8 \text{ cm}$
<b>6º 90 cm</b> 1- 7,2 cm 2- 7,1 cm 3- 7,0 cm 4- 7,1 cm 5- 7,3 cm  $\mu = 7,14 = 7,1 \text{ cm}$	<b>7º 100 cm</b> 1- 7,1 cm 2- 6,9 cm 3- 7,1 cm 4- 7,3 cm 5- 7,1 cm  $\mu = 7,12 = 7,1 \text{ cm}$	<b>8º 120 cm</b> 1- 7,0 cm 2- 7,0 cm 3- 7,2 cm 4- 7,0 cm 5- 7,3 cm  $\mu = 7,1 \text{ cm}$	<b>9º 140 cm</b> 1- 7,9 cm 2- 7,7 cm 3- 7,6 cm 4- 7,8 cm 5- 7,8 cm  $\mu = 7,76 = 7,8 \text{ cm}$	<b>10º 160 cm</b> 1- 7,9 cm 2- 7,8 cm 3- 7,8 cm 4- 7,8 cm 5- 7,9 cm  $\mu = 7,84 = 7,8 \text{ cm}$

**Observação:** nas anotações acima, o símbolo  $\mu$  foi usado para representar o valor médio dos dados.