

## O Movimento Retilíneo Uniforme através de experimentos de baixo custo

### The Uniform Linear Motion through low-cost experiments

**Angelo Donizete Ribeiro, angelodonizeteribeiro@yahoo.com.br**

**Júlia Graciele Ortiz Techio; Sonia Maria Reviliau**

**Vivian Machado de Menezes**

Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS, Laranjeiras do Sul, PR

Submetido em 14/03/2017

Revisado em 15/03/2017

Aprovado em 24/04/2017

**Resumo:** Um dos maiores desafios encontrados no ensino de física consiste na conexão entre o conhecimento adquirido pelos alunos em aula e suas aplicações no mundo cotidiano. Para facilitar esta compreensão, a experimentação representa uma importante ferramenta no processo de ensino-aprendizagem. Muitas escolas não possuem laboratórios didáticos e tampouco recursos financeiros para a realização de atividades experimentais, e para transpor estes obstáculos são feitas propostas de elaboração de experimentos que se utilizem de materiais de baixo custo. Testamos aqui a validade de experimentos propostos para reproduzir o movimento retilíneo uniforme, um movimento bastante difícil de ser observado na natureza, onde o corpo executa o movimento em linha reta e com velocidade constante. Para isso, foram realizados três experimentos que mostram que a velocidade das partículas passa a ser constante após elas se deslocarem certas distâncias pelos fluidos em questão.

**Palavras chave:** atividades experimentais; ensino de Física; materiais de baixo custo.

**Abstract:** One of the greatest challenges found in the teaching of physics is the connection between the knowledge acquired by students in class and its application in the everyday world. To facilitate this understanding, experimentation represents an important tool in the teaching-learning process. Many schools have no didactic laboratories nor financial resources to carry out experimental activities, and to overcome these obstacles are made proposals for experiments using low-cost materials. We tested here the validity of proposed experiments to reproduce the uniform linear motion, a very difficult motion to be observed in nature, where the body performs the movement straight and with constant speed. For that, three experiments were performed which show that the speed of the particles becomes constant after they move by certain distances through the concerned fluids.

**Keywords:** experimental activities; Physics teaching; low cost materials

## Introdução

A compreensão dos fenômenos físicos que ocorrem na natureza nem sempre é possível por falta de condições favoráveis o suficiente para a construção de modelos que reproduzam tais fenômenos. A fim de contornar estas dificuldades, fenômenos físicos são reproduzidos e observados em laboratório, e a visualização destes através da experimentação tem sido de fundamental importância no processo de aprendizagem dos alunos. A experimentação costuma proporcionar a interação do aluno com o tema proposto com um papel motivador e lúdico (GIORDAN, 1999; CARVALHO et al., 2011). Mas a construção, conservação e manutenção de laboratórios didáticos costumam acarretar em um alto custo para uma escola, pois é preciso um espaço e infraestrutura adequados, equipamentos (muitas vezes) sofisticados, manutenção e reposição de equipamentos, além de técnicos que atuem no seu funcionamento (BONADIMAN e NONENMACHER, 2007).

O custo para construir e manter um laboratório de ciências em funcionamento pode ser um dos principais motivos para as aulas experimentais se tornarem cada vez menos frequentes. Mas não se utilizar da ferramenta prática no ensino de física, restringindo o ensino a uma abordagem estritamente teórica, torna a física menos comprehensível para os alunos e até mesmo distancia a associação da ciência com os avanços tecnológicos da sociedade (VALADARES, 2001).

A proposta de elaboração de experimentos de baixo custo viabiliza uma alternativa para diminuir o custo operacional dos laboratórios (VALADARES, 2001a; D'ÁVILA, 1999; VALADARES, 2001b; de MENEZES et al., 2017) e a validação destes experimentos se torna necessária para a confrontação da teoria pelo experimento, com a melhor precisão possível.

No cotidiano, corpos executando movimento com velocidade constante raramente são observados, uma vez que, nessa condição, um corpo deveria permanecer sem ser acelerado ou freado. Propostas de roteiros experimentais para reproduzir um movimento retilíneo uniforme são encontradas na literatura (SOUZA, 2011; ROSA e ROSA, 2012), mas estas frequentemente partem do pressuposto que o corpo em questão executa o movimento com velocidade constante, não sugerindo uma averiguação se este fato é verídico e um

tratamento estatístico. Neste contexto, é fundamental analisar com mais detalhes os dados experimentais obtidos na tentativa de fazer um corpo executar um movimento retilíneo uniforme através de experimentos de baixo custo. Para isto, neste trabalho faremos uma discussão, através de dados de três experimentos, se as partículas analisadas conseguem realizar movimentos com velocidades constantes, e faremos um estudo acerca das grandezas, equações, gráficos e incertezas relacionados ao movimento destas partículas.

### O Movimento Retilíneo Uniforme

O Movimento Retilíneo Uniforme (MRU) é um movimento no qual a partícula percorre distâncias iguais em intervalos de tempos iguais, isto é, seu deslocamento em linha reta é proporcional ao tempo de percurso, onde sua velocidade tem um único valor durante a trajetória. A velocidade instantânea de uma partícula, que no caso do MRU é igual à velocidade média, pode ser calculada através da equação (1),

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x - x_0}{t - t_0}, \quad (1)$$

onde  $x$  é a posição da partícula num dado tempo  $t$ , e  $x_0$  é a posição inicial da partícula, para o tempo  $t_0$ .

Com base na equação (1), considerando-se o tempo inicial ( $t_0$ ) igual a zero, pode-se prever em que posição a partícula estará em um instante  $t$  qualquer, através da equação linear que relaciona velocidade ( $v$ ) e tempo ( $t$ ),

$$x = x_0 + v \cdot t, \quad (2)$$

sendo  $v$  o coeficiente angular da equação e  $x_0$  o coeficiente linear (JEWETT JR. e SERWAY, 2012; MARTINI et al., 2013; SAMPAIO e CALÇADA, 2005; TORRES et al., 2013).

### Materiais e Métodos

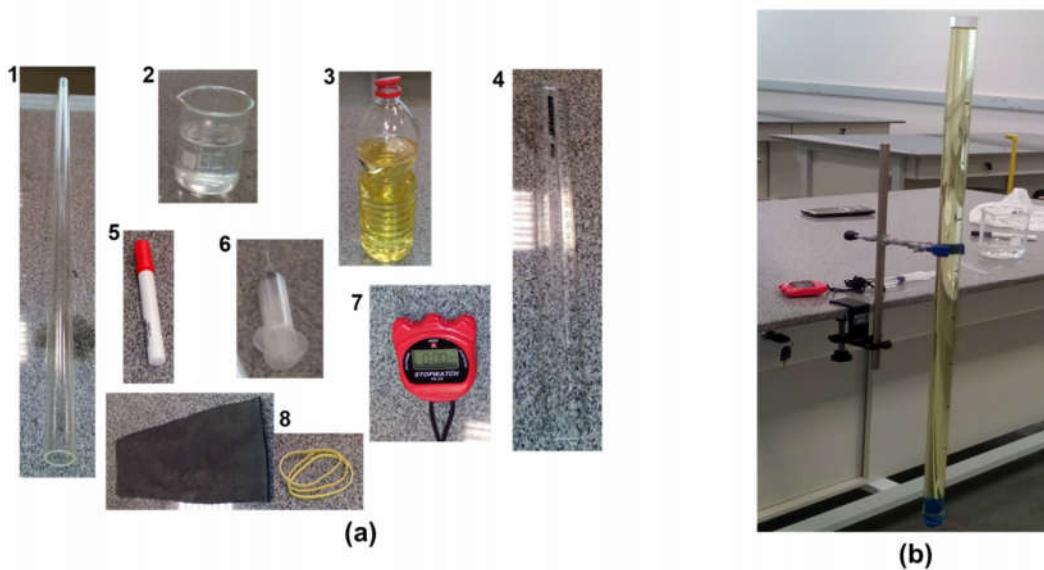
Nos experimentos estudados, como uma boa aproximação, consideramos todos os corpos em movimento como partículas, onde foram analisados três experimentos para a reprodução do MRU de uma partícula.

### Experimento 1: gota d'água no óleo

Foram utilizados os seguintes materiais para a montagem do experimento 1:

1. Tubo de PVC transparente com comprimento maior que 1,00 m;
2. Água;
3. Óleo de soja;
4. Réguas;
5. Caneta hidrográfica;
6. Seringa;
7. Cronômetro;
8. Borracha de câmara de pneu e elástico para dinheiro.

Primeiramente, foi pego o tubo transparente, colocada a borracha de pneu na parte inferior do tubo e amarrada com o elástico de dinheiro de modo que uma das extremidades do tubo ficasse bem vedada. Logo após, foi pega a caneta hidrográfica e a régua e feitas marcações no tubo a cada 10 cm. O tubo foi suspenso na posição vertical com a extremidade fechada para baixo e depois o óleo foi colocado no mesmo. A figura 1 (b) ilustra a montagem do experimento e os materiais utilizados são mostrados na figura 1 (a).



**Figura 1:** (a) Materiais utilizados no experimento 1; (b) montagem do experimento “gota d’água no óleo”.

Para a obtenção dos dados experimentais foi colocado um pouco de água

na seringa e cinco gotas de água foram rapidamente pingadas no óleo, de modo a formar uma gota única. O tempo que a gota de água levava para chegar a cada marcação do tubo foi cronometrado, sendo o cronômetro acionado quando a gota passava pela primeira marcação. Esse procedimento foi repetido dez vezes, para uma análise mais precisa do experimento.

#### Experimento 2: gota de óleo na água

No experimento 2 foram utilizados os mesmos materiais utilizados no experimento 1, e o tubo plástico teve uma extremidade fechada pela borracha de pneu da mesma forma que no experimento anterior. Mas, neste experimento, as marcações foram feitas no tubo a cada 15 cm, e após o tubo ser suspenso, foi preenchido com água. A figura 2 ilustra a montagem do experimento.



**Figura 2:** Montagem do experimento “gota de óleo na água”.

Feita a montagem do experimento, foi colocado óleo na seringa, e com a agulha da seringa a borracha foi furada e uma gota de óleo foi ejetada na água, sofrendo um deslocando de baixo para cima. O tempo que a gota de óleo levava para chegar a cada marcação do tubo foi cronometrado, sendo o cronômetro acionado quando a gota passava pela primeira marcação do tubo. O procedimento acima descrito foi repetido dez vezes.

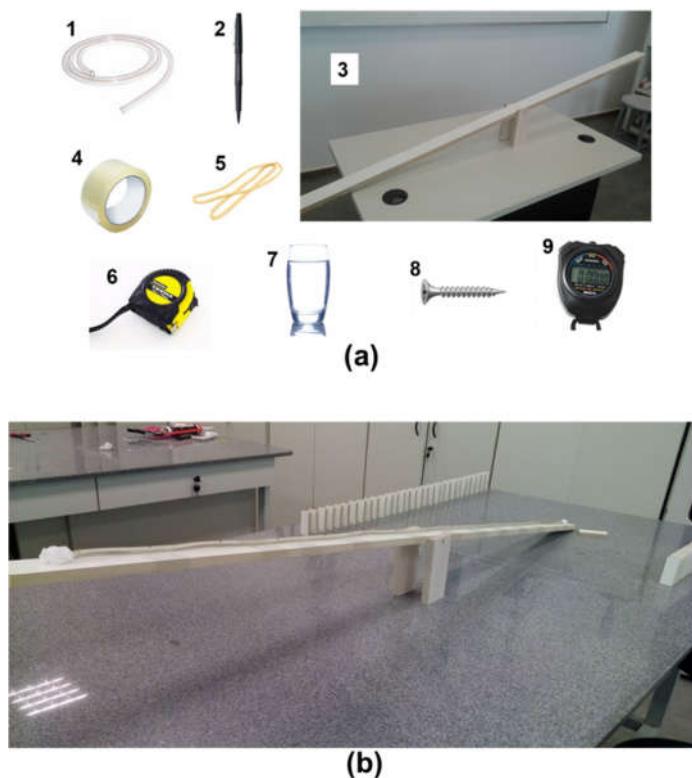
### Experimento 3: bolha de ar na água

Para a realização do experimento 3 foram utilizados os seguintes materiais:

1. Mangueira para gás de cozinha transparente com comprimento maior que 1,0 m;
2. Caneta hidrográfica;
3. Três pedaços de madeira (um pedaço de 150 cm x 5 cm; dois pedaços de 15 cm x 6 cm);
4. Fita adesiva;
5. Elásticos para dinheiro;
6. Trena;
7. Água;
8. Dois parafusos;
9. Cronômetro.

Inicialmente, foram apafusados os pedaços de madeira menores no meio do pedaço maior, de maneira que ficasse parecendo uma gangorra. A mangueira teve uma das extremidades dobrada e amarrada firmemente com o elástico de dinheiro, de forma que ficasse bem tampada. Foi colocada água para encher a mangueira, onde foi deixado mais ou menos 1 cm sem água para que formasse uma bolha de ar. A outra extremidade da mangueira foi dobrada e presa com o elástico de dinheiro para que a água não vazasse. A mangueira foi fixada no comprimento da tábua maior com a fita adesiva e, com a caneta hidrográfica e a trena, foram feitas marcações de 10 em 10 cm (dando um desconto na primeira marcação, para garantir que a bolha entrasse em MRU). A figura 3 ilustra os materiais utilizados (a) e a montagem do experimento 3 (b).

Para a realização do experimento 3, o suporte de madeira foi colocado sobre uma superfície plana, tendo um de seus lados posicionado para baixo, para que a bolha se deslocasse da parte mais baixa para a mais alta da mangueira. O tempo de deslocamento da bolha foi cronometrado, sendo o cronômetro acionado quando a bolha passava pela primeira marcação. O procedimento descrito foi repetido seis vezes.



**Figura 3:** (a) Materiais utilizados no experimento 3; (b) montagem do experimento “bolha de ar na água”.

Nos três experimentos, para o cálculo da velocidade, utilizamos a equação (1), onde dividimos as distâncias percorridas pela partícula (marcações) pelo tempo cronometrado.

## Resultados

A seguir, descreveremos os resultados obtidos nos três experimentos analisados para a descrição do MRU de uma partícula.

### Experimento 1: gota d’água no óleo

O tempo para a passagem da gota de água pelas diferentes marcações no tubo com óleo foram cronometrados dez vezes, de onde obtivemos o tempo médio calculado a partir da média aritmética simples para os dez tempos medidos. A tabela 1 mostra os tempos médios obtidos com suas respectivas incertezas, calculadas pelo desvio padrão em relação aos valores médios. Ainda na tabela 1, a incerteza da posição foi adotada como a metade da menor divisão

da escala da régua, sendo esta divisão feita de um em um milímetro (régua milimetrada). Adicionalmente, tomando-se o tempo médio obtido para as respectivas posições da gota, a velocidade da mesma foi calculada através da equação (1), considerando-se  $x_0 = 0$ , e  $t_0 = 0$ . A incerteza da velocidade foi estimada através de cálculos de propagação de erro para as medidas de posição e tempo (VUOLO, 1996; HELENE e VANIN, 1991).

**Tabela 1:** Valores médios obtidos no experimento 1, com as respectivas incertezas.

Posição $x \pm \Delta x$ (cm)	10,00 $\pm 0,05$	20,00 $\pm 0,05$	30,00 $\pm 0,05$	40,00 $\pm 0,05$	50,00 $\pm 0,05$	60,00 $\pm 0,05$	70,00 $\pm 0,05$
Tempo $t \pm \Delta t$ (s)	5,50 $\pm 0,27$	11,21 $\pm 0,33$	16,81 $\pm 0,58$	22,85 $\pm 0,60$	28,79 $\pm 0,45$	34,48 $\pm 0,53$	40,40 $\pm 0,47$
Velocidade $v \pm \Delta v$ (cm/s)	1,82 $\pm 0,09$	1,78 $\pm 0,06$	1,78 $\pm 0,06$	1,75 $\pm 0,06$	1,74 $\pm 0,03$	1,74 $\pm 0,03$	1,73 $\pm 0,02$

Avaliando-se os valores das velocidades da tabela 1, percebemos uma pequena variação que tende a se estabilizar após a gota percorrer cerca de 40 cm. Também verificamos que a incerteza das medidas experimentais vai decrescendo à medida que a gota percorre distâncias maiores. Isto pode ser um indicativo de que a gota necessita percorrer uma certa distância até atingir a velocidade terminal (velocidade constante), e talvez fosse interessante um tubo de comprimento maior para a obtenção de mais medidas que permitam afirmar categoricamente que o movimento ocorre com velocidade constante.

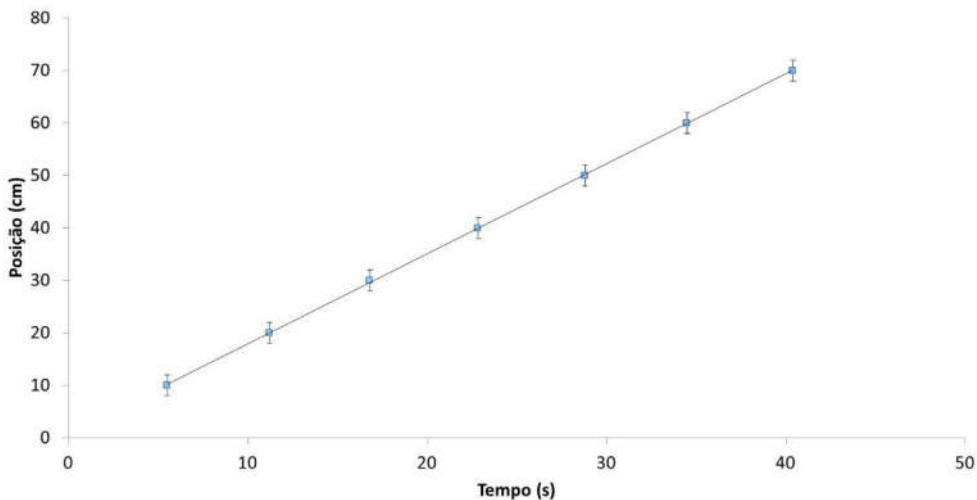
De qualquer forma, para todos os casos, o erro da velocidade é menor do que 5%, e considerando os valores máximo e mínimo de velocidade calculados (1,82 e 1,73 cm/s) com suas respectivas incertezas, podemos considerar que a velocidade instantânea tem um valor aproximadamente constante, caracterizando um movimento uniforme. O valor médio da velocidade, obtido através da média aritmética simples resulta em 1,76 cm/s, com uma incerteza média de 0,05 cm/s.

Na figura 4 é ilustrado o gráfico de posição versus tempo para o movimento da gota de água no óleo, onde é observado um comportamento linear, o que também caracteriza um movimento retilíneo uniforme. Neste tipo de gráfico, o coeficiente angular da reta  $\left( \frac{\Delta x}{\Delta y} \right)$  nos fornece o valor da velocidade,

onde neste caso foi obtido o valor 1,72 cm/s para esta grandeza. Com isto, podemos montar a equação horária da posição, correspondente a uma equação da reta (equação (2),  $x_0 = 0$ ):

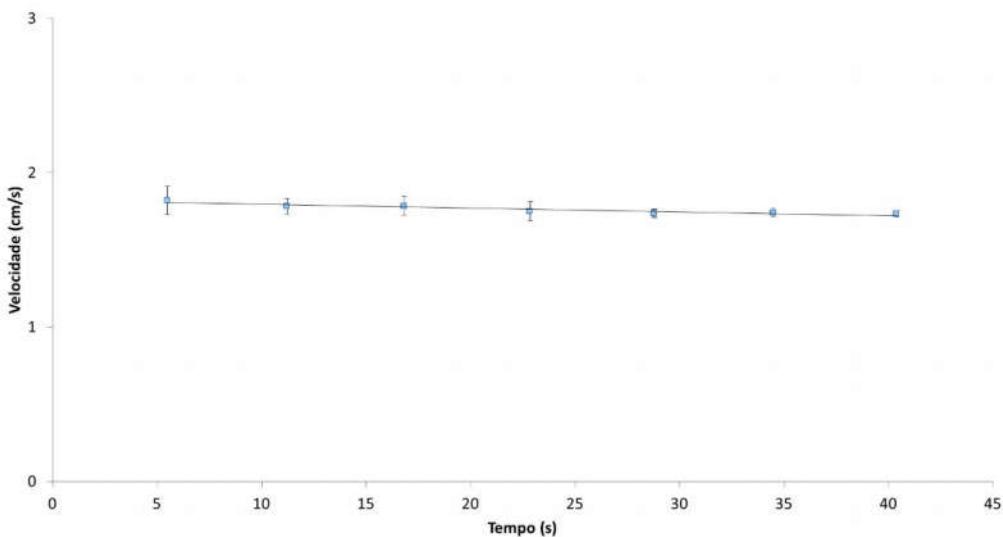
$$x(t) = 1,72 \cdot t,$$

onde  $t$  é dado em segundos,  $x$  é dado em centímetros.



**Figura 4:** Gráfico da posição versus tempo para o experimento “gota d’água no óleo”.

A figura 5 ilustra o gráfico dos valores de velocidade da tabela 1 para os respectivos tempos.



**Figura 5:** Gráfico da velocidade versus tempo para o experimento “gota d’água no óleo”.

## Experimento 2: gota de óleo na água

Foram cronometrados dez tempos para a passagem da gota de óleo pelas diferentes marcações no tubo com água, onde mostramos, na tabela 2, o tempo médio calculado da mesma forma que no experimento descrito anteriormente. A partir do tempo médio obtido para as respectivas posições da gota, a velocidade foi calculada através da equação (1), tomando-se  $x_0 = 0$  e  $t_0 = 0$ . As medidas expressas corretamente com suas respectivas incertezas são mostradas na tabela 2, onde todas as incertezas foram estimadas da mesma forma que no experimento “gota d’água no óleo” (VUOLO, 1996; HELENE e VANIN, 1991).

**Tabela 2:** Valores médios obtidos no experimento 2, com as respectivas incertezas.

Posição $x \pm \Delta x$ (cm)	15,00 $\pm 0,05$	30,00 $\pm 0,05$	45,00 $\pm 0,05$	60,00 $\pm 0,05$	75,00 $\pm 0,05$
Tempo $t \pm \Delta t$ (s)	1,86 $\pm 0,09$	3,66 $\pm 0,10$	5,37 $\pm 0,11$	7,10 $\pm 0,12$	8,82 $\pm 0,90$
Velocidade $v \pm \Delta v$ (cm/s)	8,13 $\pm 0,43$	8,21 $\pm 0,24$	8,38 $\pm 0,18$	8,45 $\pm 0,15$	8,51 $\pm 0,08$

Através dos valores das velocidades da tabela 2, observamos que a velocidade varia de forma crescente à medida que a gota percorre distâncias maiores, com incertezas decrescentes. Este resultado pode indicar que a velocidade terminal da gota ainda não foi alcançada, e que existe uma pequena aceleração, porém a limitação do tamanho do tubo não permite que saibamos se de fato é isto que acontece.

No entanto, devido à aparente tendência de o sistema estabilizar sua velocidade, vamos considerar o movimento como tendo aceleração desprezível, para darmos o mesmo tratamento matemático aos dados deste experimento.

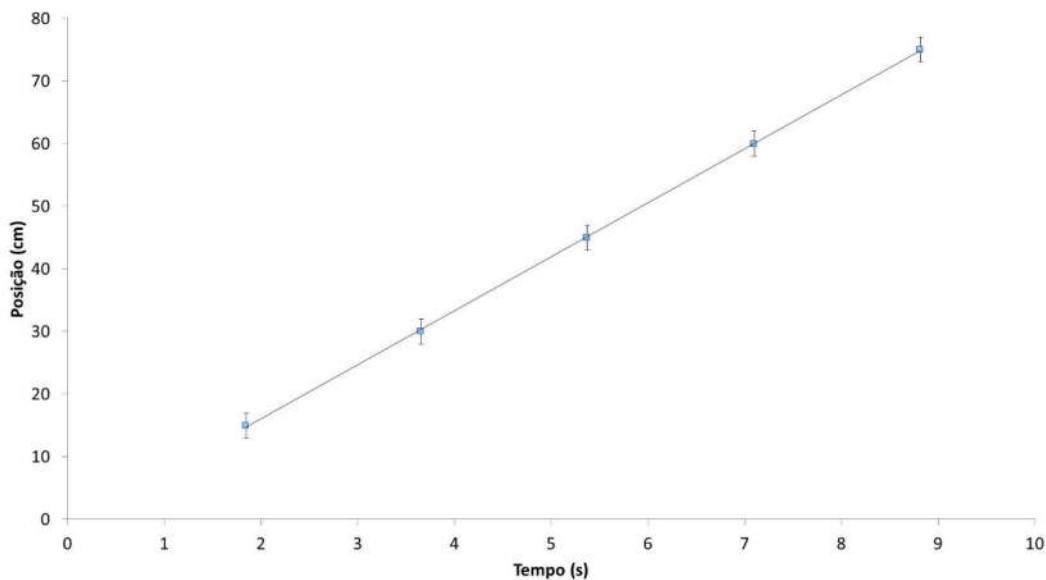
Através da média aritmética, o valor médio da velocidade resulta em 8,34 cm/s, onde todas as velocidades obtidas têm uma incerteza menor ou aproximadamente 5%. O valor médio obtido para a incerteza da velocidade foi de 0,22 cm/s.

A posição da gota de óleo se movimentando na água em função do tempo é ilustrada no gráfico da figura 6, onde é observada a reta característica do movimento retilíneo uniforme. O coeficiente angular desta reta fornece o valor de 8,30 cm/s para a velocidade. Com isto, a equação horária da posição, obtida

através da equação (2), fica:

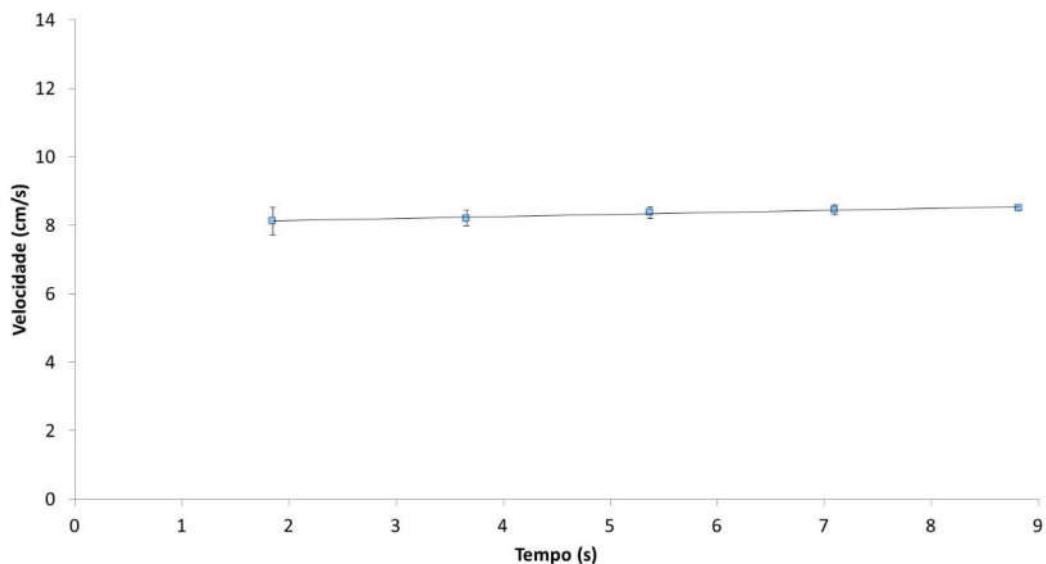
$$x(t) = 8,30 \cdot t,$$

onde  $t$  é dado em segundos e  $x$  é calculado em centímetros.



**Figura 6:** Gráfico da posição versus tempo para o experimento “gota de óleo na água”.

A figura 7 ilustra o gráfico dos valores de velocidade da tabela 2 para os respectivos tempos.



**Figura 7:** Gráfico da velocidade versus tempo para o experimento “gota de óleo na água”.

### Experimento 3: bolha de ar na água

Foram cronometrados seis tempos para a passagem da bolha de ar pelas diferentes marcações na mangueira com água, sendo as médias destes apresentadas na tabela 3, com suas respectivas incertezas. As velocidades e as incertezas foram estimadas pelos mesmos critérios tomados nos experimentos anteriores (VUOLO, 1996; HELENE e VANIN, 1991).

**Tabela 3:** Valores médios obtidos no experimento 3, com suas respectivas incertezas.

Posição $x \pm \Delta x$ (cm)	10,00 $\pm$ 0,05	20,00 $\pm$ 0,05	30,00 $\pm$ 0,05	40,00 $\pm$ 0,05	50,00 $\pm$ 0,05	60,00 $\pm$ 0,05	70,00 $\pm$ 0,05	80,00 $\pm$ 0,05	90,00 $\pm$ 0,05	100,0 $\pm$ 0,05	110,0 $\pm$ 0,05
Tempo $t \pm \Delta t$ (s)	3,09 $\pm$ 0,11	6,00 $\pm$ 0,13	8,93 $\pm$ 0,11	11,77 $\pm$ 0,10	14,46 $\pm$ 0,16	17,33 $\pm$ 0,18	20,02 $\pm$ 0,36	22,95 $\pm$ 0,39	25,63 $\pm$ 0,23	28,38 $\pm$ 0,12	31,36 $\pm$ 0,17
Velocidade $v \pm \Delta v$ (cm/s)	3,25 $\pm$ 0,13	3,33 $\pm$ 0,08	3,36 $\pm$ 0,05	3,43 $\pm$ 0,03	3,46 $\pm$ 0,04	3,46 $\pm$ 0,04	3,50 $\pm$ 0,07	3,49 $\pm$ 0,06	3,51 $\pm$ 0,03	3,52 $\pm$ 0,02	3,51 $\pm$ 0,02

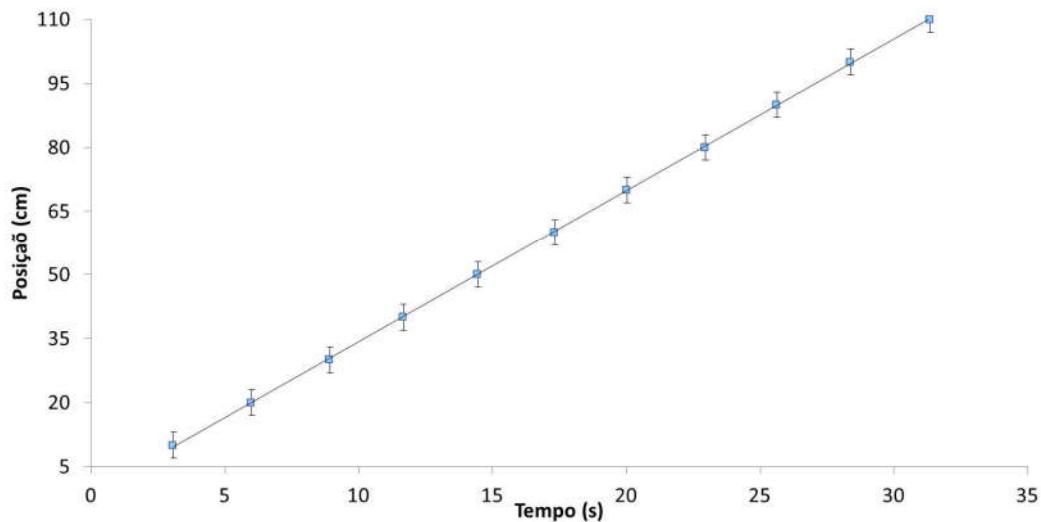
Com os dados da tabela 3, percebemos um aumento dos valores de velocidade que tendem a se estabilizar por volta de 3,50 cm/s. Este resultado pode se dever ao fato de a bolha atingir a velocidade terminal após percorrer uma certa distância (neste caso, cerca de 70,00 cm), o que pode indicar que para resultados ainda mais precisos, seria necessário começar o tratamento desprezando um determinado trecho inicial da trajetória, ou ainda, utilizando uma mangueira de comprimento maior.

O valor médio obtido para a velocidade resulta em 3,44 cm/s, com uma incerteza média de 0,05 cm/s, sendo que todas as medidas de velocidade obtidas têm uma incerteza menor ou igual a 4%. O valor aproximadamente constante da velocidade, juntamente com o comportamento linear da posição da bolha em função do tempo, figura 8, são característicos de um MRU.

O coeficiente angular da reta da figura 8 fornece o valor de 3,54 cm/s para a velocidade. Com este valor, é deduzida a equação horária da posição, que é dada pela seguinte equação da reta (equação 2):

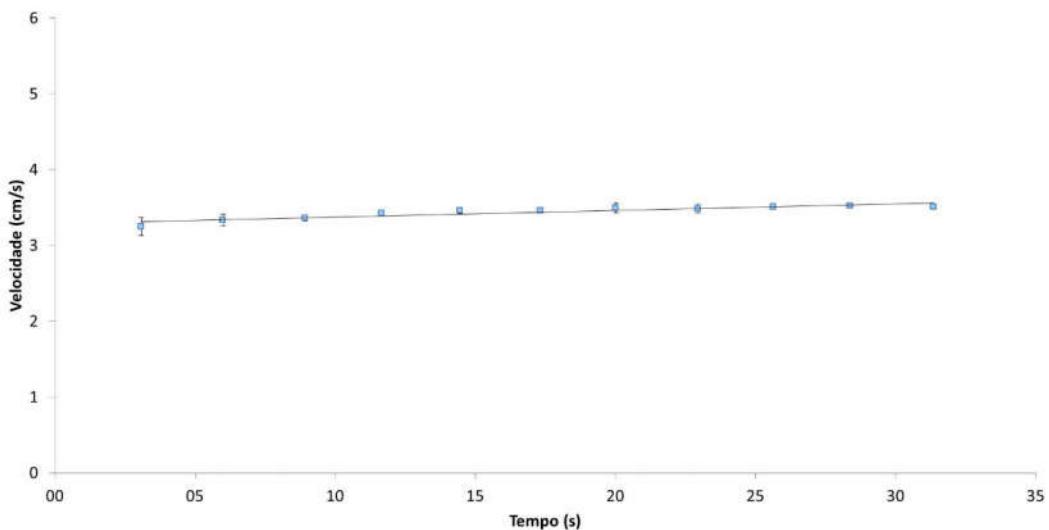
$$x(t) = 3,54 \cdot t,$$

onde foi tomado  $x_0 = 0$  e  $x$  é calculado em centímetros.



**Figura 8:** Gráfico da posição versus tempo para o experimento “bolha de ar na água”.

Com os valores de velocidade da tabela 3 e os tempos correspondentes, obtém-se o gráfico da figura 9 para a velocidade da bolha de ar em função do tempo.



**Figura 9:** Gráfico da velocidade versus tempo para o experimento “bolha de ar na água”.

## Conclusão

Para todos os experimentos analisados e em todas as medidas realizadas, o erro da velocidade encontrado é menor do que 5%. Observando-se os resultados obtidos e levando-se em conta os respectivos valores de

incerteza, a velocidade instantânea foi considerada como tendo um valor constante nos três experimentos. Esta observação é corroborada pela análise dos gráficos lineares das velocidades, característicos de um movimento uniforme.

O deslocamento em linha reta da partícula e sem aceleração (ou com aceleração desprezível), nos três casos, ocorre devido à condição de equilíbrio das forças que atuam na partícula em questão. As forças de atuação são o peso, para baixo, o empuxo, para cima, e uma terceira força de resistência ao movimento da partícula no fluido, a força de arraste. Nas três situações, em dado momento, as três forças se compensam, de modo que a partícula atinge a velocidade terminal ao se deslocar pelo fluido, sendo esta uma velocidade constante. Considerando que a observação deste tipo de comportamento na natureza é difícil, os experimentos estudados demonstram-se eficientes para a abordagem do Movimento Retilíneo Uniforme, mas outros testes poderiam melhorar a precisão dos experimentos, como a utilização de tubos/mangueiras mais compridos.

Fazendo-se uma comparação entre os três experimentos estudados, é observado um percentual de incerteza menor para o caso do experimento “bolha de ar na água”. Além do mais, este experimento é de montagem mais simples, e o movimento da partícula é mais fácil de ser analisado (a bolha não muda de tamanho a cada análise). Por isso, é recomendada a execução deste experimento (entre os três estudados), se a intenção for melhor precisão nos resultados e facilidade de construção/análise. Também é recomendado que sejam utilizados tubos e mangueiras com o maior comprimento possível, para garantir que a partícula entre em velocidade terminal.

### Agradecimentos

Os autores agradecem a UFFS pelo auxílio financeiro com bolsa de iniciação científica PRO-ICT/UFFS aprovada nos Editais n.º 281/UFFS/2015 e 599/UFFS/2016.

### Referências

BONADIMAN, H.; NONENMACHER, S. E. B. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**

———— Revista Brasileira de Iniciação Científica, Itapetininga, v. 4, n. 3, 2017. ———

v. 24, n. 2, p. 194-223, 2007.

CARVALHO, A. M. P. et al. **Ensino de Física**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

D'ÁVILA, A. R. L. N. **Utilização de materiais de baixo custo no ensino de física**. 1999. Monografia (Especialização em Ensino de Ciências e Matemática) - Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru.

GIORDAN, M. O papel da Experimentação no ensino de ciências. **Química Nova na Escola**, n. 10, p. 43-49, 1999.

HELENE, O. A. M.; VANIN, V. R. **Tratamento estatístico de dados em física experimental**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 1991.

JEWETT JR., J. W.; SERWAY, R. A. **Física para cientistas e engenheiros – Mecânica**. 8 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012. v. 1.

MARTINI, G. et al. **Conexões com a Física**. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2013. v. 1.

de MENEZES, V. M.; RIBEIRO, A. D.; TECHIO, J. G. O; REVILIAU, S. M. Movimento Retilíneo Uniformemente Acelerado: uma proposta de experimento de baixo custo. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, v. 4, n. 2, p. 71-81, 2017.

ROSA, C. T. W.; ROSA, A. B. Aulas experimentais na perspectiva construtivista: proposta de organização do roteiro para aulas de física. **Física na Escola**, v. 13, n. 1, p. 4-7, 2012.

SAMPAIO J. L.; CALÇADA C. S. **Universo da física 1 – Mecânica**. 2. Ed. São Paulo: Atual, 2005. v. 1.

SOUZA, P. H. **Física Lúdica: práticas para o ensino fundamental e médio**. São Paulo: Cortez Editora, 2011.

TORRES, C. M. A. et al. **Física: Ciência e Tecnologia**. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2013. v. 1.

VALADARES, E. C. Proposta de experimentos de baixo custo centradas no aluno e na comunidade. **Química Nova na Escola**, n. 13, p. 38-40, 2001a.

VALADARES, E. C. **Física na Escola**, v. 2, n. 2, p. 10-13, 2001b.

VUOLO, J. H. **Fundamentos da teoria dos erros**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 1996.