

ROTEIRO p SIMULAÇÃO: MÁQUINA DE ATWOOD

Prof. Nildo Loiola Dias

1 OBJETIVOS

- Utilizar a *máquina de Atwood* para estudar a **segunda lei de Newton**.
- Determinar a aceleração da gravidade local.

2 MATERIAL

Simulação sobre a máquina de Atwood:

<https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/maquina-de-atwood>

3 FUNDAMENTOS

A Segunda Lei de Newton afirma que um corpo sob a ação de uma força resultante F , não nula, em um referencial inercial, adquire uma aceleração a na mesma direção e sentido da força resultante, com magnitude proporcional à intensidade da força F e inversamente proporcional à massa m do corpo:

$$a = F/m \quad (1)$$

No caso particular de uma força F constante, o corpo de massa m terá uma aceleração a constante, e o movimento descrito pelo corpo será um Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV). Assim, em uma dimensão, podemos analisar as relações entre essas grandezas usando apenas seus módulos.

$$a = F/m \quad (2)$$

Para verificarmos a segunda lei de Newton, faremos uso de uma máquina de Atwood. A *máquina de Atwood* consiste de duas massas M_1 e M_2 ligadas por um cordão, suspensas de uma polia, como mostra a Figura 1. Se M_1 for maior do que M_2 , M_1 terá aceleração para baixo e M_2 terá aceleração para cima. Sobre M_1 atuam a força peso, $P_1 = M_1g$ para baixo, e, uma tensão T_1 , exercida pelo cordão, para cima. Sobre M_2 atuam o peso, $P_2 = M_2g$ para baixo, e, uma tensão T_2 para cima, como mostra a Figura 2.

Figura 1. Máquina de Atwood.

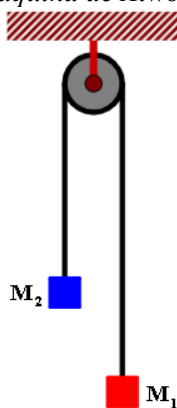
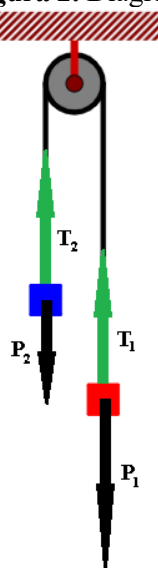


Figura 2. Diagrama de forças.



Fonte: elaboradas pelo autor.

Escolhendo-se um eixo vertical e atribuindo-se o sentido para baixo como sendo positivo, podemos escrever a **segunda lei de Newton** para cada corpo como segue:

$$P_1 - T_1 = M_1 a_1 \quad (3)$$

$$P_2 - T_2 = M_2 a_2 \quad (4)$$

Como as massas estão conectadas por um cordão inextensível, as acelerações têm o mesmo módulo, mas sentidos opostos ($a_1 = -a_2 = a$). Também, desprezando-se as massas da polia e do cordão, e o atrito no eixo da polia, as tensões nos dois lados da polia são iguais:

$$T_1 = T_2 \quad (5)$$

Combinando as Equações 3, 4 e 5, e considerando $a = a_1 = -a_2$, vem:

$$P_1 - P_2 = (M_1 + M_2)a \quad (6)$$

A equação 6 representa a aplicação da segunda lei de Newton sobre o sistema formado pelos blocos da máquina de Atwood. $P_1 - P_2$ é a força resultante, T_1 e T_2 são forças internas que se anulam, $M_1 + M_2$ é a massa total do sistema e a é a aceleração resultante.

Da equação 6 podemos escrever a aceleração como:

$$a = (M_1 - M_2)g / (M_1 + M_2) \quad (7)$$

Por outro lado, a aceleração a pode ser determinada medindo-se o tempo de queda t e a altura h , uma vez que o movimento é uniformemente acelerado, com velocidade inicial zero:

$$h = (1/2) at^2 \quad (8)$$

assim,

$$a = 2h/t^2 \quad (9)$$

Desta forma, a aceleração obtida de acordo com a Equação 9 poderá ser comparada com aquela baseada na **segunda lei de Newton**, Equação 7.

4 PROCEDIMENTO

Para a realização dos procedimentos a seguir será necessário acessar a simulação sobre a Máquina de Atwood através do link: <https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/maquina-de-atwood>

Na Figura 3 podemos ver a tela inicial da simulação sobre a Máquina de Atwood. Esta simulação permite o estudo da segunda lei de Newton por meio da máquina de Atwood: dois blocos, ligados por uma corda de massa desprezível que passa por uma roldana ideal, podem ter suas massas escolhidas independentemente por cursores individuais. Um cronômetro permite medir o tempo de movimento e com isso calcular a aceleração do sistema de modo a relacionar com a força resultante. Também é possível simular a Máquina de Atwood em diferentes gravidades e determinar a aceleração da gravidade local.

Figura 3. Tela inicial da simulação Máquina de Atwood.



Fonte: elaborada pelo autor.

PROCEDIMENTO 1: Relação entre Força Resultante e Aceleração ($m = \text{constante}$).

Neste procedimento verificaremos a relação entre a Força Resultante, $(P_1 - P_2)$ e a aceleração a , mantendo a massa total do sistema, $(M_1 + M_2)$, constante.

- 1.1 Escolha na simulação $M_1 = 202 \text{ g}$ e $M_2 = 198 \text{ g}$ como indicado na Tabela 1.
- 1.2 Some $M_1 + M_2$ (massa total do sistema) e anote. Calcule a Força Resultante, $P_1 - P_2$ (use $g = 9,81\text{m/s}^2$). Anote.
- 1.3 Pressione o botão LIBERAR. Com isso o sistema entra em movimento e o cronômetro é acionado.
- 1.4 Observe o movimento da massa M_1 e quando a mesma atingir o solo, pressione o botão PARAR TEMPO para parar o cronômetro. Anote o tempo correspondente na Tabela 1. O cronômetro fornece o tempo em segundos com duas casas decimais, entretanto, devido ao tempo de reação humano ser da ordem de décimos de segundos, só faz sentido anotar o tempo em segundos com uma casa decimal (com o devido arredondamento). A primeira casa decimal já é um algarismo duvidoso, mas o primeiro duvidoso de uma medida deve ser anotado.
- 1.5 Para cada conjunto de massas, faça três medidas do tempo e calcule o tempo médio.
- 1.6 Calcule a aceleração do sistema pela equação 9 e anote.

Tabela 1 - Medidas para verificação da relação entre Força Resultante e Aceleração ($m = \text{constante}$).

M_1 (g)	M_2 (g)	$M_1 + M_2$ (g)	$P_1 - P_2$ (N)	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	$t_{\text{médio}}$ (s)	a (cm/s^2)
202	198							
204	196							
206	194							
208	192							
210	190							

- 1.7 Repita os procedimentos anteriores para os outros valores de massas indicados na Tabela 1

PROCEDIMENTO 2: Relação entre Aceleração e Massa (Força Resultante = constante).

Neste procedimento verificaremos a relação entre a aceleração a e a massa total do sistema, ($M_1 + M_2$), mantendo a Força Resultante, ($P_1 - P_2$), constante.

2.1 Escolha na simulação $M_1 = 145$ g e $M_2 = 125$ g como indicado na Tabela 2.

2.2 Some $M_1 + M_2$ (massa total do sistema) e anote. Calcule a Força Resultante, $P_1 - P_2$ (use $g = 9,81\text{m/s}^2$). Anote.

2.3 Faça três medidas do tempo de descida da massa M_1 e calcule o tempo médio.

2.4 Calcule a aceleração do sistema pela equação 9 e anote.

Tabela 2 - Medidas para verificação da relação entre Aceleração e Massa (Força Resultante = constante).

M_1 (g)	M_2 (g)	$M_1 + M_2$ (g)	$P_1 - P_2$ (N)	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	$t_{\text{médio}}$ (s)	a (cm/s^2)
145	125							
160	140							
175	155							
190	170							
205	185							

2.5 Repita os procedimentos anteriores para os outros valores de massas indicados na Tabela 2.

PROCEDIMENTO 3: Determinação da aceleração da gravidade de Marte.

Da equação 7 podemos explicitar a aceleração da gravidade:

$$g = (M_1 + M_2)a / (M_1 - M_2) \quad (10)$$

Assim, conhecendo-se as duas massas, M_1 e M_2 bem como a aceleração do sistema é possível determinar a aceleração da gravidade local.

3.1 Escolha a opção Marte.

3.2 Escolha na simulação M_1 e M_2 como indicado na Tabela 3.

3.3 Calcule $M_1 + M_2$ e $M_1 - M_2$ e anote.

3.4 Pressione o botão LIBERAR. Observe o movimento da massa M_1 e quando a mesma atingir o solo, pressione o botão PARAR TEMPO para parar o cronômetro. Anote o tempo correspondente na Tabela 3.

3.5 Para cada conjunto de massas, faça três medidas do tempo e calcule o tempo médio.

3.6 Calcule a aceleração do sistema pela equação 9 e anote.

3.7 Calcule a aceleração da gravidade pela equação 10 e anote.

Tabela 3 - Medidas para determinação da aceleração da gravidade de Marte.

M_1 (g)	M_2 (g)	$M_1 + M_2$ (g)	$M_1 - M_2$ (g)	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	$t_{\text{médio}}$ (s)	a (cm/s ²)	g (cm/s ²)
202	198								
204	196								
210	205								
190	185								
170	165								

3.8 Repita os procedimentos anteriores para os outros valores de massas indicados na Tabela 3.

5 QUESTIONÁRIO

- 1- Faça o gráfico da aceleração em função da Força Resultante $P_1 - P_2$ para os dados da Tabela 1.
- 2- O que representa o coeficiente angular do gráfico da questão anterior? Justifique.
- 3- O gráfico da questão 1 está de acordo com a segunda lei de Newton? Justifique.
- 4- Faça o gráfico da aceleração em função da massa do sistema $M_1 + M_2$ para os dados da Tabela 2.
- 5- O que representa o coeficiente angular do gráfico da questão anterior? Justifique.
- 6- O gráfico da questão 4 está de acordo com a segunda lei de Newton? Justifique.
- 7- Na *máquina de Atwood* da Figura 2 estão identificadas quatro forças: P_1 , P_2 , T_1 e T_2 . Para cada força identifique o par ação e reação.
- 8- Preencha a Tabela 4 com base nos resultados da Tabela 1 e compare os valores da aceleração obtidos usando a equação 9 com os valores previstos para a aceleração pela **segunda lei de Newton**, Equação 7. Comente.

Tabela 4 - Comparação entre os valores experimentais e calculados da aceleração.

M_1 (g)	M_2 (g)	a (cm/s ²) de acordo com Eq. 9	a (cm/s ²) de acordo com Eq. 7
202	198		
204	196		
206	194		
208	192		
210	190		

- 9- Qual o valor da aceleração de Marte? (Média dos valores encontrados na Tabela 3).