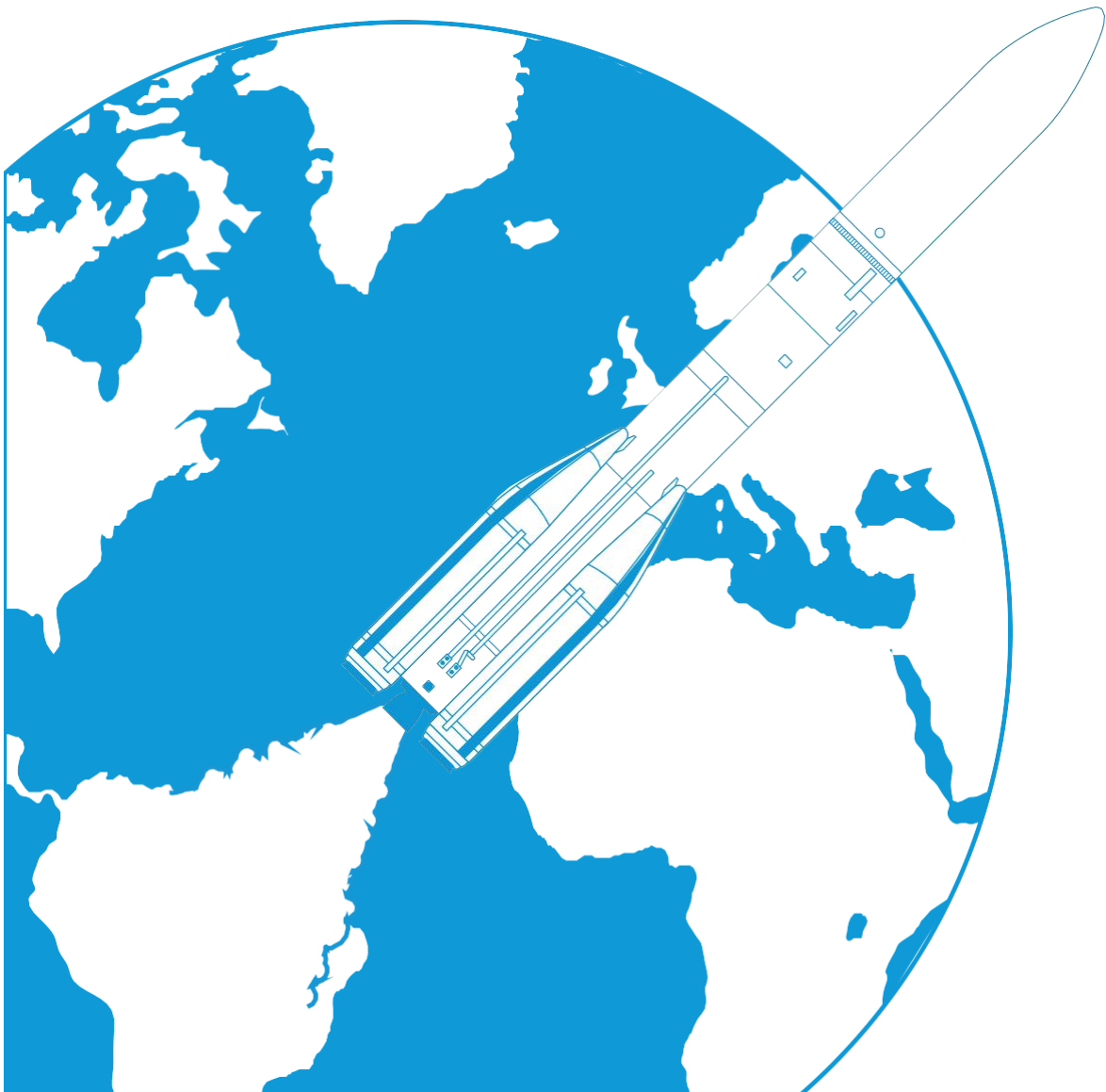


O Espaço na sala de aula

→ 3...2...1 Descolagem!

Constrói o teu Foguetão de papel





Guia do Professor

Breves fatos	página 3
Atividade 1: Constrói o teu foguetão de papel	página 6
Atividade 2: Lança o foguetão!	página 8
Atividade 3: Voos tripulados	página 13
Ficha do aluno	página 14
Links Anexo 1	página 24
Anexo 2	página 25
Anexo 3	página 26
Anexo 4	página 27
	página 28

teach with space – 3...2...1 lift-off! | P17
www.esa.int/education

The ESA Education Office welcomes feedback and comments
teachers@esa.int

Atividade desenvolvida por ESERO Nordic e ESERO Poland An ESA

Education production
Copyright 2019 © European Space Agency

→ 3...2...1 Descolagem!

Constrói o teu Foguetão de papel

Breves fatos

Disciplina: Física

Idade: 14-16 anos

Tipologia: estudantes

Dificuldade: médio

Tempo necessário: 2 horas (aprox.)

Custo: baixo (5-10 euros)

Local: Interior e exterior

Utiliza: Sistema de lançamento (ver Anexo 1 + 2)

Palavras-chave: Física, Foguetões, Parabólica, movimento, Aerodinâmica, Centro de massa, Centro de pressão, Velocidade de escape, Velocidade orbital, Velocidade, Aceleração

Descrição geral

Neste conjunto de atividades, os alunos vão construir os seus próprios foguetões de papel e lança-los. Vamos explorar os fatores que influenciam a trajetória, velocidade e estabilidade e realizar os cálculos pertinentes. Ainda vamos perceber o potencial da Lua como trampolim para zonas mais distantes do sistema solar.

Os alunos vão explorar

- Centro de massa e centro de pressão.
- O movimento de projecteis e parábolas.
- Calcular velocidades e acelerações.
- Forças.
- Pensamento científico e crítico, trabalho individual e em equipa.

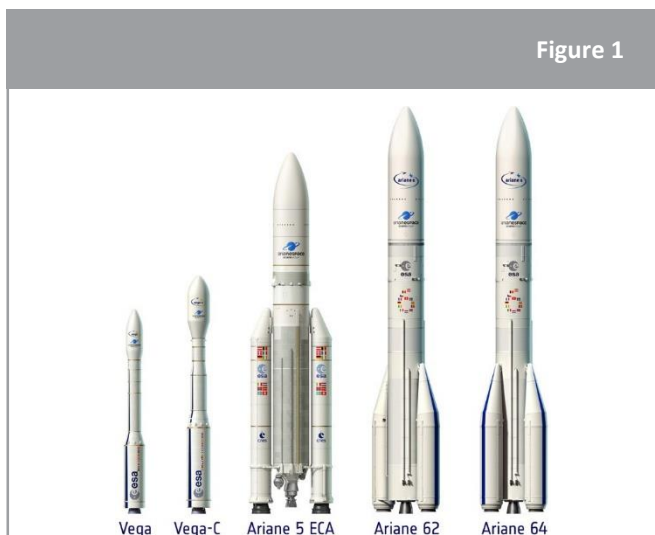
→ Resumo das atividades

Resumo das atividades					
	Título	Descrição	Resultados	Requisitos	Tempo
1	Constrói o teu foguetão de papel	Projectar e construir o foguetão de papel	Aprender sobre foguetões, aerodinâmica, Centro de massa, pressão e estabilidade	nenhum	30 minutos
2	Lança o teu foguetão	Lançar o foguetão, calcular a sua velocidade inicial (quando sai da plataforma). Relacionar os valores obtidos com a velocidade de escape da Terra e da Lua.	Aprender sobre forças, movimento de projéteis, velocidade e velocidade de escape.	Completar atividade 1. Plataforma lançamento (Anexo 1 or 2). Espaço aberto para poder lançar o foguetão.	45 minutos
3	Voo tripulado	Calcular a aceleração dos foguetões à medida que vai atravessando a atmosfera. Relacionar com as forças G sentidas pelos astronautas.	Aprender sobre aceleração e forças G.	Completar a atividade 2.	45 minutos

→ Introdução

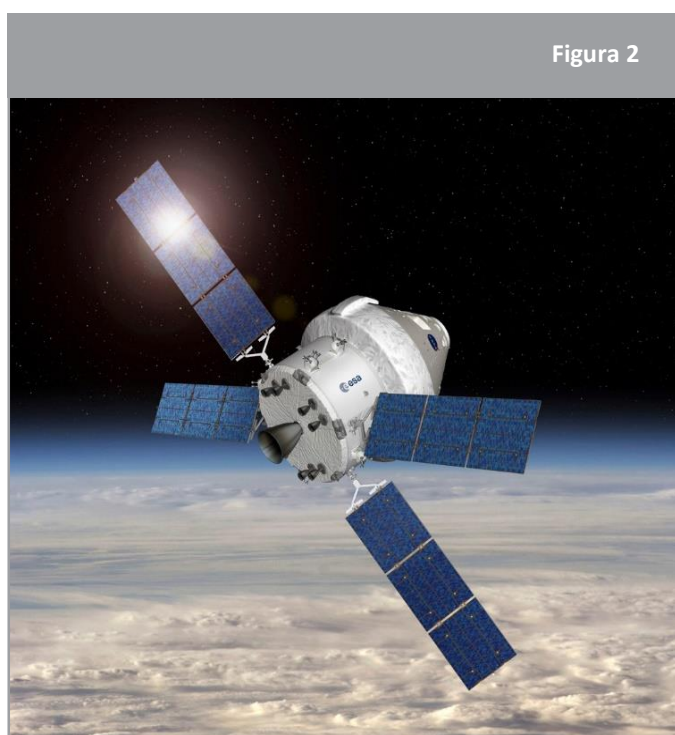
As agências espaciais utilizam regularmente foguetões para enviar mantimentos ou astronautas para a Estação Espacial Internacional (ISS), transportarem sondas que vão explorar o Sistema Solar e para lançar satélites que vão orbitar a Terra. Estes foguetões variam na seu tamanho, design e tipo de combustível que usam, tudo depende do seu objetivo.

A família de veículos espaciais da ESA inclui o Vega, Vega-C e o Ariane 5. Neste momento está a ser desenvolvido um foguetão mais eficiente: o Ariane 6 (Ariane 62 e Ariane 64). Estes foguetões, são capazes de lançar satélites e sondas espaciais com objetivos de missão diferentes – desde comunicações a sondas que exploram o sistema solar. Todos eles têm propulsores bastante potentes que lhes permitem escapar da atração do campo gravítico do Terra.



↑ “Família” de veículos de lançamento (foguetões) da ESA

A ESA lança os seus foguetões do seu porto especial localizado na Guina Francesa, América do Sul, localizado 500 km a norte da linha do Equador. A Terra roda mais rápido junto ao Equador e os foguetões podem aproveitar esse efeito, como se fosse uma fisga, para aumentarem a sua velocidade. Esta diferença é tão grande, que os foguetões podem aumentar a sua velocidade até mais 460 m/s só por se encontrarem numa região próxima do equador. A ESA tira partido deste efeito que poupa combustível e dinheiro. A localização deste porto especial também é ideal para lançar satélites para orbitas geoestacionárias. A segurança também é fundamental. A Guina Francesa é um país com uma densidade populacional baixa e composto por 90% de floresta tropical. É também um local onde ocorrem poucos fenómenos meteorológicos extremos (como ciclones) e onde também se registam poucos sismos. Todos estes fatores fazem do porto especial da ESA um dos melhores do mundo.



↑ Orion com o Módulo de Serviço Europeu

Para transportar Astronautas até à Lua, temos de usar um foguetão bastante poderoso. Um dos foguetões mais potentes alguma vez lançado foi o Saturno V, que levou os humanos à Lua durante o programa Apollo, nos anos 60 e 70 do século XX. Desde de então que mais nenhum humano visitou o nosso satélite.

A NASA e a ESA estão em parceria a desenvolver o veículo especial Orion. A ESA é responsável por criar o Módulo de Serviço Europeu (European Service Module). Este novo veículo especial, será lançado através de foguetões de nova geração e vai permitir aos astronautas chegarem mais longe...à Lua, a asteroides ou até mesmo a Marte.

Nesta série de atividades, os alunos vão sentir-se verdadeiros engenheiros Aeroespaciais ao projetar e lançar o seu foguetão para tentar chegar à Lua!

→ Atividade 1: constrói o teu foguetão de papel

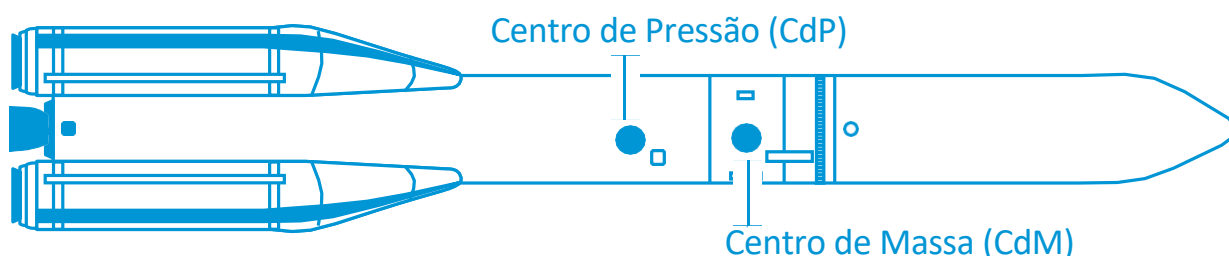
Nesta atividade os alunos vão construir um foguetão de papel e encontrar o seu centro de massa e de pressão. O objetivo é tentarem tornar o foguetão o mais aerodinâmico possível. Os alunos vão também testar a estabilidade do foguetão e debater que variáveis influenciam a performance do mesmo.

Materiais por grupo

- Ficha de estudante
- 2 folhas de papel A4
- Tesouras
- Fita cola
- Plasticina
- Cartão
- Materiais do Anexo 3

Exercício

1. Dividir a turma em grupos de 3 e pedir que construam um foguetão utilizando apenas os materiais fornecidos. É importante realçar que o foguetão tem de encaixar no Sistema de lançamento que se preparou previamente. Deve-se incentivar a criatividade dos alunos e os mesmos têm de decidir o seu tamanho (comprimento) e o número de fins (asas laterais ou estabilizadores). No Anexo 3, existem exemplos de um cone para o “nariz” do foguetão e para os estabilizadores, estes exemplos podem ser utilizados ou podem servir de inspiração.
2. Pedir aos estudantes que encontrem o Centro de Massa (CdM) do foguetão. O CdM é uma posição média onde se está concentrada a massa do sistema, normalmente representada por um ponto. Os alunos podem encontrar este ponto ao tentarem balançar o foguetão num fio. O CdM também pode ser chamado de Centro de Gravidade. No entanto eles só são equivalentes, se o campo gravítico no local for uniforme, por exemplo, na Terra.
3. Pedir aos estudantes que encontrem o Centro de Pressão (CdP). O CdP, corresponde ao centro geométrico do foguetão e é onde todas as forças aerodinâmicas atuam. Se o interior do foguetão for homogéneo, o CdM e o CdP deverão ser coincidentes. Também podemos encontrar o CdP de forma indireta, adicionando as forças individuais que se fazem sentir nas asas, cauda, estabilizadores, superfície do foguetão e atrito, etc. Estes cálculos não são fáceis de efetuar, uma forma mais simples de encontrar este ponto é tentar equilibrar numa superfície direita, uma copia da silhueta (como se fosse um modelo 2D) do foguetão em cartão.
4. Os alunos devem assinalar ambos os pontos (CdM e CdP) no seu foguetão e debater a posição em que eles se encontram. Com um cordel colado com fita cola num dos pontos, os alunos deverão efetuar um teste de balanço. Ao rodar o cordel com o foguetão em posições, os alunos devem tentar compreender e debater as diferenças entre as mudanças de posição e localização destes pontos e como é que estes fatores afetam a estabilidade do foguetão.
5. Exemplo da posição do CdM e do CdP para o foguetão ser estável.

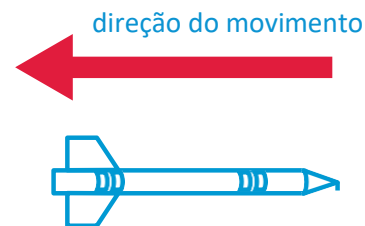




Voou estável. O nariz está virado para o sentido de movimento. O CdM está também à frente do CdP. Será a configuração ideal.



Cambalhotas ou movimento errático. O CdM e o CdP estão próximos.



Foguetão a voar ao contrário. O CdP está à frente do CdM. Poderá ter alguma estabilidade, depende do design.

7. Na tabela seguinte estão algumas variáveis que devem ser testadas e que influenciam o voo e o lançamento dos foguetões.

Variável	Se alterarmos esta variável o que vai acontecer ao foguetão?
Numero de asas ou estabilizadores	Como mais peso na parte traseira do foguetão, o centro de massa vai se alterado. Também pode alterar o centro de pressão, se a área da superfície passar a ser diferente. Se os estabilizadores não estiverem em simetria ou devidamente posicionados também vamos afetar a estabilidade e o atrito.
Tamanho e forma das asas ou estabilizadores	Estabilizadores maiores vão alterar o centro de pressão.
Condições meteorológicas	Dependendo do nosso design, as condições meteorológicas podem facilitar, dificultar ou tornar impossível o nosso voo ou lançamento. Por exemplo, um foguetão com estabilizadores ou asas compridas será afetado por ventos fortes. No nosso caso, um foguetão de papel, não será ideal para voar à chuva.
Comprimento do Foguetão	O comprimento vai afetar o centro de pressão: Se o comprimento for demasiado pequeno, perde a sua capacidade aerodinâmica; por outro lado se for demasiado comprido, não terá sustentação.
Massa do foguetão	A distribuição de massa(peso) irá influenciar o centro de massa. Um nariz pesado irá fazer com que o CdM se desloque para a frente do foguetão. Experimentem alterar a massa do foguetão com plasticina.

Nota: Com acesso à internet, podemos fazer download de uma ferramenta que ajuda a simular a construção de foguetões - <http://openrocket.info/>. É possível alterar as dimensões, o design e compreender as posições do centro de massa e do centro de pressão.

→ Atividade 2: Lança o teu foguetão

Nesta atividade vamos explorar como a matemática é uma parte fundamental de engenharia aeroespacial. Os alunos vão aprender o que são forças, que forças temos de considerar e a desenhar um diagrama de forças. Antes e depois do lançamento, vão ter de ser feitos cálculos de trajetórias e velocidade.

Materiais

- Ficha de atividades
- Sistema de lançamento (ver anexo 1 e 2)
- Foguetão de papel (atividade 1)
- Fita métrica (min 3m)
- Transferidor

Aviso de segurança

Garantir que a area de lançamento e a zona envolvente não tem pessoas. Não apontar o Sistema de lançamento à face e sempre que possível, usar olhos de proteção

Exercício

Para lançar os foguetões é necessário um espaço amplo, aberto e, de preferência, plano. Se a plataforma de lançamento utilizada for igual à do Anexo 2, os foguetões podem voar cerca de 100m. Tudo irá depender da potência do Sistema de lançamento. A pressão não deverá ultrapassar os 7 bar.

Deixar os estudantes debater qual o melhor ângulo para efetuar o lançamento do foguetão. Qual será o ângulo que irá permitir ao foguetão chegar mais longe? Esta é uma pergunta que deverá ser debatida. Os estudantes no primeiro lançamento devem todos usar o mesmo ângulo, após o primeiro lançamento os mesmos poderão explorar até encontrar o ângulo ideal.

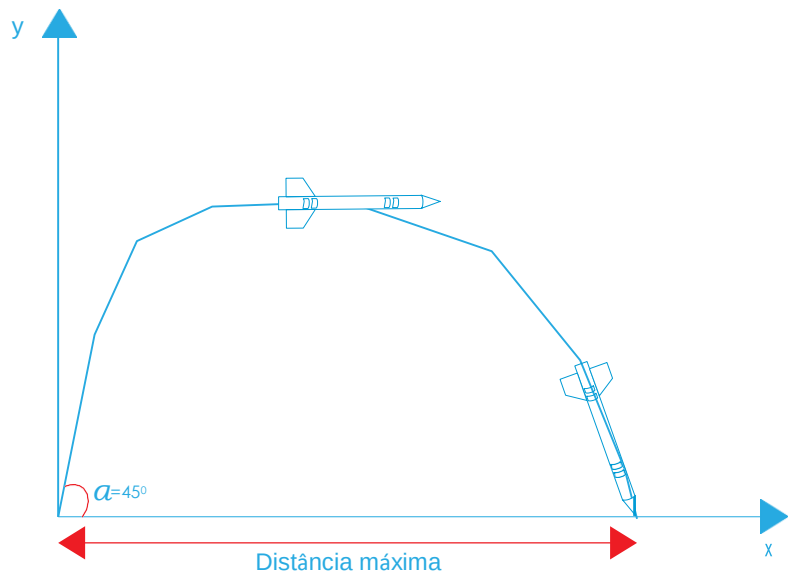
No anexo 3 encontra-se uma tabela onde se devem apontar os resultados dos lançamentos de cada grupo. Pode ser efetuada uma pequena competição para motivar os estudantes.

Após todos os lançamentos efetuados, debater como é que os foguetões são capazes de acelerar na vertical e porque é o seu trajeto descreve uma parábola. Apesar de alguns alunos poderem estar familiarizados, falar sobre as três leis do movimento (as três de Leis de Newton) e sobre a ação que a gravidade tem nos corpos.

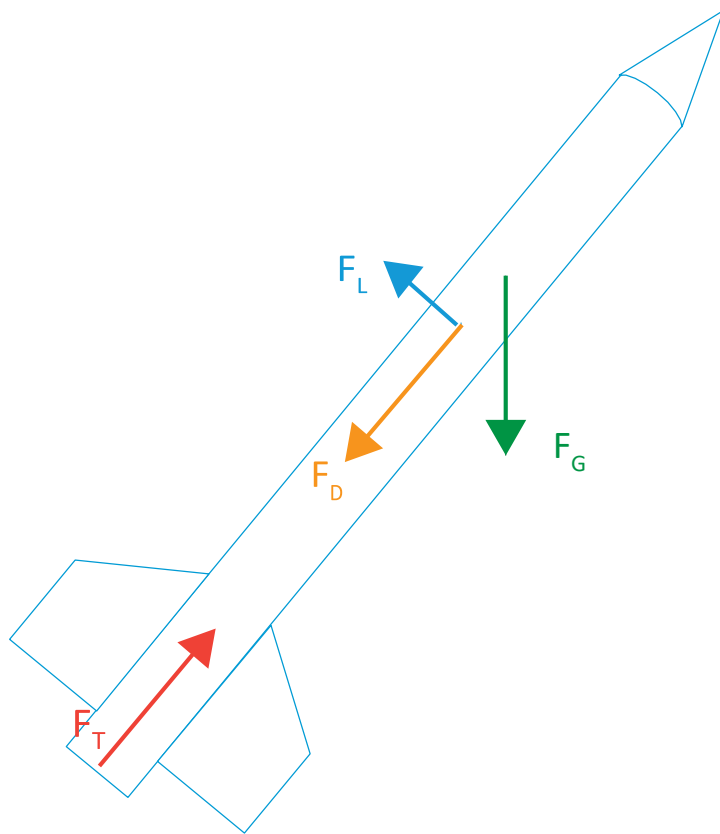
Introduzir o conceito de velocidade de escape e velocidade orbital. Comparar o lançamento de um foguetão de papel com o foguetão real que seria capaz de levar os astronautas até à Lua (exemplo, Saturn V).

Resultados

1. Esquema da trajetória aproximada que o foguetão irá percorrer.
2. Para maximizar a distância percorrida, o foguetão deverá ser lançado a 45°
4. Condições iniciais que possam influenciar a trajetória do foguetão:
 - Vento
 - Velocidade inicial (V_0)
 - Ângulo de lançamento



5. Diagrama de forças que atuam no foguetão durante a trajetória descrita no gráfico.



$F_T = \text{Impulso (thrust)}$

O impulso, ou a força de impulsão, só irá atuar durante um breve período de tempo, mas, será responsável por dar movimento ao foguetão e fazer com que este voe.

$F_G = \text{Força da Gravidade}$

A ação e o valor desta força serão Aproximadamente constantes durante todo o trajeto.

$F_D = \text{Força de Atrito (Drag)}$

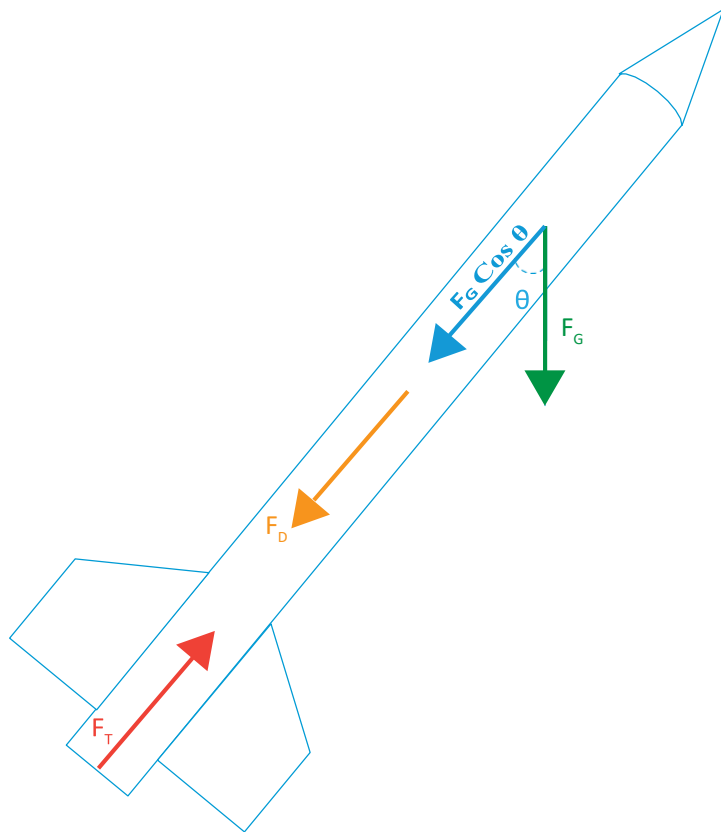
A força de atrito depende da densidade, viscosidade e compressibilidade do ar. Vai depender também da velocidade, forma e inclinação do foguetão.

$F_L = \text{Sustentação (lift force)}$

Tal como o atrito, a sustentação, depende da densidade, viscosidade e compressibilidade do ar. Vai depender também da velocidade, forma e inclinação do foguetão. Para esta atividade vamos considerar que a sustentação é negligenciável.

6.
 - a. No foguetão real da ESA (ex: Ariane 5) esta fase irá demorar alguns minutos, enquanto que no nosso foguetão de papel, irá demorar aproximadamente 1 segundo.
 - b. Na direção do movimento, a resultante das forças, F , é dada por:

$$F = -F_D + F_T - F_G \cos \theta$$



Onde **F** corresponde a: $F=ma$, **m** corresponde ao valor da massa e **a** o valor da aceleração.

F_T corresponde a: $F_T=-u_e dm/dt$, u_e corresponde à velocidade de escape dos gases (à medida que são expelidos do foguetão) e dm/dt é a variação da massa do foguetão ao longo do tempo.

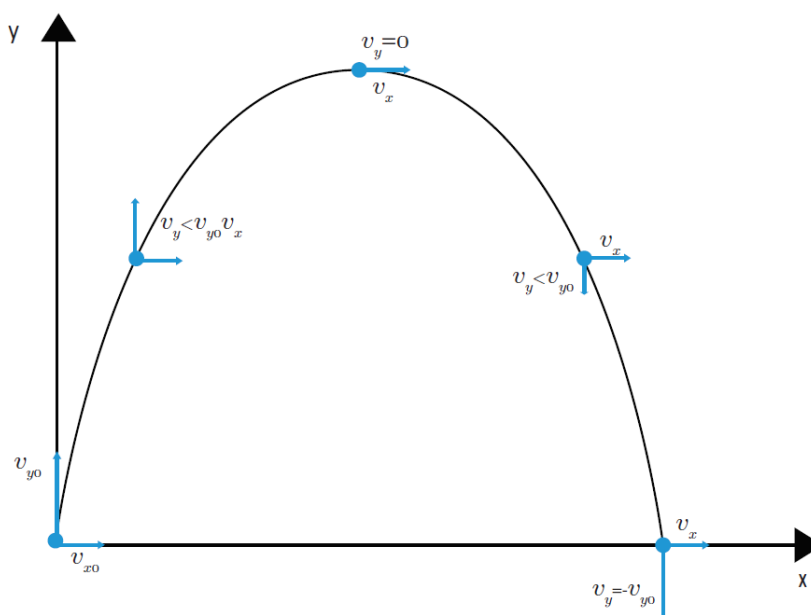
$F_G \cos \theta$ corresponde ao valor da força da gravidade em relação à direção do foguetão. $F_G=mg$, **m** é a massa e **g** é aceleração da gravidade. **θ**

É o ângulo entre a direção do movimento e F_G . F_D corresponde ao atrito.

c. Ao substituir os termos e dividir por **m**, podemos obter o valor da aceleração:

$$a = -\frac{F_D}{m} - \frac{u_e}{m} \frac{dm}{dt} - g \cos(\theta)$$

7. a. Gráfico com as componentes de velocidade horizontal e vertical. Os alunos devem debater as forças que atuam no foguetão em cada uma das fases e porque é que a sua resultante é um movimento parabólico.



7. b. Durante a fase de lançamento, o foguetão acelera rapidamente enquanto está na plataforma. Depois da descolagem, não há mais impulso. Ignorando o atrito, isso significa que não há forças a serem exercidas no **eixo x** do foguetão, portanto, tendo em conta a primeira lei de Newton, o componente de velocidade **x** (v_x) é constante. No **eixo y**, a força da gravidade atrai foguetão na direção do centro da Terra (perpendicular à superfície), portanto, o componente de velocidade **y** (v_y) não irá ser constante.

8. Equação da velocidade:

$$v = \sqrt{\frac{d \cdot g}{\sin(2\alpha)}}$$

9. Supondo uma distância de **d = 40 m**, e um ângulo **$\alpha = 45^\circ$** :

$$v = \sqrt{\frac{40 \times 9.81}{\sin(2 \times 45^\circ)}} \quad v = \sqrt{\frac{392.40}{1}} = 19.81 \text{ m/s}$$

10. $v = \left(\frac{19.81}{1000}\right) \times 60 \times 60 = 71.3 \text{ km/h}$

11. A velocidade de escape (v_e) da Terra, também pode ser calculada:

$$v_e = \sqrt{\frac{2 \times 6.67 \times 10^{-11} \times 5.97 \times 10^{24}}{6.371 \times 10^6}} = 1.12 \times 10^4 \text{ m/s} = 4.03 \times 10^4 \text{ km/h}$$

12. E como calcular a velocidade para colocar o foguetão em órbita a uma altitude de 300 km?

$$v_{\text{orbital}} = \sqrt{\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 5.97 \times 10^{24}}{6.371 \times 10^6 + 3.00 \times 10^5}} = 7.73 \times 10^3 \text{ m/s} = 2.78 \times 10^4 \text{ km/h}$$

Onde **r** é o raio da órbita, partindo do centro da Terra: 6371 km + 300 km.

13. Comparando com o exemplo da questão 9: $2.78 \times 10^4 / 71.3 = 390$

A velocidade necessária é 390x superior à do nosso foguetão de papel.

14. A velocidade de escape da Lua será inferior à velocidade de escape da Terra. Os valores da aceleração da gravidade na Lua e a relação entre massa e raio são inferiores aos da Terra.

15. A velocidade de escape (v_e) da Lua, pode ser calculada da seguinte forma:

$$v_e = \sqrt{\frac{2 \times 6.67 \times 10^{-11} \times 7.35 \times 10^{22}}{1.737 \times 10^6}} = 2.38 \times 10^3 \text{ m/s} = 8.57 \times 10^3 \text{ km/h}$$

16. Porque a velocidade de escape da Lua é inferior à da Terra, a quantidade de energia necessária para o lançamento também será inferior (o que significa menos combustível). Isto facilita o lançamento de foguetões da Lua, sobretudo se a sua carga (payload) for elevada.

Discussão

Realizar um resumo dos projetos. Que alterações cada grupo fez no seu foguetão? Funcionaram? Em casa afirmativo ou negativo, justificar a resposta.

Questão de debate adicional: Tendo em conta os cálculos realizados, haveria alguma vantagem em enviar foguetões da Lua para explorar outros locais do Sistema solar, como Marte? Como a velocidade de escape e a velocidade orbital da Lua são muito inferiores às da Terra, seria necessária uma menor quantidade de combustível, o que significa que poderíamos reduzir o custo de cada foguetão. Outro fator que os alunos podem discutir (e calcular) é a diferença de velocidade ao lançar de um ponto próximo da linha do equador terrestre.

Que simplificações ou que valores foram assumidos nos vossos cálculos? Nos exemplos apresentados, não foram incluídas as forças de atrito. Esta irá aumentar à medida que aumenta a velocidade e também irá variar com a variação da composição da atmosfera (num lançamento real). Incentivar os alunos a debater onde será mais relevante as forças de atrito. Se incluirmos as forças de atrito nos nossos cálculos, quais serão as diferenças entre a Terra e a Lua? Como na Lua o efeito da atmosfera é desprezável, os valores das forças de atrito também serão diferentes dos da Terra. Mesmo tendo em conta o atrito, continuará a ser mais fácil fazer um lançamento da superfície lunar, comparativamente com um lançamento da superfície terrestre.

→ Atividade 3: Voo tripulado

Nesta atividade os alunos vão trabalhar forças, forças-G e aceleração. Eles vão explorar os cuidados que são necessários a ter quando são enviadas missões tripuladas para o espaço.

Exercício

Caso o exercício não venha na sequência dos anteriores ou tenha existido um intervalo temporal relevante, introduzir aos alunos as três leis de Newtons e o que é a força da gravidade (aceleração gravítica).

Resultados

1. Colocando o tempo (t) em evidência nas equações (1) e (2) e juntando-as, ficamos com:

$$\frac{2s}{u+v} = \frac{v-u}{a}$$

resolvendo para a :

$$a = \frac{v^2 - u^2}{2s}$$

2. Se a velocidade inicial (v_0) for $u = 0$ m/s. Tendo em conta os resultados da atividade 2, questão 9, vamos ter:

$$a = \frac{19.81^2 - 0^2}{2 \times 0.3} = \frac{392.4}{0.6} = 654 \text{ m/s}^2$$

3. Os alunos têm de calcular a força G no momento do lançamento. A força G não é uma força, per si, mas uma razão entre a aceleração total a atuar num corpo e a aceleração devido à gravidade da Terra. Utilizando a resposta anterior, temos:

$$G_{\text{force}} = \frac{654}{9.81} = 67$$

67 vezes a força devido à gravidade da Terra

Discussion

Debater com os alunos o porquê de um astronauta apenas sentir 3 a 6 G s, enquanto a força exercida no foguetão é 67 G s (67 vezes superior à força da gravidade na Terra).

Na vida real, um humano não suporta 67 G s. A quantidade de força G que um humano pode aguentar, também está dependente de quanto tempo a esta força, este é exposto: desde de alguns segundos até vários minutos. As forças G **dependem da aceleração e não da velocidade**. A aceleração corresponde às alterações de velocidade ao longo do tempo. Para uma missão tripulada, a aceleração num foguetão tem de ser menor e os veículos demoram mais tempo a atingir as velocidades necessárias (velocidade de escape e velocidade orbital).

No final de realizar as três experiências, pedir aos alunos que façam um pequeno relatório onde avaliem os resultados que obtiveram e indicam como seria possível melhorarem os seus projetos se voltassem a repetir a atividade.

→ 3...2...1 Descolagem!

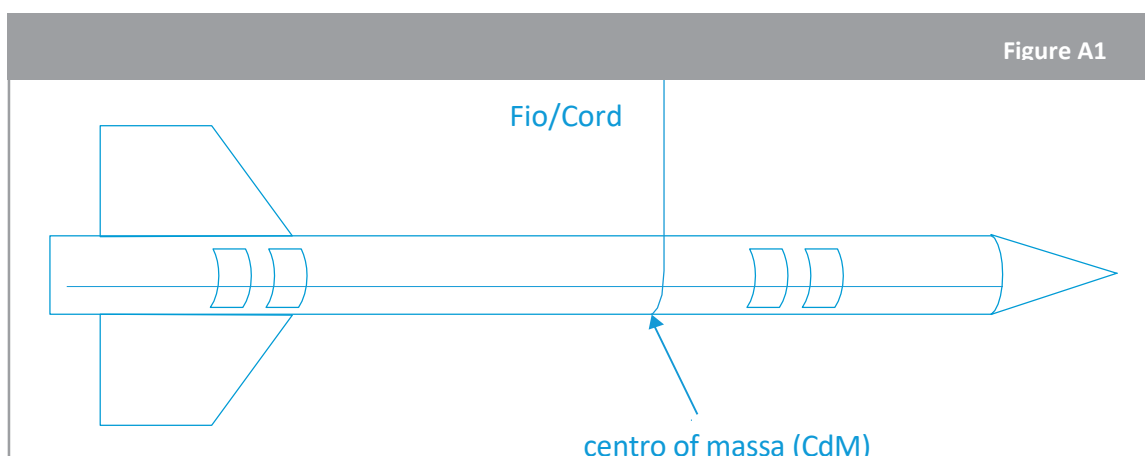
Constrói o teu foguetão de papel

→ Atividade 1: Constrói o teu foguetão de papel

A teoria por detrás de um foguetão de papel é a mesma que para foguetões reais. Nesta atividade vais projetar e construir o teu próprio foguetão e utiliza-lo para explorar algumas variáveis que podem afetar a sua performance e estabilidade.

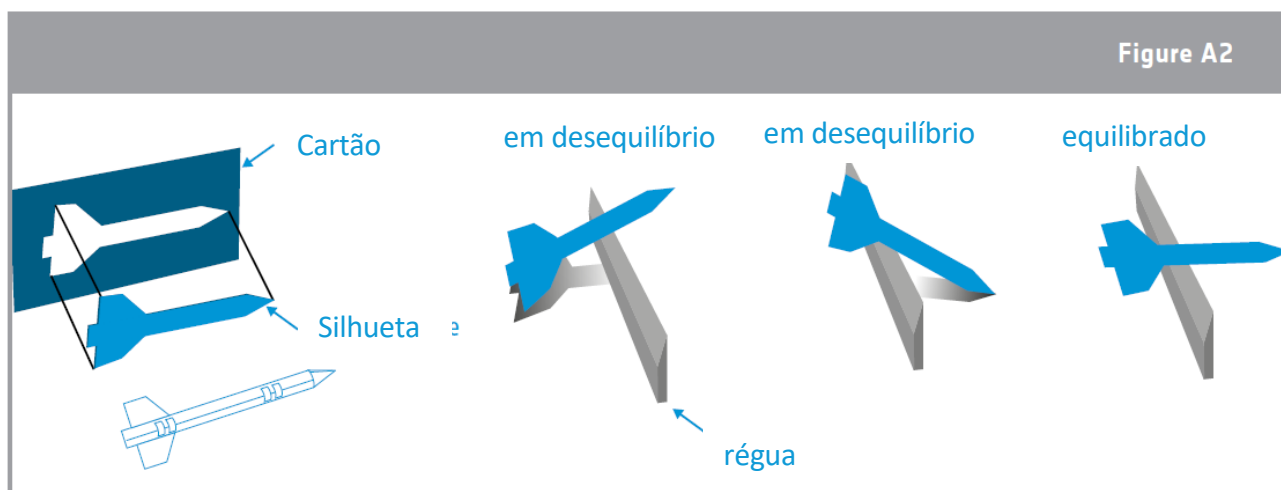
Exercício

1. Constrói um foguetão de papel, utilizando o material que te foi fornecido. Tens Liberdade para o construir da forma que achares mais correta, lembra-te que tem de encaixar no Sistema de lançamento.
2. Encontra o centro de massa (CdM) do teu foguetão. O CdM representa um ponto médio, onde toda a massa do corpo está concentrada. Podes fazer isto colando ou atando o teu fio/cordel ao foguetão, como está indicado na figura. Marca com um lápis o local que achas que corresponde ao CdM do teu foguetão.



↑ Ilustração de como encontrar o CdM: O foguetão tem de estar equilibrado no ponto em que o cordel tiver fixo, se o foguetão não estiver equilibrado, esse local não é o centro de massa.

3. Encontra o centro de pressão (CdP). Esta é o ponto médio da pressão que atua no foguetão e, neste caso, pode ser encontrada localizando o ponto de equilíbrio cortando uma silhueta do seu foguete em cartão e equilibrando-a numa borda ou régua. Marca a CoP no foguetão.

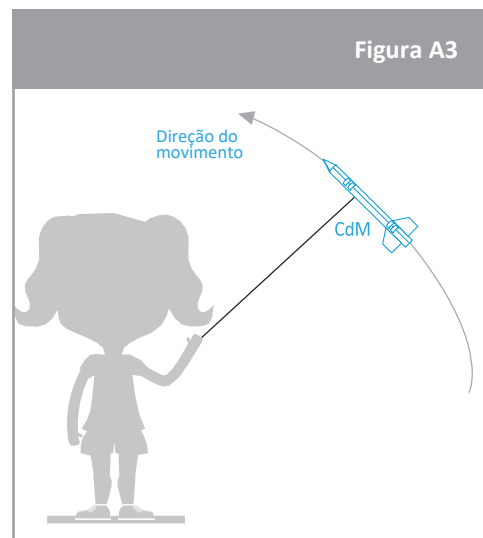


↑ Ilustração de como encontrar o CdP. O CdP encontra-se no ponto em que a silhueta de cartão se encontra em equilíbrio.

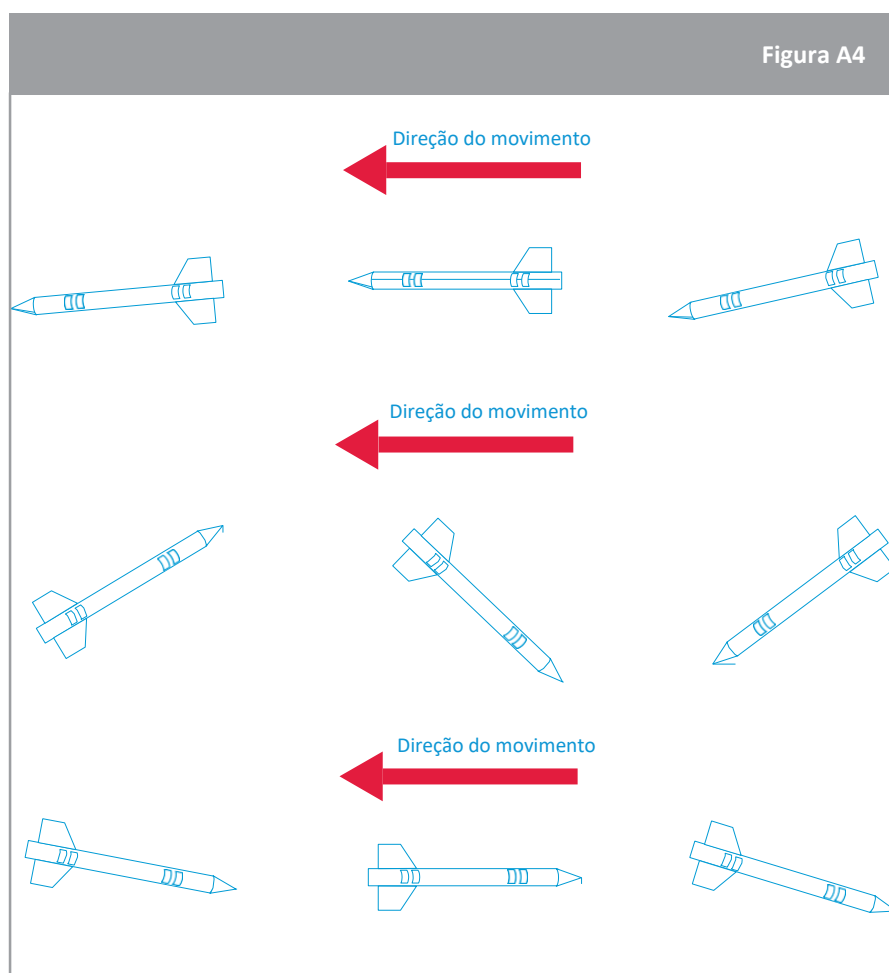
4. Indica a distância entre o centro de massa (CdM) e o centro de pressão (CdP)? _____ cm
5. O centro de pressão está “à frente” do centro de massa? Yes / No
6. Podes simular um teste como se estivesses num tunel de vento: Agarra um fio/cordel ao centro de massa e começa a movimentar o foguetão num movimento circular, tal como vês na imagem:

Analisa a estabilidade do teu foguetão e aproveita para observar também os foguetões dos teus colegas. Tentem modificar o local onde o fio está colocado, a direção do movimento e a massa à frente ou atrás do foguetão.

Responde às seguintes perguntas:



↑ Teste de movimento. O fio/cordel está colocado no CdM.



Qual a posição relativa entre CdM e do CdP em cada uma das situações (frente, trás ou coincidentes):

1	_____

2	_____

3	_____

↑ Ilustração de comportamentos possíveis, do foguetão de papel, durante os testes.

7. O teu foguetão estava alinhado com a direção do movimento durante todos os testes? Se não, que mudanças serão necessárias fazer?

8. Preenche a seguinte tabela com as variáveis que acham que influenciam a velocidade do teu foguetão e descreve a forma como influenciam.

Tabela A1	
Variáveis	Descrição
Número de asas/estabilizadores	
Tamanho e forma dos estabilizadores	

↑ Variáveis a considerar na construção de um foguetão que influenciam a sua estabilidade.

9. Dá um nome ao teu foguetão: _____

Sabias que...

Um foguetão real, está dividido em pequenos foguetões (estágios). Cada um destes foguetões mais pequenos tem um propulsor próprio e a sua reserva de combustível. A parte dianteira é chamada de nariz e é onde vai a massa útil (payload) como satélites ou astronautas. Normalmente esta massa útil apenas corresponde a 10% da massa total do foguetão. Os outros 90% são maioritariamente combustível.

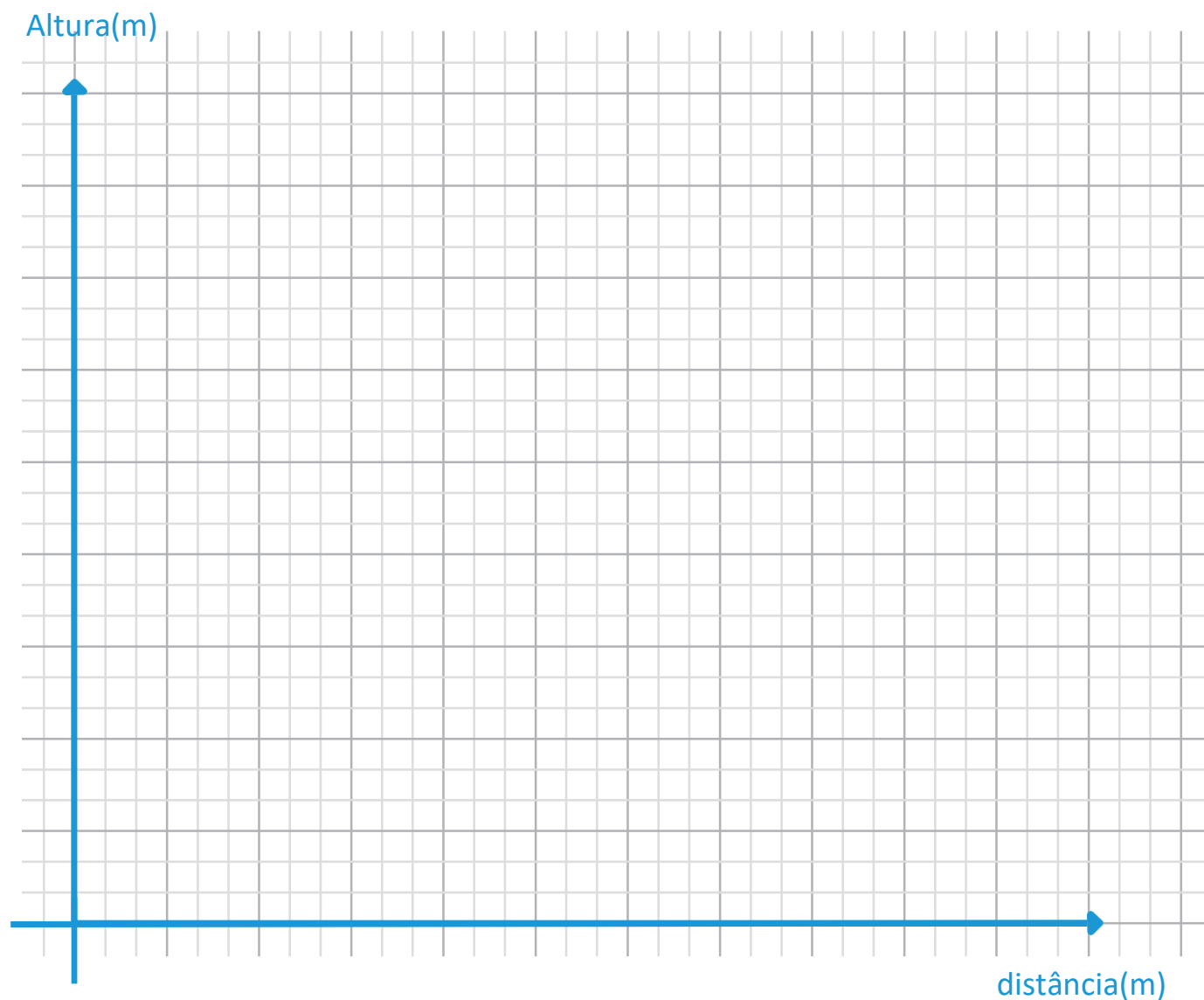


→ Atividade 2: Lança o teu foguetão

Estás pronto para lançar o teu foguetão? Nesta atividade vamos utilizar os resultados para calcular a sua velocidade e o quão rápido teria de se deslocar para chegar à Lua.

Exercise

1. Antes de efetuar os lançamentos, debate com os teus colegas e faz uma previsão da trajetória do teu foguetão, desde do momento do lançamento até atingir o chão.



2. A que ângulo, relativamente ao chão, tens de efetuar o lançamento para maximizar a distância (na horizontal) que o foguetão atinge?

3. Qual foi a distância máxima que conseguiste?

4. A trajetória prevista, correspondeu à realidade? [Sim](#) / [Não](#)

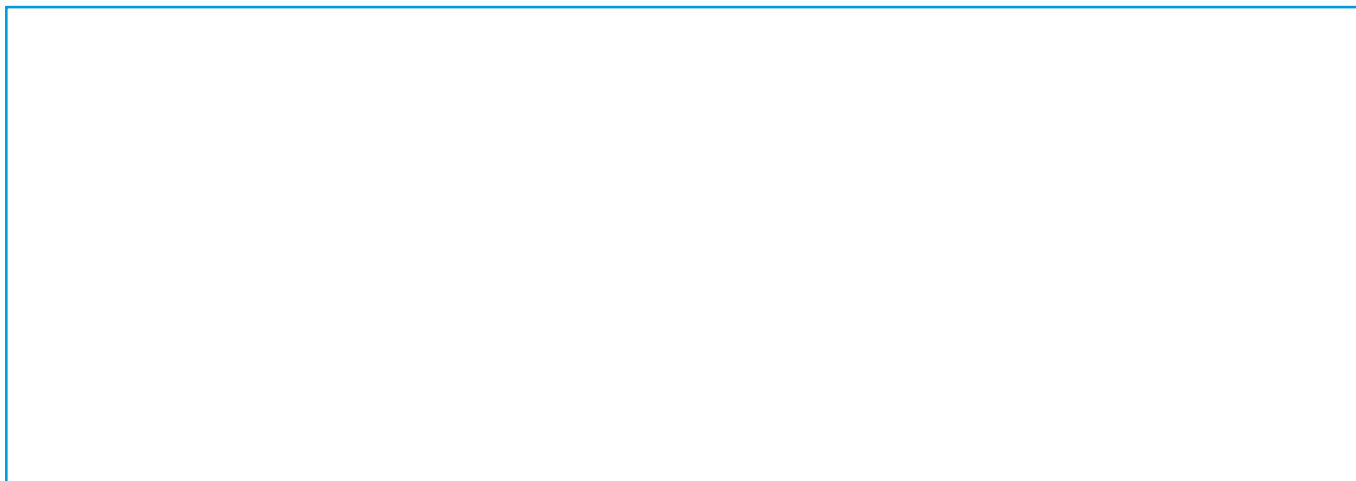
Com base nos teus resultados, identifica 3 fatores que influenciaram o lançamento do teu foguetão.

a. _____

b. _____

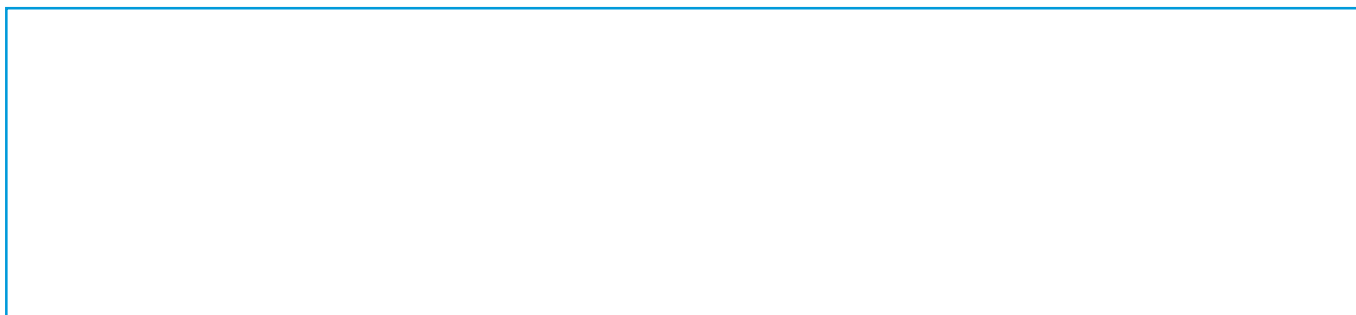
c. _____

5. Desenha um diagrama de forças, realçando as forças se fazem sentir em num foguete durante a fase de ascensão (quando a propulsão é efetiva).



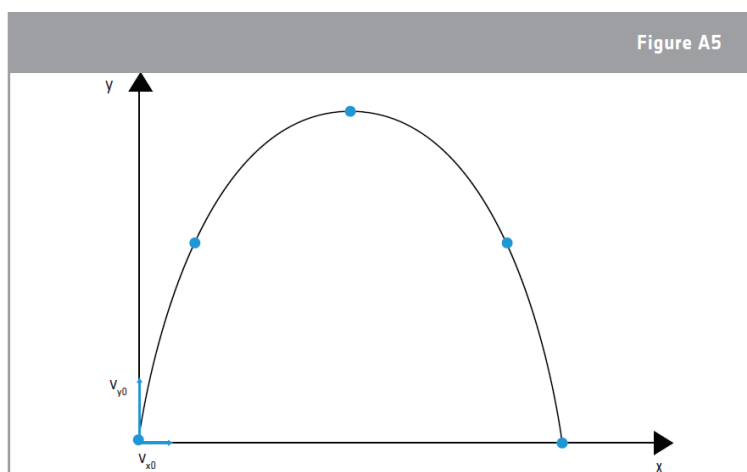
6. a. Quanto tempo achas que dura a propulsão efetiva num foguetão real? E no teu foguetão de papel?

- b. Escreve a equação da força (F) resultante no foguetão (Considera apenas as forças na direção de movimento do foguetão).



c. Encontra a expressão da aceleração do foguetão.

7. a. Completa o gráfico com as componentes de velocidade horizontal (v_x) e a componente de velocidade vertical (v_y) do foguetão nos pontos assinalados na parábola. Já estão desenhados os vetores de velocidade inicial v_{x0} e v_{y0} . Deves considerar as forças que atuam no foguetão durante o voo e pensar porque é que ele descreve este tipo de trajetória. Não estamos a considerar os efeitos da resistência do ar (atrito) nesta questão.



↑ Ilustração do movimento parabólico que o foguetão de papel descreve.

b. Descreve a variação da velocidade ao longo do gráfico (tempo).

8. Para que um objeto siga uma trajetória parabólica perto da superfície da Terra (onde podemos assumir que o campo gravitacional seja uniforme), é possível mostrar que a distância, velocidade e ângulo de lançamento são dependentes:

Onde:

d = distância [m]

v = velocidade [m/s]

α = ângulo do lançamento

g = aceleração da gravidade [m/s^2]

$$d = \frac{v^2 \sin(2\alpha)}{g}$$

Rearranja a equação, colocando em evidência a velocidade:

9. Usa a medida da distância de voo do teu foguetão (em metros, utilizada no último exercício), com a equação da pergunta 8 para calcular a velocidade do foguetão no momento em que sai da plataforma de lançamento. Use $g = 9,81 \text{ m / s}^2$.

10. Converte o resultado para km/h? _____
11. Agora que já temos a velocidade inicial (V_0) do foguetão, vamos investigar como chegar à Lua! A seguinte equação mostra como se calcula a **velocidade de escape (V_e)**:

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

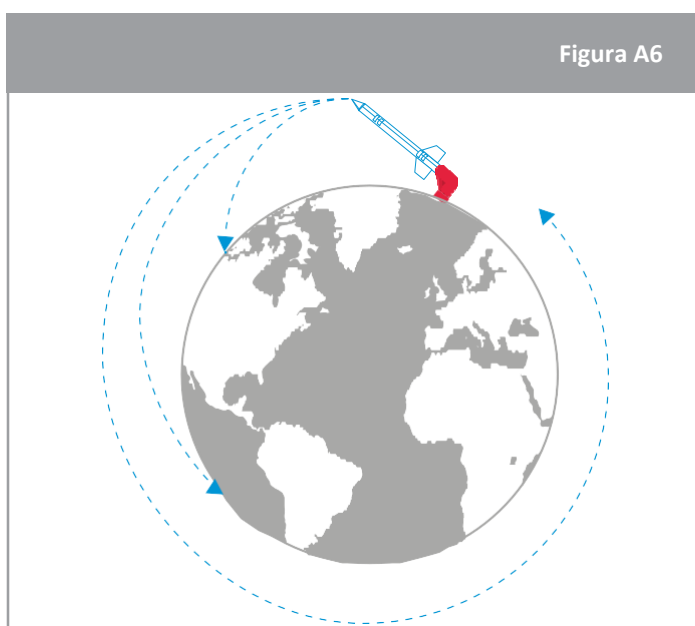
G é a constante gravitacional, $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$,

M é a massa da Terra, $M = 5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$,

r corresponde ao raio da Terra, $r = 6371 \text{ km}$.

Calcula a velocidade de escape da Terra (V_e).

Porque a velocidade de escape da Terra é elevada, atualmente lançamos os foguetões para órbita, antes de efetuar as manobras e correções para os enviar para outros locais. Se lançarmos os foguetões sempre na vertical, eles rapidamente regressão à Terra. Em vez disso, devemos lançar o foguetão com uma grande velocidade tangencial (velocidade paralela à superfície da Terra).



↑ Ilustração de lançamento com uma grande velocidade tangencial (paralela à superfície da Terra). Quando lançado com velocidade suficiente, consegue atingir a órbita terrestre.

12. Quanto maior a velocidade maior a distância que ele vai percorrer até cair à Terra. Em certo ponto, disparamos tão rápido que o foguetão não volta a cair! Ele fica em órbita! A velocidade necessária para isto acontecer, chama-se velocidade orbital (V_{orbital}). Podemos calcular a velocidade orbital da seguinte forma:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

G é a constante gravitacional, R é o raio da órbita (raio da Terra + Altitude), M é a massa da Terra.

Calcula a velocidade necessária para colocar um veículo especial numa órbita em torno da Terra a uma altitude de 300 km.

13. Compara com a velocidade do teu foguetão. Quantas vezes superior é esta velocidade?

14. Após uma alunagem, queremos voltar para a Terra ou partir para outro local no Sistema solar. Isto requer fazer uma descolagem da Lua. A velocidade de escape é diretamente proporcional à massa de um corpo e inversamente proporcional ao raio.

$$M_{\text{Lua}} = 7.35 \times 10^{22} \text{ kg}$$

$$r_{\text{Lua}} = 1737 \text{ km}$$

A velocidade de escape da Lua é superior à velocidade de escape da Terra? _____

15. Calcula o valor da velocidade de escape da lua:

16. Que vantagens tem descolar da Lua em relação a descolar da Terra, e como é que isso nos pode ajudar em futuras missões espaciais? Faz um pequeno texto onde elaboras estas questões.

Sabias que...

O Porto Espacial Europeu está localizado na Guiana Francesa, na América do Sul. A Terra roda mais rápido no equador e podemos utilizar este efeito como fígua. Este efeito aumenta a velocidade do foguetão 460 m/s, salvando combustível e dinheiro. A localização deste Porto Espacial também é ideal para colocar os satélites em órbitas geostacionárias.



→ Atividade 3: voo tripulado

Nesta atividade vamos abordar a influencia da aceleração e das forças num voo tripulado.

Exercício

Vamos voltar a analisar o voo do Foguetão de papel. Na atividade 2, pergunta 9, calculas-te a velocidade, v , do foguetão ao sair da plataforma de lançamento. Antes do lançamento, o foguetão estava em repouso, ou seja, a sua velocidade inicial, u , é 0 m/s. Vamos estimar a sua aceleração neste curto intervalo de tempo.

$$(1) \quad a = \frac{v-u}{t}$$

Onde

u = velocidade inicial

v = velocidade lançamento

a = aceleração

t = tempo

É difícil medir a diferença de tempo entre o repouso e o instante em que se dá a descolagem. Então vamos rescrever a equação sem o t . Podemos usar a aproximação da distância percorrida (s , que neste caso corresponde ao comprimento do tubo de lançamento) é igual à velocidade média multiplicada pelo tempo:

$$(2) \quad s = \frac{(u+v)}{2} t$$

1. Usa as equações (1) e (2) para encontrar uma expressão que indique a aceleração, a .

2. Assumindo que a aceleração é constante, usa a equação anterior para calcular a aceleração quando o foguetão sai da plataforma de lançamento. Considera o comprimento (s) 30 cm e usa a velocidade calculada na Atividade 2 (19.81 ms^{-1}).

Sabias que...

Uma força G não é uma força, mas uma razão entre a aceleração total de um objeto e a aceleração devido à gravidade da Terra. A exposição a altas forças G pode o corpo humano diferentes maneiras. Por exemplo, um estalo na cara pode impor centenas de G (brevemente localmente) causando pouco dano, mas a exposição constante a 16 G por um minuto pode ser mortal. Geralmente durante o lançamento, os astronautas podem experienciar entre 3 e 6 G! Estes treinam usando uma centrífuga como a da foto.



3. Calcula a força G que um astronauta sente no foguetão de papel durante o lançamento. Podes efetuar o calculo dividindo a aceleração da pergunta 2 por $g = 9.81\text{m/s}^2$.

→ Links

Recursos ESA

Model of a simple launch elbow that can be 3D printed

<https://esamultimedia.esa.int/docs/edu/1PBL.zip>

Moon Camp Challenge

esa.int/Education/Moon_Camp

Animations about how to get to the Moon

esa.int/Education/Teach_with_the_Moon/Travelling_to_the_Moon

ESA classroom resources

esa.int/Education/Classroom_resources

How rockets work

esa.int/kids/en/learn/Technology/Rockets/How_does_a_rocket_work

Missões ESA

Orion

esa.int/Our_Activities/Human_and_Robotic_Exploration/Orion

ESA Launch vehicles

esa.int/Our_Activities/Space_Transportation/Launch_vehicles/Europe_s_launchers

ESA Space Transportation

esa.int/Our_Activities/Space_Transportation

Ariane 6

ariane6.esa.int

Europe's spaceport

blogs.esa.int/spaceport

Informações Extra

Open rocket, a free rocket simulation tool

<http://openrocket.info>

To space! But on which rocket?

esa.int/spaceinimages/Images/2019/06/To_space!_But_on_which_rocket

→ Anexo 1: Preparar um Sistema de lançamento simples

Com uma garrafa de plástico e um cotovelo de lançamento impresso em 3D podemos construir uma plataforma de lançamento que os alunos podem utilizar para lançar um foguetão de papel. Com acesso a uma impressora 3D é possível imprimir um cotovelo que prende a garrafa ao foguetão. (<https://esamultimedia.esa.int/docs/edu/1PBL.zip>). Se não tiver acessos a uma impressora 3D, pode recorrer a um MakerSpace (ou equivalente) ou serviços online de impressão. Este cotovelo pode ser substituído por uma versão DIY, por exemplo, usando cartão. Também pode ser comprado em lojas de ferragens e equipamentos de construção, na área de canalização.

Materiais

- 1 folha de papel A4
- 1 cotovelo
- 1 garrafa de plástico com 500 ml

Montagem

1. Enrolar um pedaço de papel em uma forma de um cilindro bem apertado.
2. Inserir o cilindro no cotovelo de lançamento e soltar para que este se desenrole do mesmo tamanho que o orifício do cotovelo de lançamento.
3. Enroscar a garrafa de água no outro lado do cotovelo de lançamento.
4. O sistema de lançamento de foguetes está pronto.

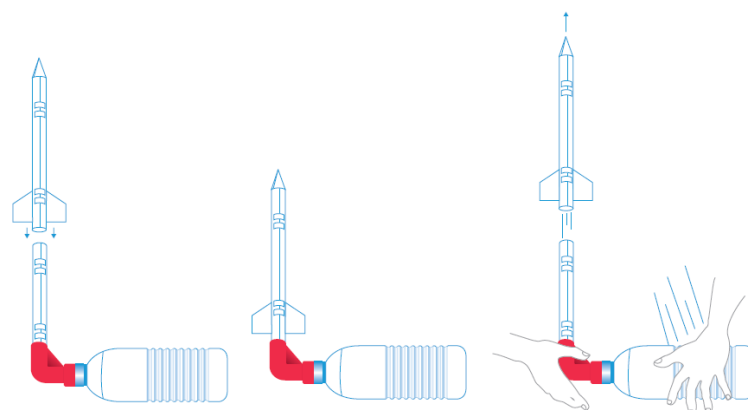


Figura 1

↑ Sistema de lançamento do foguetão

Utilização do sistema

1. Introduzir o foguetão no tubo de papel ligado ao cotovelo de lançamento.
2. Colocar o sistema de lançamento e o foguetão no chão.
3. Pisar ou pressionar com força a garrafa para lançar o foguetão.



→ Anexo 2: Preparar uma plataforma de lançamento pressurizada

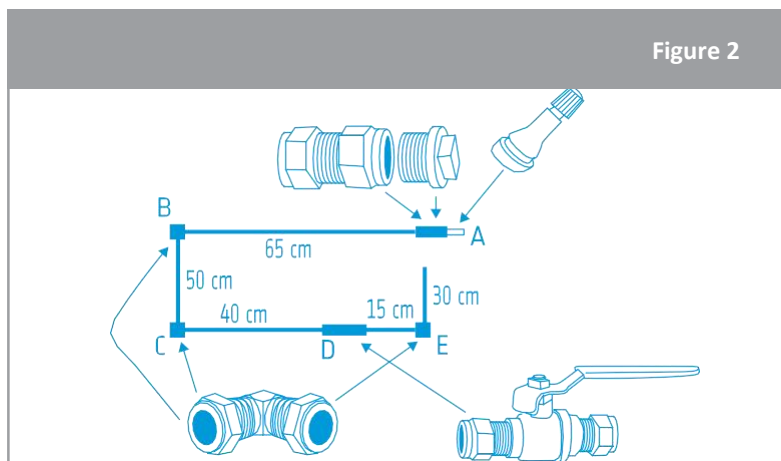
Instruções para construir uma plataforma de lançamento de foguetões com ar comprimido.

Materiais

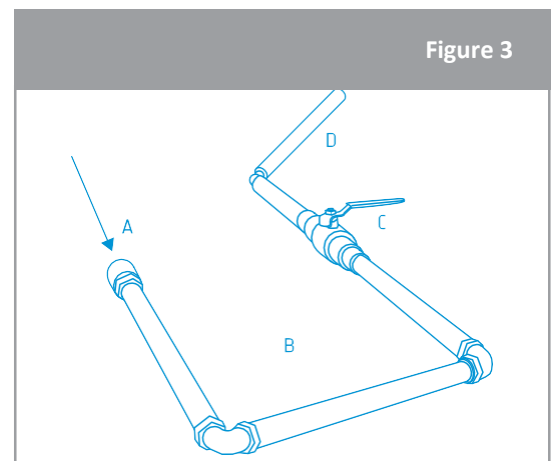
- Tubos metálicos (diâmetro: 22 mm, comprimentos: 65 cm, 50 cm, 40 cm, 30 cm, 15 cm)
- 3 juntas de ligação angulares (cotovelos)
- 1 junta de ligação sem angulo
- 1 bujão
- 1 válvula esférica
- 1 válvula de ar
- Bomba de ar ou compressor

Montagem:

1. Fazer um furo no bujão do tubo e inserir a válvula.
2. Conectar a válvula à junção do tubo.
3. Não apertar demais a junção do terceiro ângulo, pois permite alterar o ângulo de lançamento do foguetão.
4. Ligar o restante dos tubos e junções de tubos, como indicado abaixo:



↑ Representação do Sistema de lançamento. A – Ligação direta entre o bujão, válvula de ar e onde se encaixa o compressor; B – cotovelo; C – cotovelo; D – válvula esférica, para libertar a pressão; E – cotovelo



↑ Diagrama do Sistema montando.

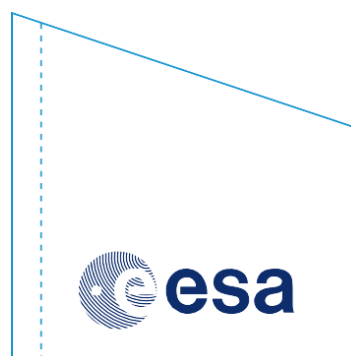
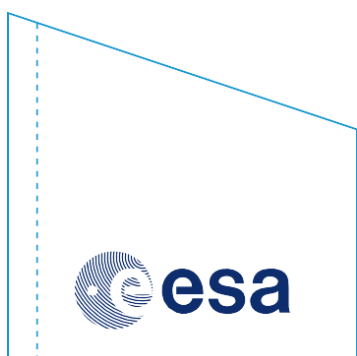
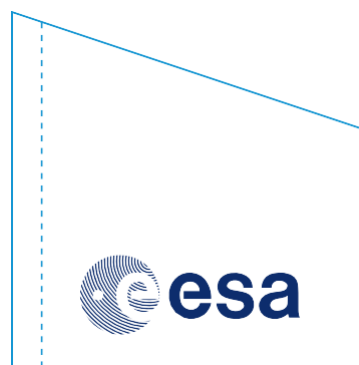
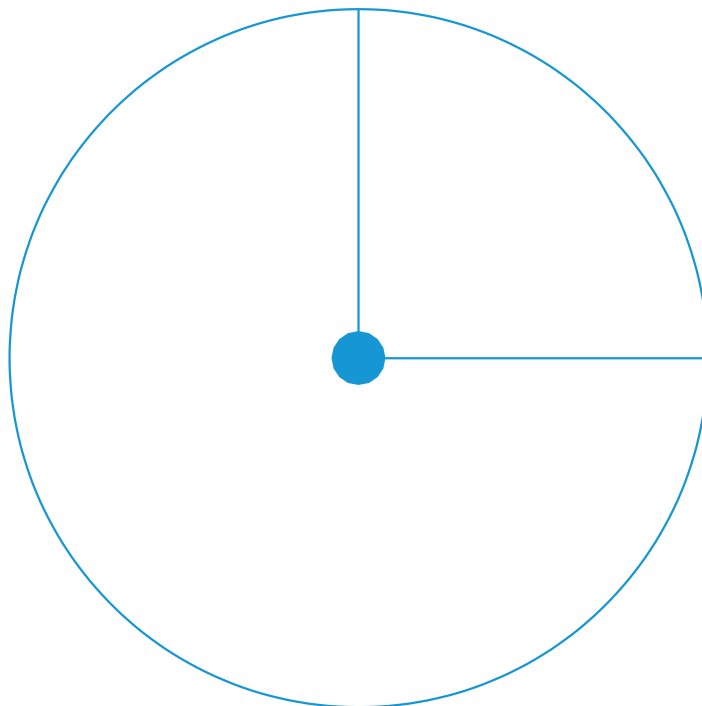
Utilização

1. Ajustar o ângulo de lançamento.
2. Fechar a válvula para não deixa escapar o ar.
3. Introduzir ar no Sistema, máximo 7 bar.
4. Abrir a válvula para deixar o ar passar, se funcionar corretamente, o foguetão vai ser disparado.

Aviso de Segurança

- Verificar as ligações do tubo regularmente.
- Manter um pé na plataforma de lançamento para impedir que esta se mova.
- Ninguém deve estar diretamente em frente da plataforma de lançamento durante a pressurização e o lançamento
- A pressão máxima no lançamento é de 7 bar ou 101 psi.

→ Anexo 3: Nariz e asas/estabilizadores para a atividade 1



→ Anexo 4: Tabela de registo da distância do lançamento

[illegible]