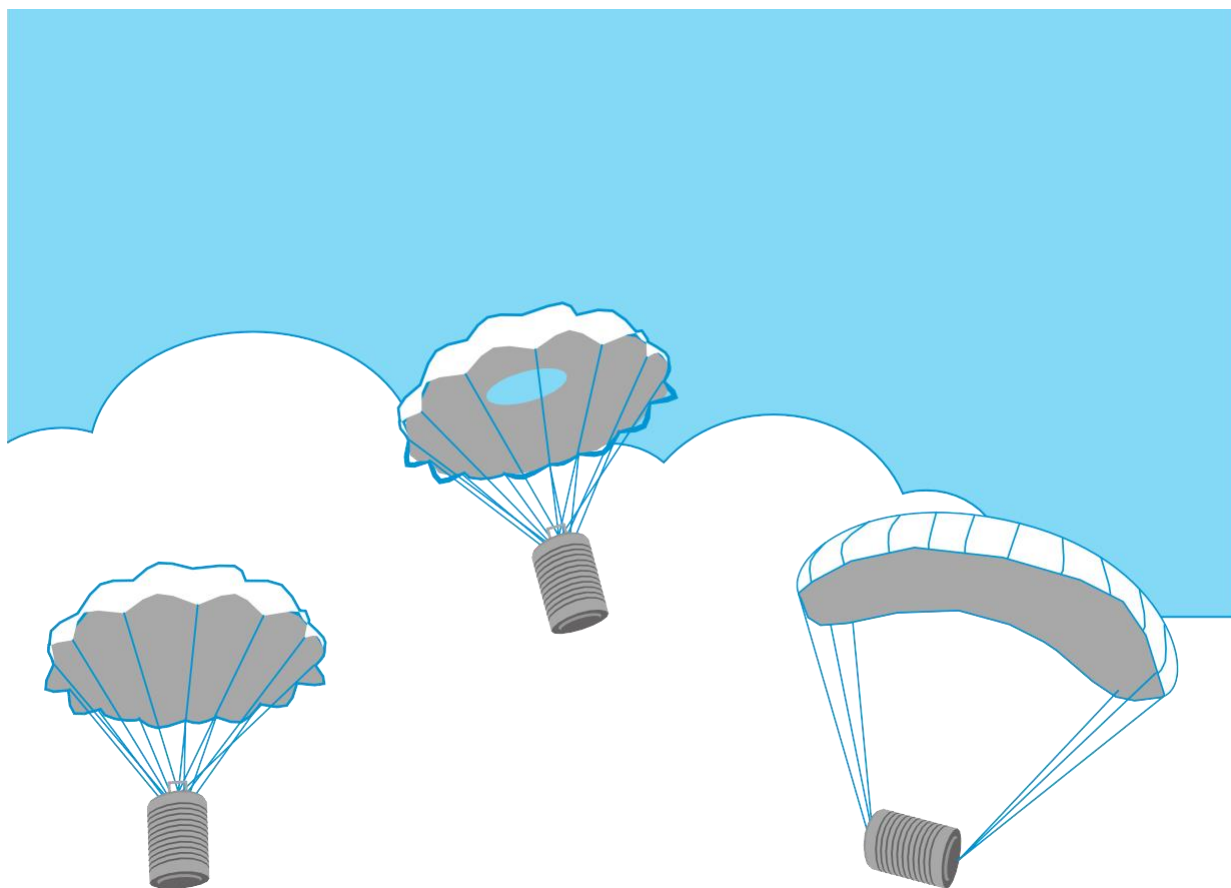
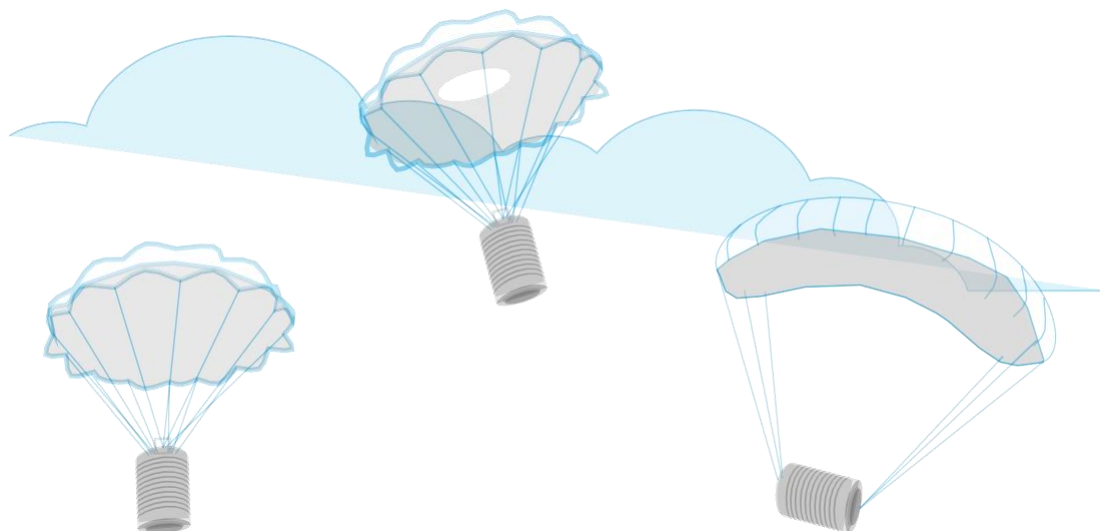


Ensinar com o espaço

→ PROJETA O TEU PARAQUEDAS

Um guia para que aterres o teu CanSat em segurança





Guia do professor

Notas	página 3
Sumário das atividades	página 4
Atividade 1: Queda livre	página 5
Atividade 2: Paraquedas: um problema de atrito!	página 6
Atividade 3: A importância da área e da forma	página 7
Atividade 4: lento e constante vence a corrida	página 9
Fichas de trabalho	página 10
Links	página 22

Ensinar com o espaço – projeta o teu paraquedas | T10
www.esa.int/education

O Departamento Educacional da ESA agradece feedback e comentários
teachers@esa.int

Uma produção da ESA Educacional em colaboração com a ESERO Irlanda
Copyright 2018 © European Space Agency

→ PROJETA O TEU PARAQUEDAS

Um guia para aterrar o teu CanSat em segurança

Notas

Nível etário: 14-20 anos

Área curricular: Física - Velocidade, aceleração, aceleração devido à gravidade, velocidade terminal

Complexidade: Média

Duração: 120 minutos

Documentos de apoio: Vamos construir um CanSat

Metodologia: Inquiry based learning

Palavras chave: Paraquedas, Atrito, Resistência do ar, Gravidade, Peso, CanSat

Breve descrição

Este recurso dá aos estudantes uma breve visão geral das diferentes opções disponíveis para construir o seu paraquedas para o CanSat. Os alunos vão aprender as bases da física subjacente aos paraquedas, diferentes projetos e como controlar a velocidade do seu CanSat.

Objetivos de aprendizagem

- Compreender a diferença entre peso e massa.
- Identificar diferentes tipos de paraquedas e discutir o seu projeto e construção
- Avaliar o porquê da importância de testar o paraquedas.
- Compreender o conceito de velocidade terminal.
- Construir gráficos com unidades e variáveis corretas.

→ Sumário das atividades

Sumário das atividades					
	Título	Descrição	Resultado esperado	Pré-requisitos	Duração
1	Queda livre	Os estudantes realizam uma experiência simples para investigarem o conceito de velocidade terminal.	Os alunos vão conseguir descrever o que é a velocidade terminal.	Nenhum	25 minutos
2	Paraquedas : um problema de atrito!	Nesta atividade os alunos são postos em contacto com a física subjacente ao projeto de paraquedas.	Os alunos vão conseguir descrever os elementos importantes da queda livre.	Atividades anteriores	15 minutos
3	A importância da área e da forma	Discute-se uma variedade de projetos de paraquedas e as consequências que eles têm num corpo em queda.	Os alunos vão conseguir identificar um projeto de paraquedas adequado para o seu CanSat.	Atividades anteriores	25 minutos
4	Lento e constante vence a corrida	Estuda-se com maior pormenor o lançamento e a descida do CanSat, e os estudantes têm a oportunidade de testarem o seu paraquedas.	Os alunos vão conseguir traçar gráficos de distância-tempo e de velocidade-tempo, quer para o lançamento quer para a descida do CanSat.	Atividades anteriores. Um paraquedas para executar um teste de queda	25 minutos

→ Introdução

Os paraquedas são um componente fundamental para qualquer missão de CanSat. Pode ser desculpável o facto de serem frequentemente esquecidos, pois são muitas vezes simples peças de fabrico comparadas com a complexidade eletrónica que está dentro do CanSat, mas isso seria um grande erro! Sem um paraquedas bem projetado o CanSat pode não ter tempo de completar os seus objetivos científicos, ou ainda pior, pode despenhar-se no solo!

Neste recurso, vai ser explorada a física subjacente à descida de um paraquedas e vai-se perceber quais as decisões a tomar quando se escolhe um paraquedas adequado para uma missão do CanSat. No final deverá ter-se adquirido confiança suficiente para lançar e aterrar o CanSat em segurança!

→ Atividade1: Queda livre

Nesta atividade, os alunos investigam o conceito de velocidade terminal e de queda livre, através da realização de uma simples experiência qualitativa: deixar cair berlindes em óleo e em água. Ao realizarem esta atividade, eles começam a compreender a importância do fluido nas situações de queda livre.

Exercício

1. Qual é o intervalo de peso permitido para o CanSat?

O intervalo de **peso** permitido situa-se entre **2.9 -3.4N**. Aqui pode cometer-se um erro normal que é o dos alunos confundirem massa e peso dando como resposta 300-350g!

2. A experiência do martelo e da pedra faz surgir uma pergunta interessante, qual seria a diferença no lançamento de um CanSat se ele fosse transportado para a Lua?

Na lua, os efeitos da gravidade estão reduzidos de modo significativo, a gravidade é 1/8 da existente na Terra! Isto significa que a força que atua no foguete é muito menor. Muitas coisas podiam acontecer com o lançamento de um foguete na lua. Se o foguete tiver potência suficiente, ele terá velocidade suficiente para escapar à força gravitacional da lua e entrar em órbita. Assumindo que isso não acontece, então a descida até à superfície da lua também é diferente. Como há muito menos ar na lua há menos atrito. Isto pode compensar um pouco a reduzida força gravitacional resultando numa velocidade de descida significativa!

Relativamente a esta questão não se deve esperar uma análise quantitativa detalhada, porque o conhecimento de física necessário para tal é complexo, mas deve –se procurar compreender algumas justificações para os procedimentos e diferenças fundamentais entre o ambiente da Terra e da Lua.

3. Como é que a velocidade do berlinde se altera quando ele se desloca ao longo do tubo?

Se o tubo utilizado pelos alunos for suficientemente comprido, eles devem conseguir reconhecer que os berlindes atingem uma velocidade terminal. Inicialmente os berlindes aceleram e depois deslocam-se, durante pouco tempo, a velocidade constante atingindo depois a base do tubo.

Mais uma vez, a experiência foi idealizada para ser analisada a um nível qualitativo, o objetivo é que os alunos consigam identificar visualmente que se atingiu a velocidade terminal, ou se atingiu algo próximo, durante a descida.

4. O que é espetável alterar ao substituir o óleo pela água? Escrever qual a previsão e seguidamente experimentá-la!

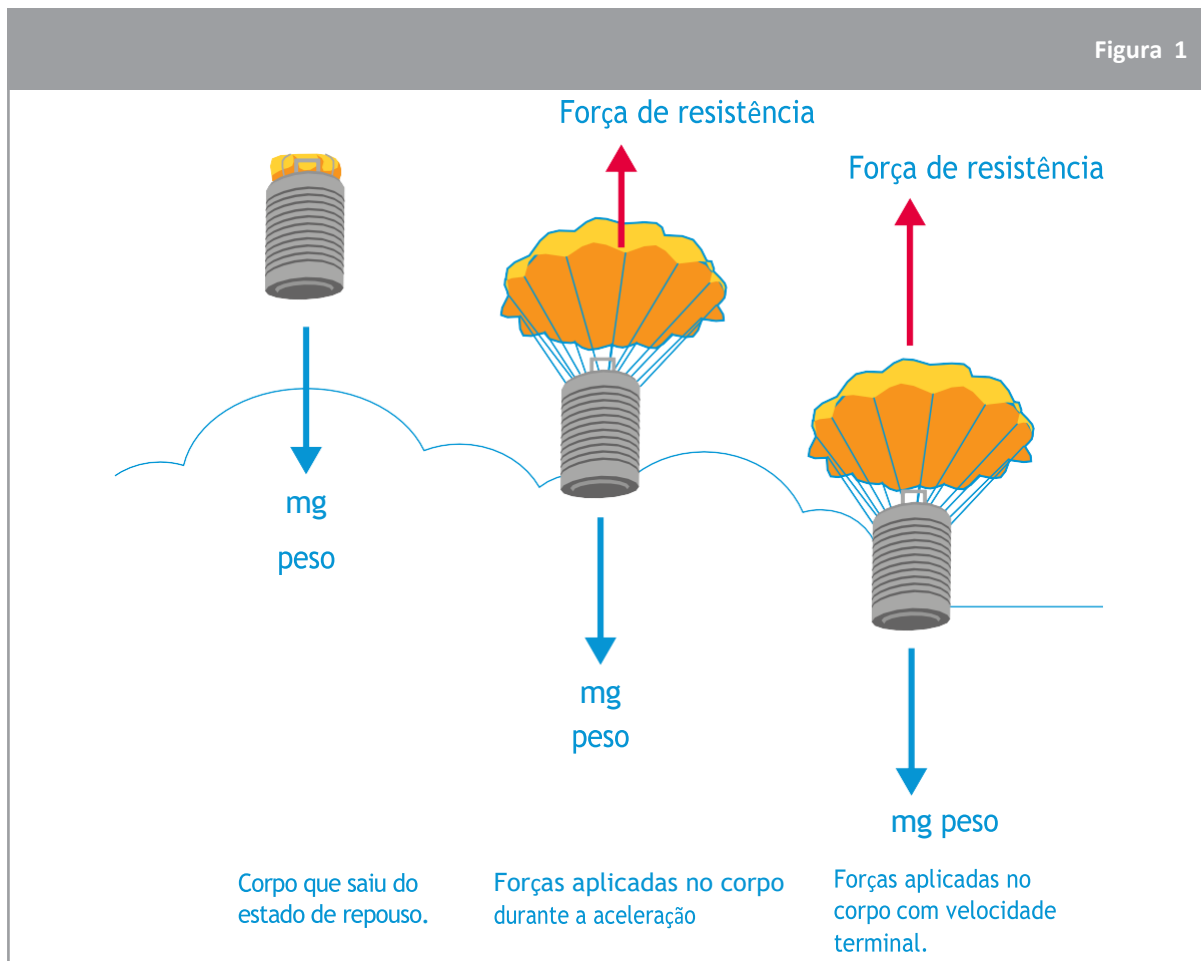
Quando se repete a experiência com água, os alunos devem conseguir identificar que a velocidade de descida aumenta e a velocidade terminal é maior. Isto deve-se ao facto da força de resistência da água ser inferior à do óleo.

→ Atividade 2: Paraquedas - um problema de atrito!

Nesta atividade, é dada aos alunos uma introdução à física subjacente aos paraquedas. Os alunos vão aprender a calcular as forças que atuam num paraquedas e como vão decidir qual a área necessária para o seu paraquedas. O cálculo pode ser feito tendo em consideração a segunda lei de Newton e equilibrando as forças que atuam quando o estado é estacionário. É importante observar as simplificações feitas neste cálculo.

Exercício

1. Utilizando o que se aprendeu com a experiência dos berlines, pôr um rótulo e dar um nome às forças que atuam durante a descida do CanSat, nas imagens que se encontram em baixo. Deve indicar a intensidade relativa através do tamanho do vetor.



↑ As forças aplicadas no CanSat durante o voo.

2. Assumindo que o foguete lança o CanSat a uma altitude de 1000m, se considerarmos a velocidade de descida requerida nas diretrizes do CanSat, qual o intervalo de tempo entre o início do lançamento do CanSat e a sua aterragem (desprezando o período em que houve aceleração)?

Considerando a distância de 1000m e as restrições da velocidade de descida referidas nas diretrizes do CanSat ($8\text{-}11\text{ms}^{-1}$) os alunos conseguem calcular uma gama de tempos de descida esperados. **Nota:** Para simplificar, estamos a desprezar qualquer período em que ocorra aceleração considerando que a velocidade é constante para o total dos 1000m. Na prática é claro que não será exatamente assim!

Como $t = s/v$

$$t_{\min} = 1000/v_{\max} \\ = 1000/11$$

$$t_{\min} = 90\text{s}$$

$$t_{\max} = 1000/v_{\min} \\ = 1000/8$$

$$t_{\max} = 125\text{s}$$

→ Atividade 3: A importância da forma

Nesta atividade, são apresentadas aos alunos os principais tipos de paraquedas que são usados com mais frequência nos projetos do CanSat. São discutidas considerações relativamente aos projetos, bem como as vantagens e as desvantagens dos diferentes projetos. São fornecidos Links para serem usados como recursos futuros, onde os diferentes tipos de paraquedas são discutidos com mais pormenor.

Exercício

1. **Quais são os fatores na equação 3 (na ficha de trabalho) que podem ser alterados ao longo do projeto do CanSat?**

A área da superfície coberta pode ser alterada fazendo-se o paraquedas mais pequeno ou maior. O coeficiente de resistência pode ser alterado utilizando um tipo diferente de paraquedas.

2. **Dos coeficientes de resistência em baixo (Tabela 1 da ficha de trabalho), qual o tipo de paraquedas que vai fornecer uma velocidade de descida menor? E qual vai dar uma velocidade de descida maior?**

Utilizando a equação 3, os alunos vão conseguir compreender que o coeficiente de resistência é inversamente proporcional à velocidade, isto é, quanto **maior** for o coeficiente de resistência **menor** será a velocidade de descida – e isto faz sentido!

Isto significa que o paraquedas semiesférico vai fornecer a menor velocidade de descida enquanto que os paraquedas cruzados e os planos fornecem velocidades de descida maiores.

3. **O projeto em cruz é fácil de fazer, mas a velocidade de descida comparada com a do semiesférico é muito maior, o que é que poderia ser feito para controlar esta situação?**

Olhando novamente para a equação 3 e usando a sua intuição, os alunos vão ser capazes de sugerir que podem ultrapassar este problema **aumentando a área do paraquedas**.

4. Que seja A a incógnita da equação 3.

$$\text{Acrescentar } \frac{1}{2}C_a\rho v^2: \quad mg - \frac{1}{2}C_a\rho v^2 = 0$$

$$mg = \frac{1}{2}C_a\rho v^2$$

$$\text{Acrescentar } 2: \quad 2mg = C_a\rho v^2$$

$$\text{Dividir por } C_a\rho v^2: \quad A = 2mg/C_a\rho v^2$$

Os alunos podem utilizar esta equação para calcular a área do paraquedas necessária para obter uma determinada velocidade de descida.

5. Agora que se tem a equação em que a incógnita é a área basta calcular o intervalo de áreas possível para os diferentes tipos de paraquedas de que falámos, considerando que a massa do CanSat é de 350g. Pode-se preencher os valores na tabela em baixo (Tabela 2 da ficha de trabalho). Não esquecer que: O intervalo de velocidades permitidas é de $8-11\text{ms}^{-1}$.

Os alunos devem utilizar a equação que encontraram no exercício 4 para resolver este exercício. Para calcular as áreas máxima e mínima, eles podem utilizar os valores extremos fornecidos para a velocidade de descida.

Tabela 1			
Tipo de paraquedas	Coefficiente de atrito	Área mínima (m^2)	Área máxima (m^2)
semiesférico	0.62	0.08	0.14
Em forma de cruz	0.8	0.06	0.11
Plano, hexágono	0.8	0.06	0.11

É importante ter em conta que estes valores surgem da nossa expressão física simplificada, na prática, os alunos devem ensaiar os seus paraquedas de modo a determinarem as áreas mínima e máxima permitidas.

6. Ao alterar-se o paraquedas de um em forma de cruz para um semiesférico, como deverá ser alterada a área do paraquedas, de modo a que ele caia com a mesma velocidade do anterior?

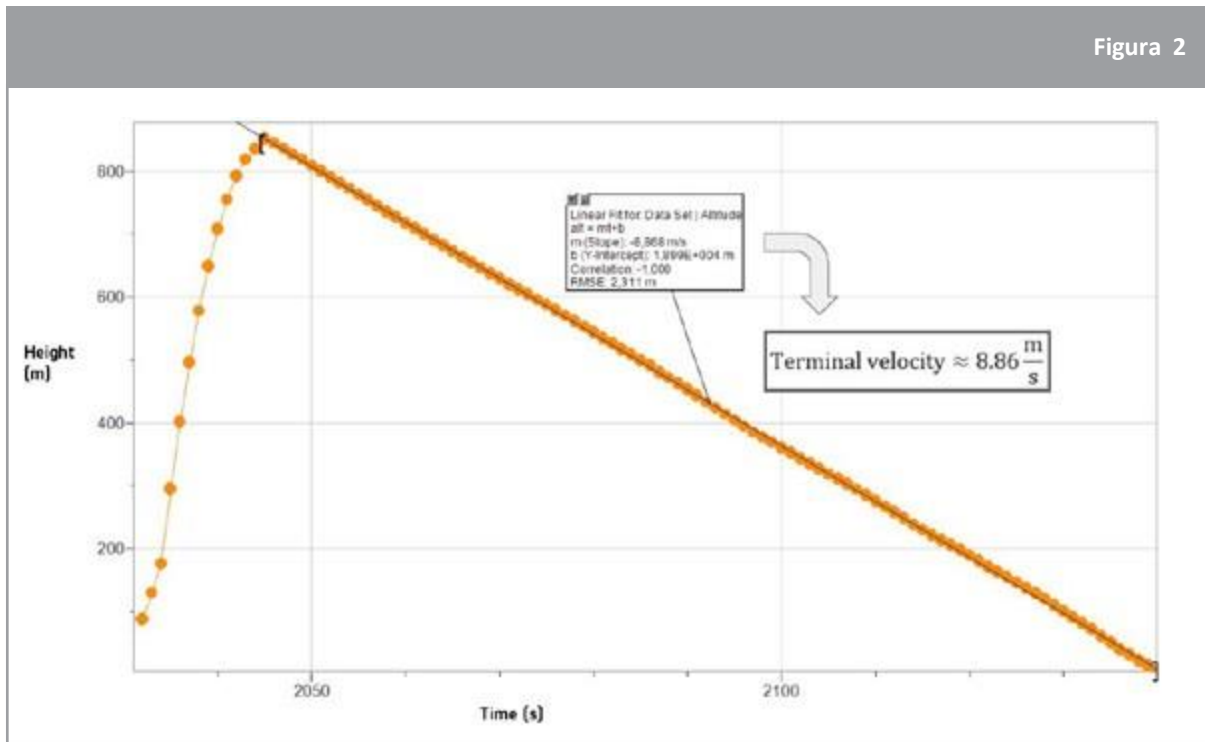
O último exercício desta atividade ajuda os alunos a consolidarem o seu conhecimento. Eles devem ser capazes de perceber que alterar a forma do paraquedas de cruz para semiesférico faz o coeficiente de resistência **aumentar**, e por isso para manter a mesma velocidade de descida é necessário **diminuir** a área do paraquedas. Os alunos podem avançar um pouco mais e quantificar a diminuição necessária, utilizando a equação, mas isto não é necessário.

→ Atividade 4: Lento e constante vence a corrida

Nesta atividade, os alunos são orientados para saber como efetuar um teste de queda para o seu paraquedas. É importante não esquecer as diretrizes do CanSat quando se testa o paraquedas, para garantir que esteja de acordo com as diretrizes da competição.

Exercício

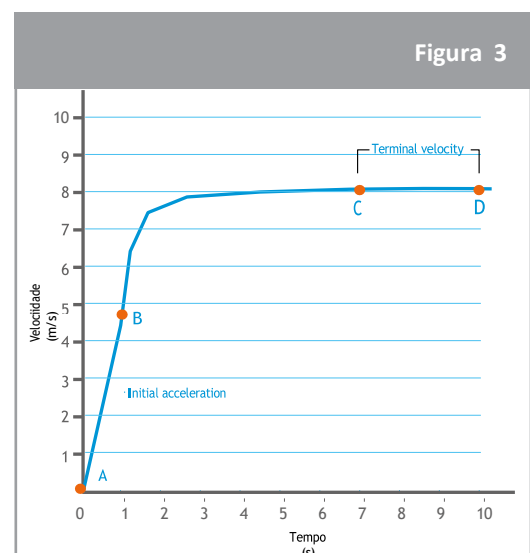
1. No gráfico em baixo, acrescentar uma curva para como é esperado que a altura varie com o tempo, desde o lançamento até à aterragem do CanSat, assumindo que não há velocidade lateral devida à estabilidade. Para ajudar a desenhar a curva, deve pensar em como a velocidade se está a alterar, e qual o efeito que tem na forma da curva.



↑ gráfico de Altura-Tempo apresentado na competição Europeia do CanSat de 2018 pela equipa AnaCan Skywalker, fda Dinamarca

A primeira parte da curva corresponde à subida com o foguete. A cerca de 800 m, o CanSat é libertado e cai com uma velocidade aproximadamente constante (velocidade terminal). A velocidade terminal pode ser calculada como a inclinação da reta desde a queda.

2. Assim como fizemos para a altura, desenhamos agora uma curva no gráfico em baixo, mostrando como é que a velocidade do CanSat varia com o tempo durante a descida (não vamos aqui considerar a subida com o foguete). Assim, $t = 0$ corresponderia à libertação do CanSat do foguete. Depois do CanSat ser libertado, na altitude máxima, o CanSat terá um momento de ausência de peso no qual quer a velocidade quer a aceleração vão ser 0. Depois disso, o CanSat começa a acelerar (A-B) até atingir a velocidade terminal. Graças ao paraquedas, a fase de aceleração é extremamente pequena (desprezável quando se calcula a velocidade). No resto da queda, o CanSat com o paraquedas vai ter uma velocidade terminal constante (B-C).



↑ exemplo do gráfico Velocidade-Tempo de um CanSat depois de lançado

→ PROJETA O TEU PARAQUEDAS!

Um guia para aterrares o teu CanSat em segurança

→ Breve descrição

Assim que o teu CanSat é lançado, uma das coisas mais importantes é que aterre em segurança. Sem uma aterragem segura, o CanSat pode, potencialmente, ficar danificado sem hipóteses de ser reparado. A maneira mais óbvia de garantir uma aterragem segura para o teu CanSat é acoplar um paraquedas, um dispositivo que funciona diminuindo a velocidade do objeto em queda, tendo como resultado uma aterragem mais suave. O benefício do paraquedas é duplo, pois ao diminuir a velocidade do CanSat aumentas a quantidade de tempo disponível para recolher informação! Vamos ver agora como funciona um paraquedas e algumas coisas que tens de considerar quando projetas e constróis o teu paraquedas.

→ Atividade 1: Queda livre

O conceito de velocidade terminal é um dos mais importantes que tens de compreender antes de pensares em construir um paraquedas. Nesta atividade, vamos realizar uma experiência simples para nos ajudar a compreender o que é a velocidade terminal.

O que sobe, tem de descer

Tudo na terra é puxado para baixo devido à força da gravidade, que é causada pela massa da Terra.

O peso de qualquer coisa é a força que ela sente devido à gravidade a atuar na sua massa:

$$\text{peso} = \text{massa} \times \text{gravidade}; (P=mg).$$

De acordo com as diretrizes do CanSat, a sua **massa** deve estar no intervalo 300-350 g, ou **0,3-0,35 kg**.

Exercício

1. Qual é o intervalo do peso permitido para o CanSat?

Quando um objeto fica sujeito à influência da gravidade ele aumenta a velocidade, ou acelera. Na Terra, o valor é de 9.81ms^{-2} . Vamos imaginar que atiramos dois objetos de um prédio onde há vácuo. Como não há um fluido para exercer uma força de resistência, então ambos os objetos vão cair com o mesmo aumento de velocidade (mesmo que eles tenham massas completamente diferentes)!

Este facto pode ser contraintuitivo, já que na Terra, o ar exerce uma força de resistência sobre os objetos em queda. É por isto que, por exemplo, uma pena cai mais devagar do que uma bola. A chave para isto é o meio através do qual os objetos caem— se é ar, óleo, ou o vácuo.

Sabias que?

O astronauta David Scott demonstrou este princípio durante a aterragem na Lua, da Apollo 15. Ele deixou cair um martelo geológico e uma pena, da mesma altura, em direção à superfície da Lua. Como na Lua existe praticamente vácuo, quase não há resistência de ar, e por isso ambos os objetos caem ao mesmo ritmo! Aqui podes ver o martelo e a pena em destaque na superfície da Lua.



Ed Hengeveld

2. A experiência do martelo e da pena faz surgir uma questão interessante: qual seria a diferença no lançamento de um CanSat se fosse realizado na Lua?

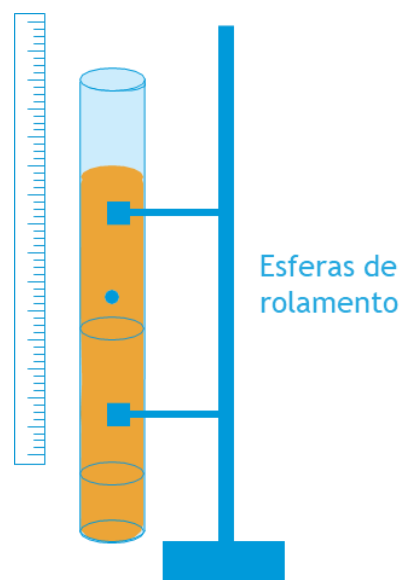
Investigar o efeito de um fluido em objetos em queda

O que acontece a um objeto quando cai através de um fluido? Vamos inventar uma pequena experiência para descobriremos.

Experiência

Para esta experiência vais precisar:

- Um suporte
- Uma proveta graduada, ou um tubo de vidro (quanto mais alto e largo melhor)
- Óleo (glicerina funciona bem) ou cola para papel de parede
- Uma régua
- Esferas de rolamento, ou berlines de diferentes tamanhos
- Elásticos
- Um cronómetro (podes usar o cronómetro do teu telemóvel)
- Um íman (se utilizares esferas de rolamento)
- Água



Nota: Se estiveres a usar um tubo de vidro é uma boa ideia colocares no fundo dele uma base de borracha ou uma bola de algodão, isto impedirá que a esfera de rolamento ou o berlinde partam o vidro.

O íman pode ajudar a retirar as esferas de rolamento do tubo depois destas caírem.

Passos:

a. Se tiveres um iPhone:

1. Monta o material como se mostra na figura em cima.
2. Descarrega a app 'Vernier Video Physics':
<https://itunes.apple.com/us/app/vernier-video-physics/id389784247>
3. Grava enquanto deixas cair um berlinde no tubo.
4. Usa os recursos da app para calcular a velocidade do berlinde em cada ponto.
5. Repete a experiência!

b. Se tens um telefone Androide:

1. Monta o material como se mostra na figura em cima.
2. Descarrega a app 'VidAnalysis Free':
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vidanalysis.free>
3. Grava enquanto deixas cair um berlinde no tubo.
4. Usa a app para calcular a velocidade do berlinde em cada ponto.
5. Repete a experiência!

c. À maneira antiga!

1. Monta o material como se mostra na figura em cima.
2. Liga o cronómetro no momento em que deixas cair o berlinde no tubo.
3. Para o cronómetro depois do berlinde se deslocar uma determinada distância— dependendo da velocidade do berlinde, deve ser possível a cada 5cm. Provavelmente vais precisar de concluir estas medições ao longo de diferentes tentativas.
4. Usa estas medições para calcular a velocidade do berlinde em cada ponto.
5. Repete a experiência!

Exercício

3. Como é que varia a velocidade do berlinde à medida que ele desce ao longo do tubo?

4. O que pensas que se vai alterar se substituíres o óleo por água? Escreve a tua previsão e seguidamente ensaia-a.

Ao contrário do vácuo, num fluído, um objeto em queda irá (eventualmente) atingir a **velocidade terminal**. A velocidade terminal acontece quando a resistência, ou as forças de atrito, que se opõem ao objeto em queda, igualam a força da gravidade, força esta que atua na massa do objeto.

Um objeto em queda no ar tem muito menos contacto com as partículas que o rodeiam do que se ele cair através do óleo. Por isso no ar, há menos resistência ao seu movimento, e ele consegue cair mais rapidamente. No ar, nós chamamos a esta resistência, **resistência do ar**; provavelmente este termo é-te muito familiar.

O valor do atrito (ou das forças de resistência, quando o corpo cai através de um fluído como o óleo), depende:

1. Da densidade do fluído (ρ)
2. Da velocidade do objeto (V)
3. Da área da secção em cruz (A)
4. Do coeficiente de atrito (C_a)

Vamos explorar como todas estas variáveis influenciam a queda do CanSat na secção seguinte.

→ Atividade 2: Paraquedas – um problema de atrito!

Há formas de diminuir a velocidade terminal num fluído que não seja muito viscoso, como o ar – por exemplo, aumentando a área que está em contacto com o ar – usando um paraquedas.

Exercício

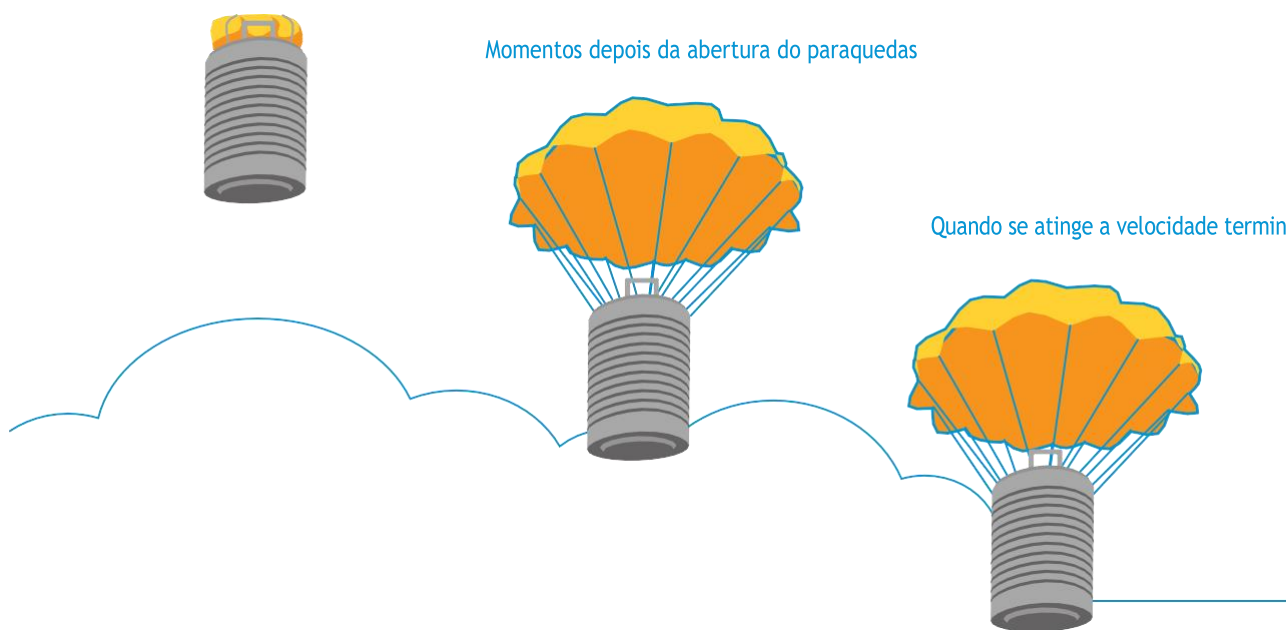
1. Usando o que aprendeste com a experiência dos berlindes, põe um rótulo e um nome às forças que atuam no teu CanSat durante a descida, nas imagens em baixo.

Deves indicar a sua intensidade relativa através do tamanho do vetor.

CanSat acabado de ser libertado do foguete

Momentos depois da abertura do paraquedas

Quando se atinge a velocidade terminal



Que a força esteja com o teu paraquedas

Vamos agora analisar as forças envolvidas neste processo, escolhendo o sentido do CanSat (para baixo) como o sentido positivo da força. A primeira força que surge na tua mente é o peso do CanSat, uma força que tem sentido para baixo (pois resulta da atração da Terra).

$$F_{\text{gravidade}} = mg \quad \text{equação 1}$$

Onde

m = massa do CanSat (normalmente 0.35 kg)

g = aceleração da gravidade = 9.81 m/s^2

À medida que o CanSat desce no ar ele sente a força de atrito (que é oposta ao peso) provocada pelo paraquedas:

$$F_{\text{atrito}} = -\frac{1}{2} C_a \rho v^2 = 0 \quad \text{equação 2}$$

A = área da superfície coberta

C_a = coeficiente de atrito do paraquedas – este valor depende da **forma/geometria** do paraquedas; alguns exemplos estão listados na secção seguinte.

ρ = densidade do ar no local, assume-se o valor constante de 1.225 kg/m^3 .

v = velocidade de descida do CanSat em m/s

De acordo com a segunda lei de Newton:

$$F_{resultante} = \sum F = ma \hat{z}$$

Nota: Na queda, esta força resultante não será zero durante alguns segundos (o corpo vai acelerar e desacelerar durante um curto intervalo de tempo), mas por agora vamos desprezar isto já que durante a maior parte do tempo de queda o CanSat estará com velocidade terminal.

Assumindo isto, quando se atinge a velocidade terminal, $a=0$, e, portanto, a $F_{resultante} = 0$. E assim:

$$F_{gravidade} + F_{atrito} = 0$$

Por isso, equilibrando as forças no eixo dos z s temos a seguinte equação:

$$mg - \frac{1}{2}C_a\rho v^2 = 0 \quad \text{equação 3}$$

Mais tarde, quando decidires qual o projeto do teu paraquedas podes reescrever esta equação e usar os constrangimentos da velocidade de descida para calculares a área do teu paraquedas. Não te esqueças que fizemos algumas aproximações; ainda vais ter de testar e medir a velocidade de descida do teu paraquedas!

Sabias que?

A nave especial Viking enviou com sucesso, uma sonda para a superfície de Marte em 1976, e este envio foi feito de forma similar aos paraquedas que vais projetar. O único desafio que Marte apresentou foi a sua atmosfera. Com uma atmosfera cuja densidade é 1% da existente na Terra e com uma velocidade supersónica, um só paraquedas não era suficiente para fornecer uma aterragem lenta e estável. Para resolver o problema, os engenheiros da NASA utilizaram foguetes para apoiarem na aterragem – infelizmente tu não vais poder fazer o mesmo por isso tens de aperfeiçoar o teu projeto de paraquedas!



De acordo com as diretrizes da competição do CanSat, alguns segundos depois da abertura do paraquedas (i.e. depois do lançamento), ele deverá ter uma **velocidade de descida (velocidade terminal)** entre **8 – 11 m/s**. A velocidade não pode ser muito baixa para não se desviar para longe do local de lançamento, nem muito alta para que tenha tempo de recolher informação e para que a aterragem não seja difícil.

Nota: O aeródromo pode estabelecer restrições obrigatórias adicionais relativamente à velocidade de descida.

Exercício

- Considerando que o foguete lança o teu CanSat a uma altitude de 1000m, de acordo com a velocidade de descida das diretrizes do CanSat, qual o intervalo de tempo entre a libertação do CanSat e a sua aterragem (desprezando o tempo em que há aceleração)?

→ Atividade 3: A importância da área e da forma

Nesta atividade vamos analisar alguns dos princípios básicos do projeto dos paraquedas. Vamos também discutir os tipos principais de paraquedas com que te vais deparar quando projetares o teu, bem como analisar os prós e contras de cada um deles.

Escolher os materiais para o teu paraquedas

A abertura dos paraquedas será relativamente violenta, por isso o tecido e as fibras que vais usar têm de ser fortes. Tem em consideração que a força que o paraquedas sente (e também a carga útil a que está preso) pode ser duas vezes superior à força que atua durante a situação de velocidade terminal!

Nesta análise vamos focar-nos no impacto do teu paraquedas com velocidade terminal. Contudo temos de considerar que não é só a velocidade terminal (entendida como velocidade na direção vertical) que é importante: projetos diferentes de paraquedas têm um comportamento de “estabilidade” diferente, e também temos de tomar em linha de conta a velocidade lateral. No geral quanto maior for o atrito menos estável será o paraquedas.

Como materiais adequados temos os fios de nylon e os tecidos próprios para fazer paraquedas, que podem ser comprados numa loja de papagaios.

Estes materiais são idealmente adequados para o paraquedas. O maior ponto fraco é o ponto de ligação entre o cordão e o material do paraquedas. Não utilizes linha de pesca.

Quando cortares o tecido, deves considerar que uma parte dele tem de ser dobrada para que possa ser cosido.

Escolher o projeto para o teu paraquedas

Vamos ver a equação correspondente à descida do teu CanSat:

$$mg - \frac{1}{2}C_a\rho v^2 = 0 \quad \text{equação 3}$$

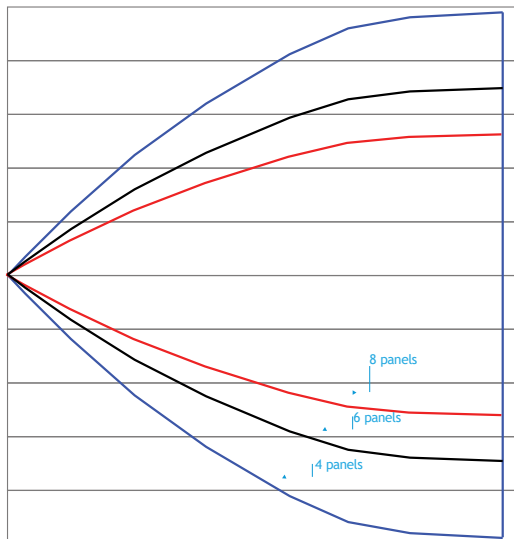
Exercício

1. Na equação 3 quais os fatores que podem ser alterados enquanto projetas o teu CanSat?

Formas de paraquedas

Os tipos mais simples de paraquedas são os de folha circular plana e os esféricos. O problema com estas formas é que eles se enchem de ar e inclinam-se para um dos lados para o expelir. Por vezes um buraco de escoamento pode ajudar a estabilizar o paraquedas. Vamos analisar, resumidamente, alguns dos diferentes tipos de paraquedas que podes utilizar para o teu CanSat.

Paraquedas semiesférico



Um paraquedas semiesférico é provavelmente o desenho que te surge quando te pedem para pensares num paraquedas. O tecido forma uma semiesfera quando está cheio de ar. É feito por secções chamadas 'gores'. As secções são cosidas umas às outras para criar a forma semiesférica completa. Quanto maior for o número de secções utilizado, mais próxima da forma de uma verdadeira semiesfera estará, mas mais complexo será o processo da realização.

O ângulo subtendido pelas duas partes interiores da secção diminui à medida que se aumenta o número de secções. O ângulo pode ser calculado, utilizando a fórmula em baixo:

$$\text{ângulo} = 360^\circ / n$$

n = número de secções

Aqui podes ver três paraquedas semiesféricos auxiliando a descida do módulo Orion. Repara nas cores diferentes, consegues ver como as secções separadas se encaixam para criar a forma semiesférica.

O procedimento para a construção do paraquedas semiesférico é o seguinte:

- Primeiro, desenha a forma das secções no material e recorta-as, certificando-te que deixas uma orla de cerca de 2cm para a bainha.
- Cose as secções umas às outras para criar a forma do paraquedas.
- Finalmente, cose cordões em cima do paraquedas* para que ele possa ser ligado ao teu CanSat.

*Nota que normalmente os cordões atravessam as secções: o peso (do ar) não é suportado pela própria secção, mas sim pelos cordões. Geralmente um cordão começa no ponto de confluência, percorre uma secção, atravessa a oposta e volta ao ponto de confluência.



Paraquedas em cruz

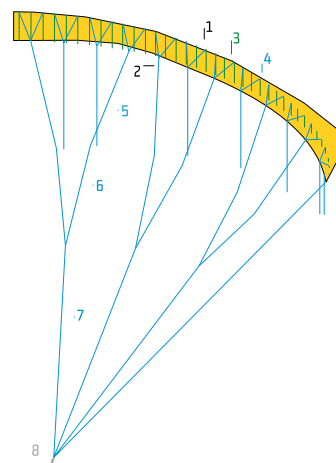


Um paraquedas em cruz é mais fácil de coser do que o paraquedas semiesférico, pois a forma regular é mais fácil de criar à mão.

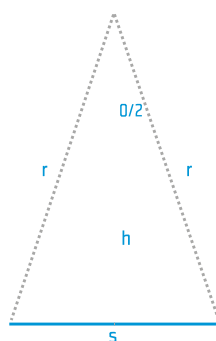
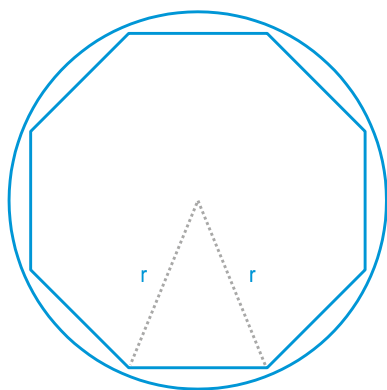
A informação de como fazer um paraquedas em cruz pode ser encontrada aqui: <http://www.nakka-rocketry.net/xchute1.html>

Parapente

Tu talvez já te tenhas deparado com o projeto de um parapente mesmo antes de teres interesse nos paraquedas. A maior vantagem do projeto do parapente é que é possível conduzi-lo. Contudo, é mais difícil de desenhar e de construir comparativamente com os projetos mais simples que se encontram acima.



Paraquedas plano



Os paraquedas planos são o que estão normalmente mais disponíveis, são criados a partir de figuras geométricas planas tais como hexágonos ou octógonos. A figura mostra que o paraquedas octogonal é feito a partir de 8 triângulos iguais.

Estes são alguns dos tipos de paraquedas adequados para um CanSat. Os coeficientes de atrito para cada um deles são apresentados na tabela em baixo. Se quiseres investigar mais sobre coeficientes de atrito, vê o anexo I.

Tabela 1

Tipo de paraquedas	Coeficiente de atrito C_a	Observações
semiesférico	0.62-0.77	Muito vulgar; de execução demorada
Em cruz	0.6-0.8	Fácil de fazer; popular para os CanSats
Parapente	0.75-1.10	Desenho complicado; É possível uma aterragem guiada
Plano, hexágono	0.75-0.8	Fácil de fazer, popular para os CanSats

Se quiseres fazer o teu próprio paraquedas plano vais precisar de:

- Material adequado – tecido próprio de paraquedas é o melhor
- Cordas/cordões para ligares o CanSat ao paraquedas
- Fio para coser as bainhas, as bordas do paraquedas e os cordões

O processo é bastante simples, só tens de pegar no teu tecido e recortar o desenho e a forma pretendida, usando um estêncil para te orientares. É melhor deixar alguns centímetros ao redor da borda de modo a que os possas dobrar para reforçar a estrutura. Corta os cordões de ligação com um comprimento adequado, cose-os ao paraquedas e estás pronto para o testes!

Exercício

2. A partir dos coeficientes de atrito em cima, que tipo de paraquedas teria a velocidade de descida menor? E qual teria a velocidade de descida maior?

3. O projeto em cruz é fácil de construir, mas a velocidade de descida em comparação com a do paraquedas semiesférico é muito grande, o que é que podias fazer para controlar isto?

Determinar a área

Agora que temos as velocidades máxima e mínima (8-11 m/s) e os coeficientes de atrito dos diferentes tipos de paraquedas, podemos calcular a área pretendida para o nosso paraquedas.

Exercício

4. Que seja A a incógnita da equação 3:

5. Agora que a área é a incógnita da tua equação, calcula o intervalo de áreas permitido para os diferentes tipos de paraquedas que demos como exemplo e que já discutimos, considera que a massa do CanSat é de 350g. Podes preencher os valores na tabela em baixo.

Não te esqueças: O intervalo de velocidades permitidas é 8-11ms⁻¹

Tabela 2			
Tipo de paraquedas	Coeficiente de atrito (e.g.)	Área mínima	Área máxima
Semiesférico	0.62		
Em cruz	0.8		
Parapente	0.8		
Plano, hexágono	0.8		

6. Se alterares o teu paraquedas da forma de cruz para o paraquedas semiesférico, como terias de alterar a área do paraquedas, de modo a que ele caísse com a mesma velocidade do anterior?

→ Atividade 4: Lento e constante vence a corrida

Uma vez que tenhas decidido qual o projeto para o teu paraquedas é fundamental que o testes. Embora as equações que introduzimos em cima te possam dar uma ideia do que esperar tu deves sempre testar os teus projetos no mundo real. Antes de fazeres isso, deves pensar sobre o voo do teu CanSat, e como as forças que nele atuam vão variar ao longo do tempo.

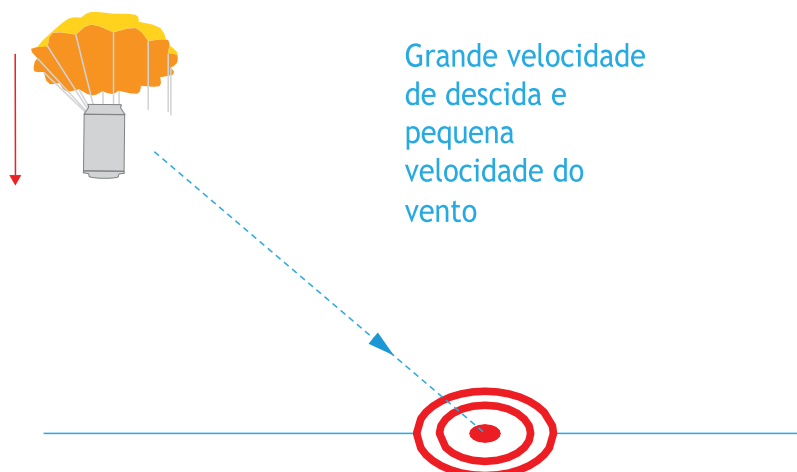
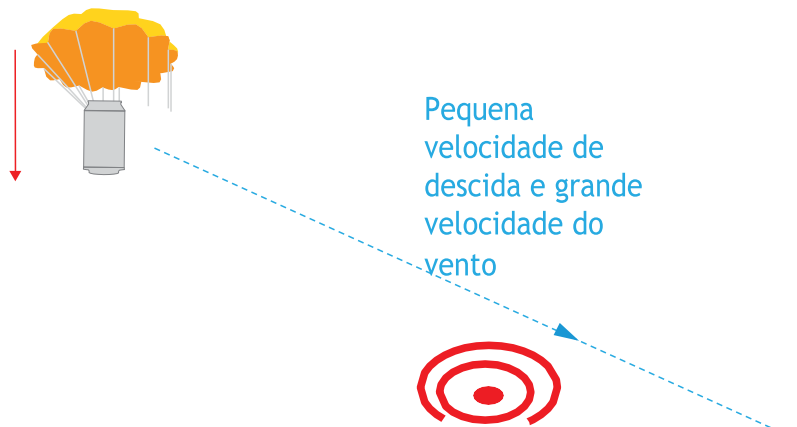
O que sobe tem de descer

Vamos pensar primeiro em como a altura e a velocidade do teu CanSat vão variar ao longo de todo o lançamento. Depois de fazermos isto, vamos juntar tudo o que aprendemos, para que estejas preparado para construir e testar o teu próprio paraquedas!

Quando pensas sobre a descida do teu CanSat há algo que tens de considerar, que é como o vento poderá afetar a rota do voo. Enquanto o CanSat cai verticalmente, um vento horizontal pode soprar o CanSat segundo uma direção horizontal. Além disso considera que mesmo sem vento, alguns tipos de paraquedas (e.g. o que tem forma de cruz) podem adquirir uma grande velocidade lateral devida à sua estabilidade.

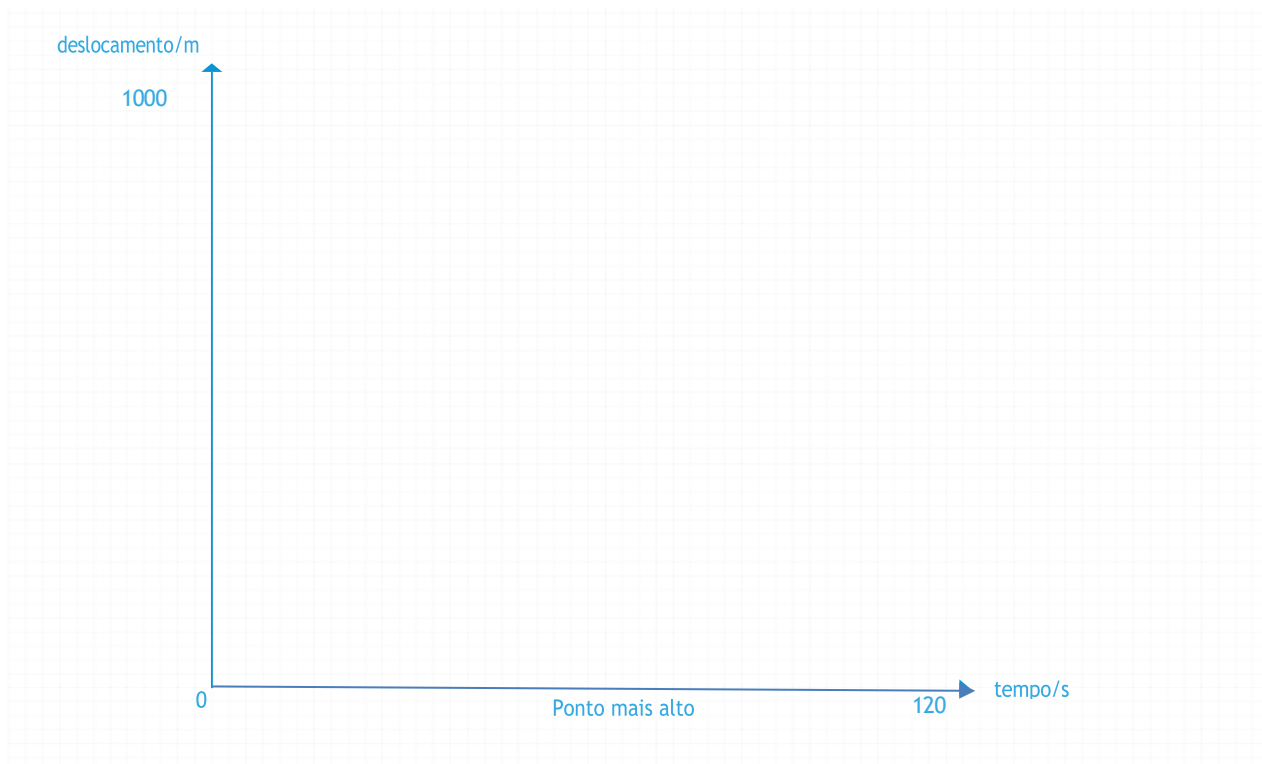
Consoante a velocidade da descida e a velocidade do vento, isto pode significar que o CanSat aterre no solo a uma distância considerável do local de onde foi lançado— esta é uma das razões pelas quais a velocidade da descida é tão importante. Se o teu CanSat descer muito devagar, pode ser desviado do local do lançamento sendo muito difícil a sua recuperação!

Para perceberes este efeito com maior clareza, vê o diagrama em baixo.



Exercício

1. No gráfico em baixo, acrescenta a curva que mostra como prevês que a altura varie ao longo do tempo, desde o lançamento de um CanSat até à sua aterragem, assumindo que não há velocidade lateral devido à estabilidade. Para te ajudar no desenho da curva, pensa em como varia a velocidade, e qual o seu efeito na forma da curva.



Não te esqueças: Na competição Europeia do CanSat, os CanSats são lançados a uma altura de 1000m!

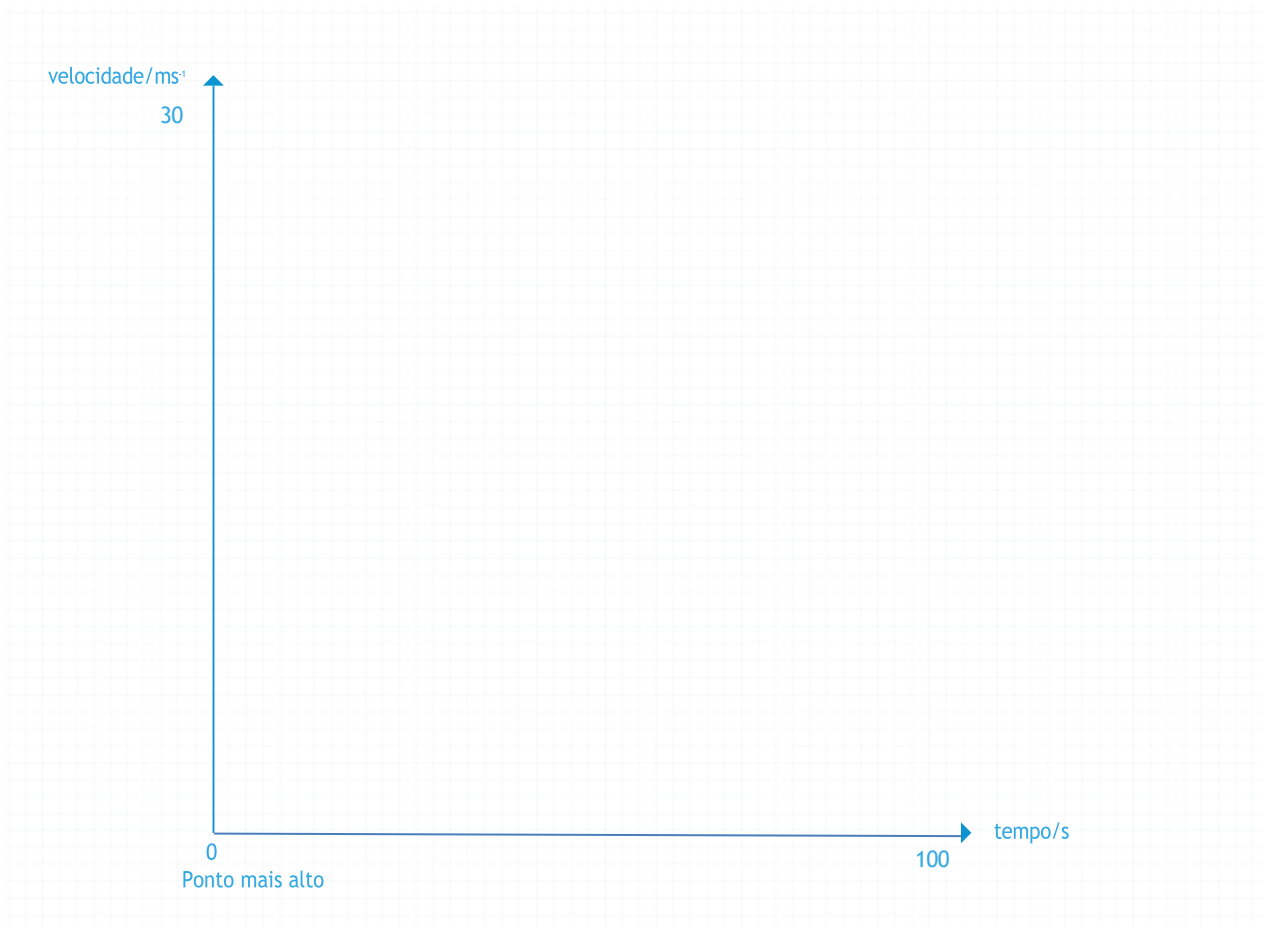
Neste momento, para nós, a parte mais importante do lançamento, é a descida desde o ponto mais alto até atingir o solo, porque é aqui que o paraquedas entra em ação.

Vamos pensar em como a velocidade do CanSat varia ao longo do tempo durante a descida.

2. Assim como fizemos para a altura, desenha, no gráfico em baixo, a curva que mostra como varia a velocidade do CanSat ao longo do tempo durante a descida (aqui não vamos considerar a subida feita com o foguete). Assim, $t=0$ corresponde à libertação do CanSat do foguete.

Pensa nas seguintes questões antes de esboçares a curva:

- Qual é a velocidade do CanSat quando é libertado?
- Com que rapidez acelera o CanSat em direção à Terra?
- O que é que acontece quando se abre o paraquedas?



Vamos testar?

Agora que compreendeste bem o comportamento do CanSat durante o lançamento, e as forças que nele atuam, deves pensar em testar o teu paraquedas. Para não arriscares que o esforço e o tempo que gastaste a construir o teu o CanSat vá para o lixo, primeiro deves testar o paraquedas com um CanSat fictício!

Saúde e segurança

Antes de começares o teste, deves garantir que tens a supervisão do teu professor. Soltar o paraquedas e a lata a uma altura de aproximadamente a janela do segundo ou terceiro andar vai fornecer uma boa primeira testagem do paraquedas, mas deves ter a certeza de que a área em baixo está desimpedida quer de pessoas quer de objetos que se possam danificar!

Fazendo testes sucessivos podes aperfeiçoar o teu paraquedas, e investigar os efeitos das diferentes características do teu paraquedas, que deve incluir:

- O material utilizado
- Como está preso ao CanSat
- A área do paraquedas
- A maneira como o paraquedas está dobrado

À medida que te aproximas do projeto final do teu paraquedas, certifica-te que o teste com a carga útil se aproxima com precisão ao peso e ao tamanho do teu verdadeiro CanSat.

Se tudo estiver de acordo com as diretrizes do CanSat, então o teu paraquedas está pronto!

→ Links

O website Fruitychutes contem mais informação d como projetar um paraquedas:

https://fruitychutes.com/help_for_parachutes/how_to_make_a_parachute.htm

Informação sobre projetos de paraquedas em cruz:

<http://www.nakka-rocketry.net/xchute1.html>

Aqui discute-se a matemática dos paraquedas planos:

[https://www.sunward1.com/imagespara/The%20Mathematics%20of%20Parachutes\(Rcv2\).pdf](https://www.sunward1.com/imagespara/The%20Mathematics%20of%20Parachutes(Rcv2).pdf)

Mais informação sobre projetos de diferentes tipos de paraquedas :

<http://www.hsl.org.au/articles/parachutes.pdf>

Informação sobre paraquedas na Wikipedia:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Parachute>