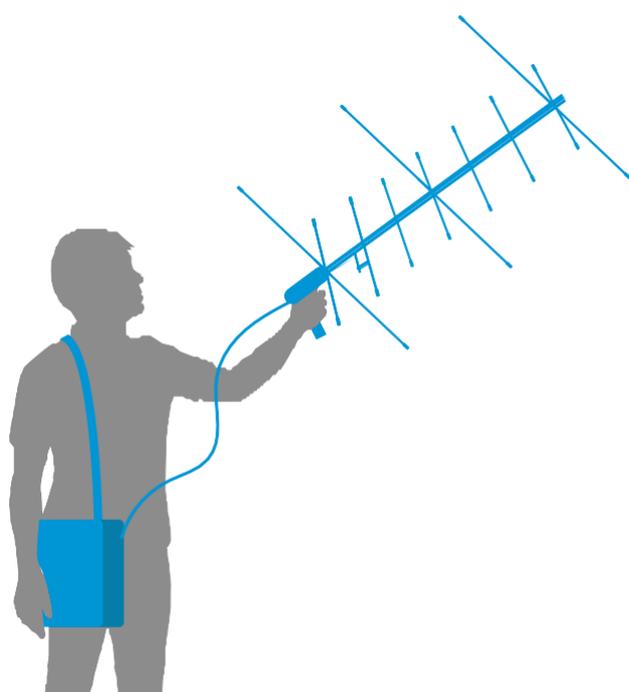
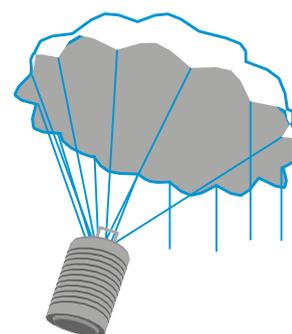
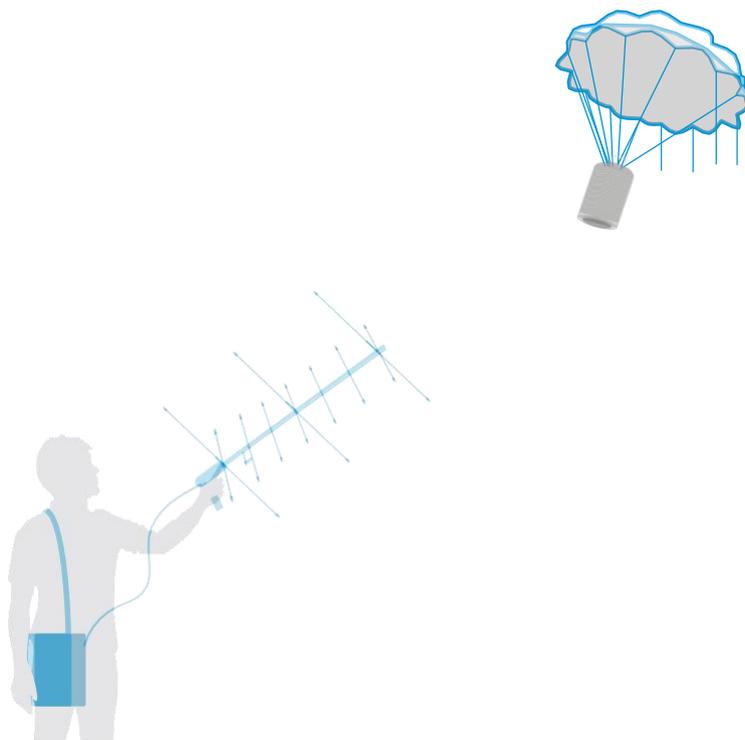


Ensinar com o espaço

→ COMUNICAR POR RÁDIO

Estação Terra para CanSat





Guia do professor

Notas	página 3
Sumário das atividades	página 4
Atividade 1: Conhecimentos básicos sobre ondas de rádio	página 6
Atividade 2: Ondas de rádio nos satélites e nas comunicações	página 6
Atividade 3: escolher a frequência ideal	página 6
Atividade 4: AM ou FM?	página 7
Atividade 5: receber os dados	página 8
Atividade 6: testar as comunicações	página 8
Fichas de trabalho	página 9
Links	página 23

Ensinar com o espaço – comunicar por rádio | T11
www.esa.int/education

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

Uma produção da ESA Educacional
Copyright 2018 © European Space Agency

→ COMUNICAR POR RÁDIO

Estação Terra para CanSat

Notas

Nível etário: 14-20 anos

Área curricular: Física, Eletrónica

Complexidade: Média

Duração: 120 minutos

Localização: Exterior

Recursos de apoio: Vamos construir um CanSat

Custo: Aproximadamente 30 euros

Palavras chave: Rádio, Comunicação, Comprimento de onda, Frequência, Espectro, CanSat

Breve descrição

Para compreender como os dispositivos quotidianos, por exemplo os telemóveis, routers e satélites funcionam, temos de perceber o que são as ondas de rádio e como podemos transmitir informação com elas. A comunicação por rádio é um dos elementos chave do nosso CanSat. Toda a informação necessária para a nossa experiência científica será enviada do CanSat para a estação Terra através de ondas de rádio, a partir do momento em que o CanSat é lançado.

Objetivos de aprendizagem

- Compreender os conhecimentos básicos sobre ondas e espectro eletromagnético.
- Compreender como funciona a modulação e porque é necessário transmitir informação.
- Compreender a importância da frequência e do comprimento de onda na propagação das ondas de rádio.
- Ser capaz de identificar todos os elementos necessários num processo de comunicação.
- Ser capaz de distinguir diferentes protocolos de comunicação.
- Ser capaz de programar o seu módulo de comunicação.
- Ser capaz de fazer a sua antena e de a usar para receber informação.

→ Sumário das atividades

Sumário das atividades					
	Título	Descrição	Resultado esperado	Pré-requisitos	Duração
1	Conhecimentos básicos sobre ondas de rádio	Introdução às ondas de rádio e respetiva localização no espectro eletromagnético	Os alunos vão perceber a importância das duas propriedades chave de uma onda: frequência e comprimento de onda.	Nenhum	10 minutos
2	Ondas de rádio nos satélites e nas comunicações	Visão global de como as ondas de rádio são usadas nos sistemas de comunicação.	Os alunos vão analisar a variedade das aplicações das ondas de rádio.	Atividades anteriores	10 minutos
3	Escolher a frequência ideal	Discussão sobre a importância da largura de banda e da sua dependência da frequência.	Os alunos vão conseguir sugerir que frequências devem ser usadas para várias atividades simples.	Atividades anteriores	15 minutos
4	AM ou FM?	São introduzidos os termos AM e FM e discute-se a modulação nas comunicações por rádio.	Os alunos vão conseguir explicar o que é a modulação através de uma analogia simples.	Atividades anteriores	10 minutos
5	Receber os dados	Introduz-se as antenas e discute-se a sua função num sistema de comunicação.	Os alunos vão ser capazes de descrever os princípios operacionais básicos de uma antena.	Atividades anteriores	20 minutos
6	Testar as comunicações	É dada orientação para a escrita de um código que teste um sistema de comunicações.	Os alunos vão ser capazes de testar e de experimentar as comunicações por rádio, usando um módulo de rádio que utiliza o código que escreveram.	Atividades anteriores	55 minutos

→ Introdução

Neste recurso, os alunos vão explorar o modo como as ondas de rádio são usadas nos sistemas de comunicação e avaliar como podem ser úteis para um projeto do CanSat. Antes de conseguirem fazer isso, eles vão ter de conhecer as características importantes das ondas de rádio e qual a sua localização no espectro eletromagnético. Também vão aprender sobre os diferentes tipos de ondas de rádio e como cada um deles tem as suas próprias funções e utilizações, antes de finalmente utilizarem um módulo de rádio para receberem alguns dados do seu 'CanSat'.

Introdução teórica: Ondas, uma aproximação matemática

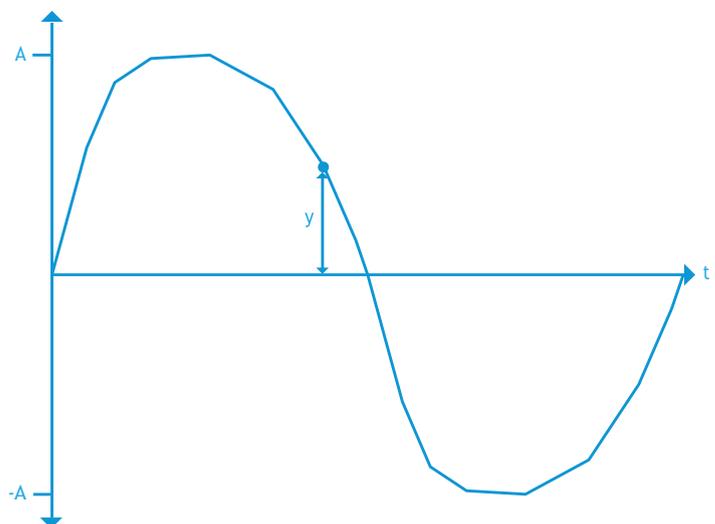
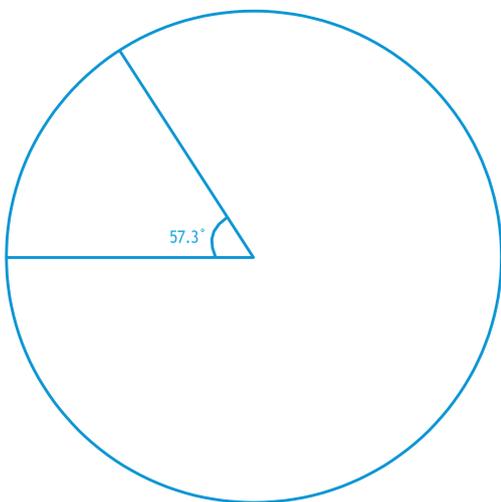
A forma mais básica de qualquer onda é uma onda sinusoidal com amplitude constante A e uma frequência única f . A elongação da onda (y) ao fim do tempo t , é dada por:

$$y = A \sin(2\pi ft)$$

O termo 2π deve-se a que 2π **radianos** corresponde ao 'ciclo' de uma onda sinusoidal. O radiano é a unidade que usamos frequentemente quando falamos sobre ondas sinusoidais. Explicando de forma simplificada, um radiano pode ser assumido como a medida de um ângulo.

Cada radiano vale aproximadamente 57 graus. O tempo (t) tem como unidade o segundo. Para uma determinada onda, $2\pi f$ e A são constantes, portanto se usarmos a equação de cima, é fácil calcular a elongação (y) num determinado instante.

Os dois diagramas em baixo podem ajudar a visualizar de forma simples o que dissemos.



→ Atividade 1: Conhecimentos básicos sobre ondas de rádio

Nesta atividade as ondas de rádio e a sua localização no espectro eletromagnético são introduzidas aos alunos, bem como as propriedades fundamentais de uma onda: comprimento de onda e frequência.

Exercício

Pede-se aos alunos que completem uma tabela com informação sobre ondas. Eles podem estimar valores de frequências a partir do gráfico desta atividade (Figura A1), ou calculando-as a partir dos valores dos comprimentos de onda dados no texto. Os valores apresentados em baixo são aproximados e só devem ser usados para dar uma ideia de toda a variedade dos valores possíveis.

Tabela 1			
	Unidade da medição	Valor mínimo	Valor máximo
Comprimento de onda	m	0,1	Dezenas de quilómetros
Frequência	Hz	3×10^4	3×10^9

→ Atividade 2: Ondas de radio nos satélites e nas comunicações

Nesta atividade mostra-se aos alunos a importância das ondas de rádio para as comunicações e também os diferentes usos da variedade de ondas de rádio existentes. Pede-se aos alunos que definam as propriedades de alguns dos módulos de rádio mais usados no CanSat.

Exercício 1

1. Calcular a FSPL (atenuação da propagação do sinal no espaço), em decibéis, de um transmissor típico do CanSat (com f de 433 MHz) no instante da implantação do CanSat (1km).

Utilizando a equação que se encontra na ficha de trabalho referente à FSPL, e substituindo os valores dados para f e R , obtém-se como resposta 85 decibéis.

Exercício 2

Pede-se aos alunos para completarem a tabela com informação sobre os transmissores do CanSat.

Tabela2			
Transmissor	Frequência	Comprimento de onda/m	Banda
APC220	418Mhz-455Mhz	0,66 - 0.72	UHF
Lora	Várias (e.g. 868Mhz)	0,35	UHF
X-Bee	2,4Ghz	0,13	UHF

→ Atividade 3: escolher a frequência ideal

Nesta atividade mostramos aos alunos a importância da largura de banda e do seu alcance, quando escolhem a frequência para um dispositivo de comunicação. Alguns cenários simples são sugeridos para fornecer um contexto.

1. **Como cada frequência tem a sua utilidade, vamos pensar que bandas com frequência (baixa/média/elevada) podem ser usadas para transferir os dados em baixo:**

Enviar um sinal de S.O.S ao longo de vários quilómetros – frequência baixa
Transmitir sequências de vídeo do CanSat para a estação Terra – frequência elevada.
Enviar uma mensagem de texto – frequência média.

As transferências dos três tipos de dados ocorrem em faixas diferentes de frequência e necessitam de taxas de transmissão diferentes. Em primeiro lugar: enviar um sinal de S.O.S ao longo de vários quilómetros; trata-se de uma pequena parte de informação, mas que é transmitida a uma distância significativa, daí a necessidade de uma frequência baixa (grande comprimento de onda) que será a escolha perfeita.

Por outro lado, transmitir sequências de vídeo do CanSat para a estação Terra necessita de uma taxa de bits muito mais elevada, mas ao longo de uma distância menor, por isso é preferível usar uma frequência mais elevada. Uma mensagem de texto encontra-se algures entre estes dois extremos, e por isso é conveniente utilizar uma frequência média.

2. **Se o chamado ‘ponto ideal’ se encontra na banda UHF, porque razão os satélites usam sobretudo a banda SHF?**

As frequências SHF ocupam outro ‘ponto ideal’ no espetro das ondas de rádio, porque os comprimentos de onda menores destas ondas podem ser dirigidos para antenas de feixe estreito tais como antenas parabólicas e antenas corneta (antenas de micro-ondas). São utilizadas em comunicações ponto a ponto, links de dados e radares.

Isto não seria possível usando comprimentos de onda maiores (por exemplo, a banda UHF).

Por outro lado, estas são as frequências mais altas que podem ser usadas para comunicações terrestres de longa distância; frequências mais altas, situadas na banda EHF (ondas milimétricas) são grandemente absorvidas pela atmosfera, limitando a distância de propagação a um quilómetro. A frequência elevada fornece às comunicações por micro-ondas uma grande capacidade de transporte de informação (largura de banda).

→ Atividade 4: AM ou FM?

São introduzidos os conceitos de AM e FM e explica-se o que é a ‘modulação’. Os alunos vão explorar uma analogia simples para os ajudar a compreender o que é a modulação.

Exercício

1. **Se o chamado ‘ponto ideal’ se encontra na banda UHF, porque é que os satélites utilizam sobretudo a banda SHF?**

Sem separação de frequências é provável que as equipas do CanSat fossem captar interferências de transmissões de outras equipas – isto iria comprometer o sucesso da missão.

→ Atividade 5: Receber a informação

Nesta atividade explica-se o processo de comunicações da competição do CanSat, sendo analisados os princípios fundamentais de funcionamento das antenas. Além disso, os alunos vão adquirir um conhecimento mais profundo da complexidade das antenas. São apresentados os três tipos de antenas mais utilizados, sendo discutidas as suas diferenças.

Exercício

1. Que tipo de antena escolheria para a estação Terra e para o CanSat?

A antena a bordo do CanSat tem de ser isotrópica (tanto quanto possível), o que significa que fornece a mesma potência em todas as direções. As antenas monopulares têm metade do tamanho das antenas bipolares, e por isso tornam-se atrativas quando é necessário usar uma antena mais pequena. A antena ligada à estação Terra pode ser apontada em direção ao CanSat, e por isso pode ser uma antena direcional com alto ganho, o que significa que recebe mais ondas eletromagnéticas de uma direção do que de outra.

2. É possível calcular o comprimento que uma antena de um quarto de onda necessita para que possa receber um sinal Wi-Fi de 2.4GHz?

Os alunos iniciam a atividade utilizando esta equação:

$$L = c/4f = 3 \times 10^8 / (4 \times 2,4 \times 10^9) = 0,03\text{m} = 3\text{cm}$$

→ Atividade 6: Testar as comunicações

Nesta atividade os alunos utilizam o Arduino e módulos de rádio APC 220 para realizarem um teste simples de comunicação por rádio. Para aumentarem o seu conhecimento, são desafiados a comparar os seus resultados com uma antena Yagi.

Exercício

1. Até que distância pode deslocar o colega antes que deixe de receber um sinal?

Os resultados experimentais deste exercício podem variar de aluno para aluno.

2. Que pode ser alterado para melhorar o alcance?

Há vários aspetos que podem ser alterados de modo a melhorar o alcance da transmissão, incluem:

- Aumentar a potência da transmissão.
- Diminuir a frequência (aumentando o comprimento de onda).
Contudo, as melhorias no alcance por motivo de usar uma frequência menor só são observáveis numa macro escala. É pouco provável que os alunos consigam observar quaisquer diferenças dentro dos limites de funcionamento dos seus dispositivos.
- Assegurar uma linha de visão limpa de obstáculos entre o emissor e o recetor.
Nota: este fenómeno é mais facilmente observado quando os obstáculos são maiores, ou pelo menos com tamanho idêntico ao comprimento de onda do emissor.
- Utilizar uma transmissão direcionada (antenas Yagi).

3. Que pode ser alterado para melhorar o alcance?

Se os alunos tentarem utilizar uma antena de um quarto de onda (antena pato) quer para emitir quer para receber informação, eles vão verificar que o alcance permitido diminui. As antenas pato são mono direcionais, por isso a sua potência de saída noutra direção qualquer é inferior à da antena Yagi. Por isso, na competição do CanSat faz muito mais sentido utilizar uma antena pato dentro do CanSat e uma antena Yagi na estação Terra.

→ COMUNICAR POR RÁDIO

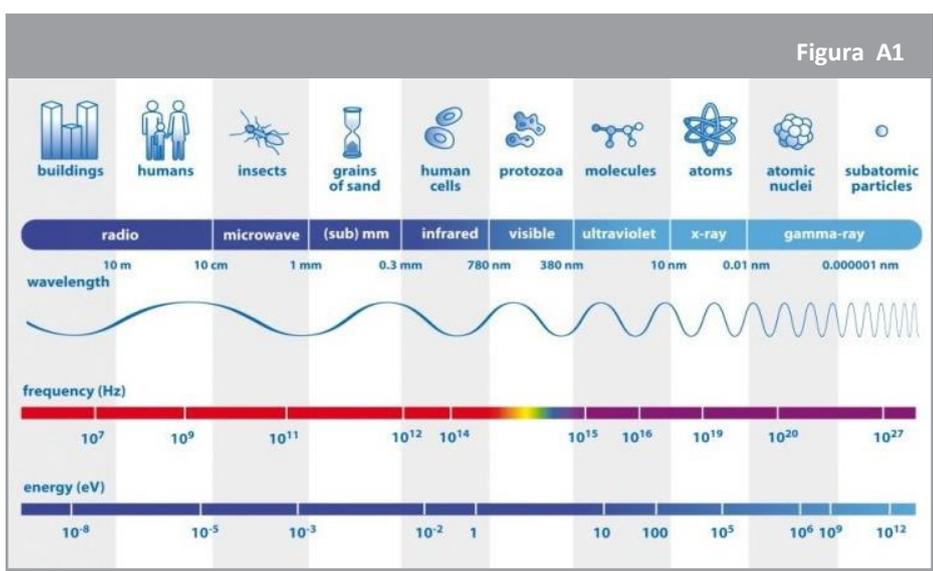
Estação Terra para CanSat

→ Atividade 1: Conhecimentos básicos sobre ondas de rádio

As ondas de radio encontram-se por todo o lado na nossa vida diária, mas o que é uma onda de rádio e qual a importância das ondas de rádio para a nossa missão do CanSat? Grande quantidade da nossa comunicação do dia a dia depende das ondas de rádio, talvez coisas que não imaginas, tais como o Wi-Fi e o Bluetooth – não se trata só dos rádios dos carros! Vamos explorar o que são exatamente as ondas de rádio e como as podemos utilizar para comunicar com os nossos CanSats.

O que é uma onda de rádio?

Em qualquer tipo de comunicação, precisamos de uma fonte, um portador e um recetor bem como um meio de propagação. Um exemplo muito simples para isto é a comunicação oral: neste caso, a pessoa que fala é a fonte, a onda de som é o portador, a pessoa que ouve é o recetor e o meio é o ar. A comunicação por radio envia informação de um local para outro usando um tipo de onda eletromagnética, as ondas de rádio. Estas ondas são as que têm maior comprimento de onda, situam-se no extremo do espectro eletromagnético e, contrariamente ao som, podem propagar-se no vazio.



↑ Espectro eletromagnético

O comprimento de onda dos sinais de rádio pode ir de aproximadamente 0,1 metros até dezenas de quilómetros. A frequência da onda (que é o número de ciclos por segundo, e mede-se em Hz) pode ser calculada a partir do comprimento de onda usando a seguinte equação:

$$\lambda \cdot f = c$$

em que λ é o comprimento de onda (que é o comprimento de um ciclo da onda), f é a frequência e c é a velocidade da luz ($c=3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$).

Exercício

Utilizando a informação dada e a equação acima, completa a tabela de baixo, referente a ondas de rádio:

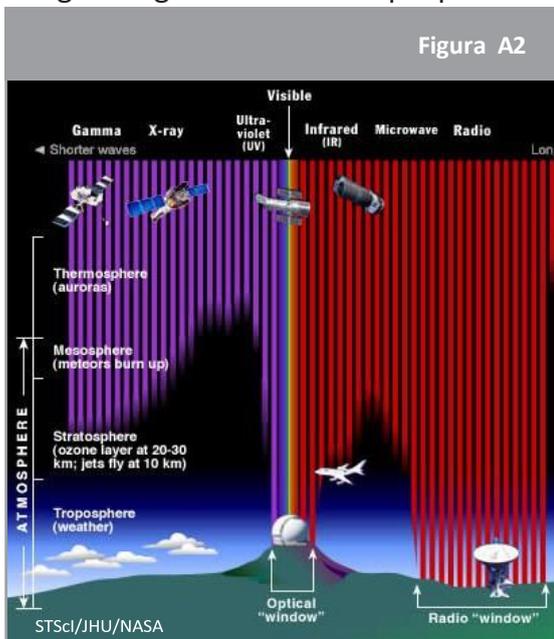
	Unidade de medida	Valor mínimo	Valor máximo
Comprimento de onda			dezenas de quilómetros
Frequência			

→ Atividade 2: Ondas de rádio nos satélites e nas comunicações

As ondas de rádio são, talvez, as ondas do tipo eletromagnético mais amplamente usadas nas comunicações do dia a dia. Mas porque razão são tão úteis? Nesta atividade vamos aprender quais as vantagens das ondas de rádio para as comunicações e como a frequência e o comprimento de onda escolhidos para as nossas ondas de rádio são fundamentais para o nosso projeto.

A minha onda perdeu-se!

No espectro eletromagnético há só alguns tipos de ondas que não são absorvidas pela atmosfera. A imagem seguinte mostra a que ponto as ondas vindas do espaço são absorvidas pela atmosfera.



Como podes ver, as ondas de rádio têm um lugar privilegiado no espectro eletromagnético, já que a maioria delas atravessa a atmosfera sem serem absorvidas!

Por isso as ondas de rádio, assim como algumas micro-ondas, são a melhor opção para serem usadas pelos satélites de comunicações que se encontram em órbita.

Atenuação da propagação do sinal no espaço

Há outro aspeto que temos de considerar nas comunicações por rádio. A atenuação da propagação do sinal no espaço (FSPL) que é a perda da potência do sinal de uma onda eletromagnética e resulta de uma linha de visão livre de obstáculos. Mas se não há obstáculos, porque é que temos uma perda da potência do sinal? Vamos tentar uma analogia:

↑ [The electromagnetic spectrum](#)

Imagina que sopras, pouco, um balão e que desenhas nele um círculo com um marcador. Se tentarmos ver para dentro do balão percebemos que o material de que é feito é muito denso para que possamos ver através dele. Agora enche um pouco mais o balão e volta a desenhar um círculo com o mesmo tamanho na sua superfície. A área para que estamos a olhar é a mesma, mas como o balão se expandiu em todas as direções o material ficou menos denso, e agora podemos ver através dele. Trata-se de um princípio idêntico ao que faz surgir a FSPL. A FSPL surge no vácuo, sob condições ideais, e.g. numa comunicação de rádio entre satélites. A atenuação da propagação do sinal no espaço pode ser calculada como a razão entre a potência emitida e a potência recebida:

$$FSPL = \text{Log}_{10} \left(\frac{P_{\text{emitida}}}{P_{\text{recebida}}} \right) = \text{Log}_{10} \left(\frac{(4\pi Rf)^2}{c^2} \right) = 20 \text{Log}_{10} \frac{4\pi Rf}{c}$$

Em que f é a frequência emitida e R é a distância entre o emissor e o recetor. Nota que esta perda ocorre mesmo no vácuo, as perdas no mundo real serão maiores que estas!

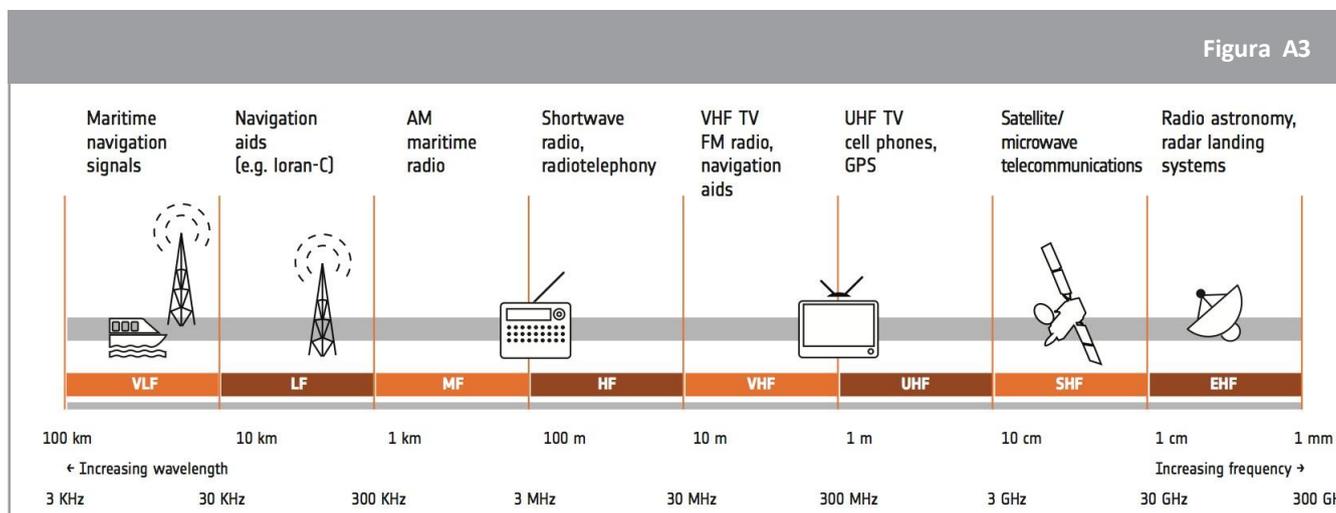
Exercício 1

1. Calcula a FSPL, em decibéis de um transmissor CanSat (com f de 433 MHz) no momento da sua colocação (1km).

Explorar o espectro das ondas de rádio

Vamos agora explorar diferentes tipos de ondas de rádio de acordo com as suas frequências.

Na imagem em baixo, podemos ver como as ondas de rádio, de diferentes frequências, podem ser usadas em tipos diferentes de comunicação, desde sinais de navegação marítima, até sistemas de radar em Terra.



↑ espectro das ondas de rádio e as suas utilizações

Como vemos na imagem, para as comunicações por satélite utilizamos a banda SHF (frequência super alta), com frequências que vão desde os 2 GHz até aos 30 GHz, e com comprimentos de onda que variam entre 1 cm e 10 cm. Estas ondas localizam-se na banda das micro-ondas, por isso as ondas de rádio com estas frequências chamam-se micro-ondas.

Exercício 2

Completa a tabela em baixo, preenchendo os comprimentos de onda e a banda de três populares transmissores CanSat.

Transmissor	Frequência	Comprimento de onda/m	Banda
APC220	418Mhz-455Mhz		
Lora	Várias (e.g. 868Mhz)		
X-Bee	2,4Ghz		

→ Atividade 3: Escolher a frequência ideal

Há duas coisas importantes a considerar quando decides qual a frequência que vais utilizar no teu dispositivo de comunicação. A primeira é ‘qual a quantidade de informação que necessito transmitir?’. A segunda é ‘a que distância pretendo transmitir a informação?’. Ambas são afetadas pela frequência usada, vamos ver como.

O ponto ideal: largura de banda versus alcance

No exercício anterior, deves ter percebido que todos os transmissores/recetores (transcetores) CanSat transmitem informação na mesma banda do espectro das ondas de rádio. Mas porquê?

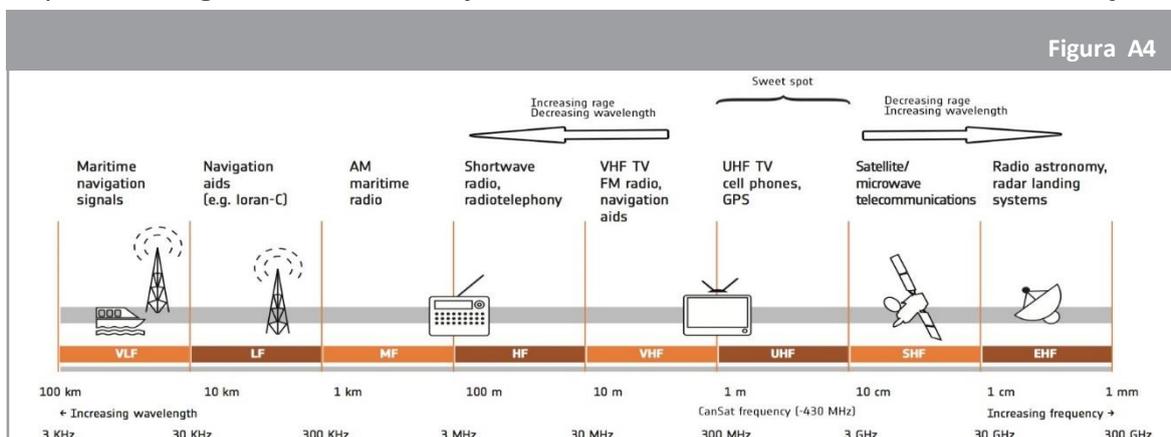
Dois elementos desempenham um papel chave na escolha da nossa frequência; a largura de banda e o o alcance.

A **largura de banda**, medida em Hertz, é o intervalo de frequências em que a potência da maioria dos transmissores funciona. Quanto maior for a informação que um sinal precisa de carregar maior é a largura de banda que necessita. Por exemplo, um sistema que opere com frequências entre 150 e 200 MHz tem uma largura de banda de 50MHz (200MHz - 150MHz).

Quando se discute a largura de banda é importante compreender dois termos chave: banda estreita e banda larga. Sinais de banda estreita, como o nome sugere, têm uma largura de banda menor (no âmbito dos quilohertz). Podem ser utilizados para transmissões a baixa velocidade. Sinais de banda larga, pelo contrário, têm uma largura de banda na ordem dos megahertz e conseguem suportar transmissões de informação a velocidades muito maiores, tais como vídeo de alta definição.

O **alcance de comunicação da onda** é a distância a que a onda consegue viajar a fim de ser recebida em condições. A perda deve-se essencialmente a enfraquecimento e absorção devido ao ambiente envolvente. Numa situação ideal, todas as ondas podem viajar uma distância infinita (por exemplo, pensa na luz que nos chega proveniente de estrelas que estão a distâncias de milhões de anos luz). Contudo, os objetos e o meio podem absorver e difratar as ondas— normalmente, ondas com comprimentos de onda maiores necessitam de objetos maiores para serem difratadas ou absorvidas.

Cada tipo de comunicação por rádio tem um objetivo diferente: algumas vezes queremos transmitir muita informação a curta distância, outras vezes necessitamos de transmitir muito pouca informação através de uma grande distância. A decisão de funcionar com o nosso CanSat numa ou noutra frequência, surge da análise dos objetivos e das características da nossa comunicação.



Na imagem anterior, vemos que quanto mais alta for a frequência que escolhermos, maior será a largura de banda disponível e mais curto o alcance. Isto significa que podemos transmitir muito mais informação se escolhermos bandas de frequências mais altas, mas o alcance da nossa comunicação será significativamente inferior que para as bandas de frequência mais baixa.

Contudo não é tão simples assim, porque a distância ao longo da qual a comunicação por rádio é boa depende significativamente de outras coisas além do comprimento de onda, tais como a potência do transmissor, a qualidade do recetor, o tipo, o tamanho e a altura da antena, o modo da transmissão, o barulho, e a presença de quaisquer sinais de interferência.

A frequência utilizada nos transmissores/recetores(transcetores) do CanSat depende daquilo que é muitas vezes chamado o 'ponto ideal', sobretudo a 'frequência ultraelevada' ou a banda 'UHF' do espectro de rádio. Frequências mais elevadas não são tão desejáveis porque são muito absorvidas pela atmosfera, e por isso o seu alcance diminui, enquanto que frequências mais baixas têm uma largura de banda com menor capacidade.

Exercício

1. Como todas as frequências têm a sua utilidade, vamos pensar quais as bandas de (baixa, média ou alta frequência) podias usar para transmitir a informação em baixo:

Enviar um sinal de S.O.S ao longo de vários quilómetros - _____

Emitir uma sequência de vídeo do teu CanSat para a estação Terra - _____

Enviar uma mensagem de texto - _____

2. Se o chamado 'ponto ideal' se encontra na banda UHF, porque é que os satélites usam essencialmente a banda SHF?

Sabias que?

A ESA opera algumas das estações de rastreamento mais sofisticadas do mundo localizadas por todo o planeta, permitindo às naves espaciais manterem contacto com a Terra enquanto viajam profundamente no nosso Sistema Solar. Os engenheiros podem identificar, com precisão, a órbita de uma nave espacial que explora Marte ou Vénus - a uma distância de mais de 100 milhões quilómetros da Terra – a precisão é de 1 quilómetro.



http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2013/09/Tracking_spacecraft_deep_across_the_void

→ Atividade 4: AM, FM ou...?

AM e FM são dois termos com os quais já podes estar familiarizado. Tu já te deparaste, provavelmente, com eles quando ouves rádio, ou até talvez tenhas montado a tua própria estação de rádio? Mas qual é exatamente o seu significado, e porque é importante para o nosso CanSat? Vamos descobrir!

Todas as mensagens necessitam de um mensageiro

O 'M' em 'AM' e em 'FM' significa 'modulação', mas antes de podermos explicar o que isto significa precisamos de compreender primeiro mais dois termos.

- **Sinal de onda:** contem a informação ou a mensagem a ser transmitida (e.g. dados sobre humidade))
- **Portador de onda:** o meio pelo qual a informação vai ser transmitida (normalmente uma onda eletromagnética, e.g. uma onda de rádio, luz visível ou corrente alternada)

Usar as ondas de rádio como portadores de onda, para transmitir a informação, significa que a informação tem de ser acrescentada à frequência de rádio que está a ser utilizada. O acrescentar desta informação chama-se modulação.

Vamos tentar uma experiência que nos ajude a compreender a **modulação**.

Pega num papel, por exemplo um envelope, e tenta atirá-lo mais longe que dez metros. Consegues?

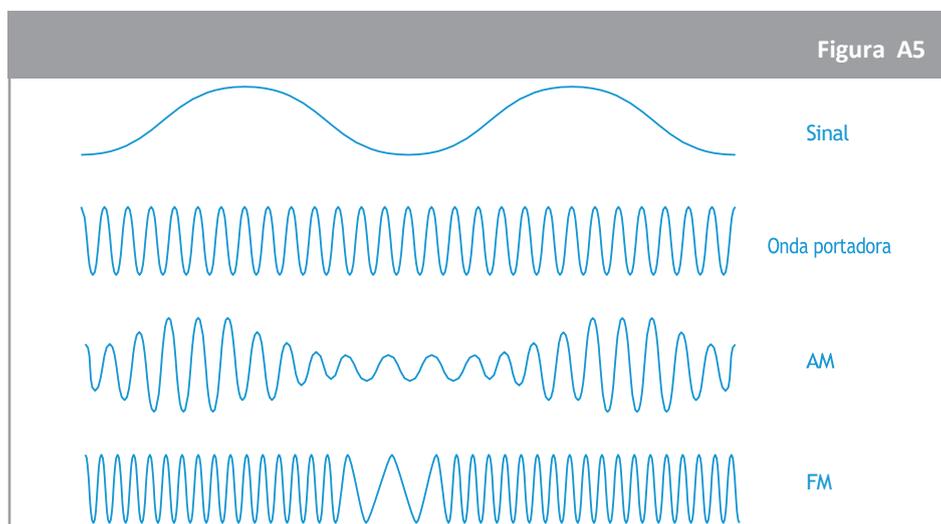
Agora, pega numa pedra de tamanho médio e embrulha-a no papel. Agora já consegues atirá-lo a uma distância de 10 metros?

O papel embrulhando a pedra consegue atingir o seu objetivo (viajar 10 metros) porque alterámos uma das propriedades do sistema. A informação que queremos enviar (o papel) pode então ser transmitida, utilizando um portador (a pedra).

Em eletrónica e telecomunicações, a modulação é o processo de transmitir um sinal de mensagem, por exemplo, um fluxo de bits digitais ou um sinal analógico de áudio, dentro de outro sinal que possa ser fisicamente transmitido. Neste caso, alteramos as propriedades do sinal, como a frequência ou a amplitude.

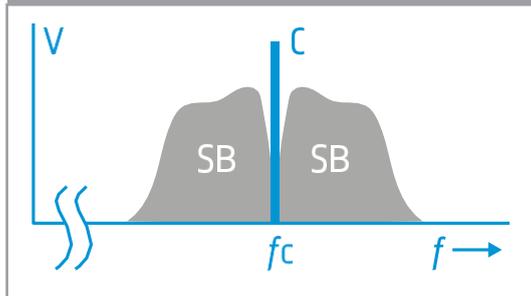
Há muitas formas de modulação, contudo as mais comuns são a AM e a FM.

- **Com AM (modulação em amplitude)**, a informação é transmitida alterando a amplitude da onda portadora.
- **Com FM (modulação em frequência)**, a frequência instantânea da onda portadora é alterada.



↑ Diferença entre a modulação em AM e em FM

Figura A6



↑ Sinal de rádio modulado

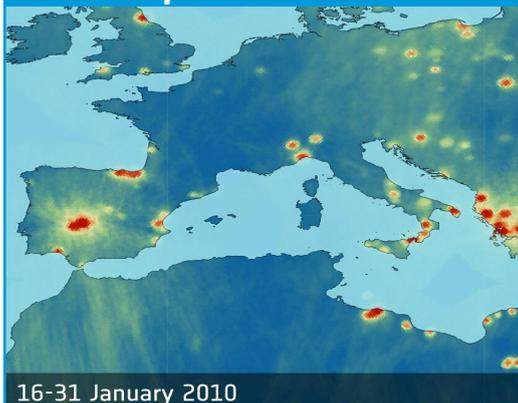
Um exemplo do aspeto final que tem uma onda modulada é mostrado em baixo. A voltagem (V) é apresentada no eixo dos y , e é assim que se mede inicialmente um sinal. Os computadores de bordo são programados de modo a relacionarem a voltagem com a grandeza na qual estamos interessados.

Na figura A6, f é a frequência, f_c é a frequência da onda portadora e SB são as bandas laterais. Podes ver que o sinal da voltagem cai para o valor zero nas extremidades das bandas laterais. Quanto maior é a largura de banda, mais largas são as bandas laterais.

Exercício

Os nossos dispositivos do dia a dia nunca funcionam nas mesmas frequências. Podes ver alguns exemplos de aplicações do dia a dia e das frequências em que operam na Figura A3 da Atividade 2. Similarmente, na competição Europeia do CanSat, as frequências afetas às equipas do CanSat estão separadas de pelo menos 0,1MHz. Consegues explicar porquê?

Sabias que?



A missão da ESA sobre a salinidade do oceano e a humidade do solo (SMOS) dedica-se a fazer observações globais da humidade do solo em Terra e da salinidade nos oceanos. Quando o satélite SMOS da ESA foi colocado em órbita em 2009, aconteceu que numerosos transmissores ilegais em todo o mundo interrompiam o seu sinal. No entanto, trabalhando em colaboração com autoridades nacionais de proteção à frequência, 75% destes transmissores foram desligados. Porém trata-se de um processo trabalhoso e em algumas regiões, tais como a Líbia e a costa oriental do Mar Mediterrâneo, continua a haver contaminação pois aí as estratégias para diminuir o problema não tiveram sucesso.

Então que tipo de modulação devemos utilizar?

Bem, nós sabemos que:

- Quando amplificamos um sinal em AM, amplificamos também o ruído, o que não acontece com a modulação em FM.
- Na modulação em FM, a amplitude da onda portadora é pequena quando comparada com a amplitude das bandas laterais, por isso a maior parte da potência da transmissão vai para as bandas laterais, onde se encontra a informação.
- A mesma informação pode ser transmitida, utilizando uma potência menor, com FM comparativamente a AM.
- A largura de banda para FM é maior do que para AM.
- Os moduladores e desmoduladores são mais complexos para FM do que para AM.

Todos à exceção de um dos importantes fatores acima indicados são a favor da FM relativamente a AM, e esta é a razão pela qual é muito mais usada na vida quotidiana. Contudo, estas duas modulações tornaram-se antiquadas, porque outros tipos de modulação como FSK (modulação por chaveamento de frequência), ajudam-nos a transmitir muito mais informação do que em AM e em FM. Um dos transmissores/recetores do CanSat, o APC 220, utiliza este tipo de modulação.

→ Atividade 5: Receber a tua informação

Um transmissor cria um sinal oscilante num cabo, ligado à antena. O sinal é transformado e emitido sob a forma de ondas eletromagnéticas através da antena. No ponto de receção da comunicação, parte desta onda é coletada e transformada novamente numa corrente elétrica, por outra antena.

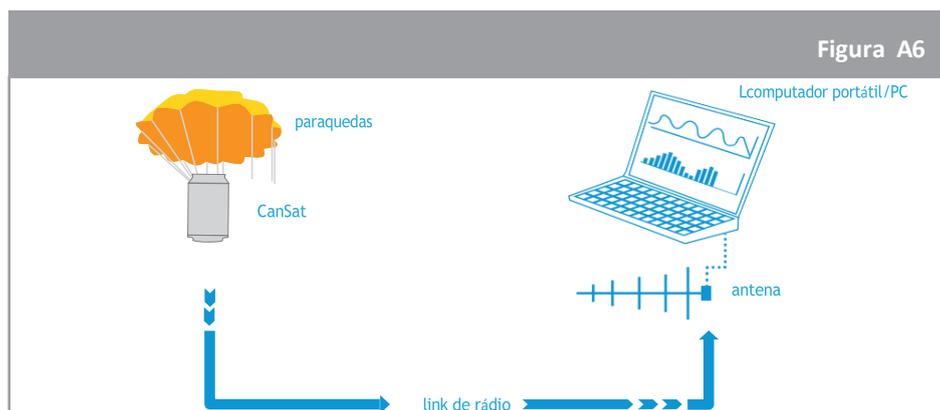
O teu projeto CanSat envolve duas antenas: a primeira é a antena que está a bordo do CanSat, a segunda é a antena usada na estação Terra. As antenas têm de ser feitas com especificações diferentes, embora o modo de operação seja idêntico para as duas antenas. Temos de analisar as características de cada antena de modo a escolher a melhor opção quer para o CanSat quer para a estação Terra.

Ouvindo ondas estacionárias

Enquanto está no ar, o CanSat envia informação através de ondas de rádio e estas ondas são detetadas por uma antena que se encontra na estação Terra. Esta informação é então processada através do nosso código, em informação que conseguimos compreender, tais como medições de temperatura e de humidade. Um termo que vais ver com frequência à medida que pesquisas para construíres a tua própria antena é a antena de '1/4 de comprimento de onda'.

Isto tem a ver com as dimensões reais da antena relativamente ao comprimento de onda, da onda que estás a tentar receber. Quando a onda interage com a antena, ondas estacionárias de eletrões são criadas dentro do metal. A orientação e o comprimento da antena asseguram que a onda estacionária final reflete com precisão a onda que chega.

Este movimento de eletrões (a corrente elétrica) pode ser interpretado por um computador.



Os dispositivos que têm recetores de ondas de rádio incluem televisores, equipamento de radar, rádios bidirecionais, telemóveis, redes de computadores sem fios, dispositivos de navegação por GPS, antenas parabólicas, radiotelescópios, dispositivos de Bluetooth, abridores de portas de garagem, e monitores para bebé.

A qualidade do link de rádio depende essencialmente de três fatores: a potência do transmissor, a sensibilidade do recetor e as antenas utilizadas. Todos eles podem ser alterados através da escolha do transmissor e das antenas que usares.

Sabias que?



Isto é Hertz Hybrid European RF e Antenna Test Zone da ESA para testes de antenas em ESTEC, conhecido antigamente como o Compact Payload Test Range. As paredes de metal protegem dos sinais de rádio exteriores enquanto o revestimento interior de espuma pontiaguda absorve os sinais internos de modo a criar as condições que simulam o vazio infinito do espaço

Exercício

1. Que tipo de antena escolherias para a tua estação Terra e para o teu CanSat?

Tipos de antenas

Os três tipos de antena mais comuns são a antena de quarto de onda, a antena pato, (ou pato de borracha) e a antena Yagi; Vamos agora analisar todas elas em maior pormenor.

Antena tipo 1 do CanSat: Antena de quarto de onda:

Uma antena muito comum é a **antena monopolar**. A antena monopolar é uma antena com um condutor reto em forma de haste, sendo a mais comum a **antena de quarto de onda**. A justificação do nome é muito simples: o comprimento da haste condutora corresponde a um quarto do comprimento de onda da onda de rádio que ela vai receber ou emitir!

O comprimento necessário para a antena de quarto de onda pode ser calculado utilizando a equação seguinte:

$$L = \frac{c}{4f}$$

Em que

L é o comprimento exigido para a antena [m]

c é a velocidade da luz (3×10^8 km/s) [m/s]

f é a frequência utilizada [Hz]

A fórmula mostra que o comprimento da antena para um recetor de 434 MHz deverá ser cerca de 17,3 cm. O arame pode ser soldado diretamente no contacto da antena com a placa do transmissor, ou, quando se usa um cabo coaxial, a antena pode ser colocada a alguma distância da placa. Quando se usa um cabo coaxial, o valor de 17,3 cm do condutor externo tem de ser subtraído para construir a antena de quarto de onda. É necessário protegê-lo com material isolante porque um contato elétrico com superfícies de metal pode danificar o transmissor.

Exercício

2. Consegues calcular qual o comprimento necessário para que uma antena de quarto de onda receba um sinal WI-FI de 2,4Ghz?

Antena tipo 2 do CanSat: Antena Pato



Figura A7

A antena ‘pato’ é provavelmente o tipo de antena com a qual estás mais familiarizado, pois é a que vais encontrar na parte de trás do teu router doméstico e nos modems de banda larga. Dentro do revestimento de plástico da antena pato existe uma hélice de metal que é usada para receber ou emitir o sinal. Esta é a antena normalmente incluída no kit do CanSat.

↑ Antena Pato

Antena da estação Terra: Antena Yagi

Outro tipo de antena que te é familiar é a antena Yagi. Esta antena encontra-se ligada, com frequência, a televisores antigos e em telhados que recebem sinais de televisão analógicos. A figura mostra a antena direcional Yagi que opera com duas frequências diferentes. Esta antena tem sete elementos Yagi para 433MHz e três elementos Yagi para 145MHz. Observa como a orientação dos dois conjuntos de elementos é diferente, assegurando assim que as ondas estacionárias formadas não interagem umas com as outras. Para receber as ondas de rádio do CanSat, é uma boa opção construir uma antena Yagi porque ela pode ser montada com relativa facilidade, utilizando materiais baratos tais como madeira e tubos de cobre.

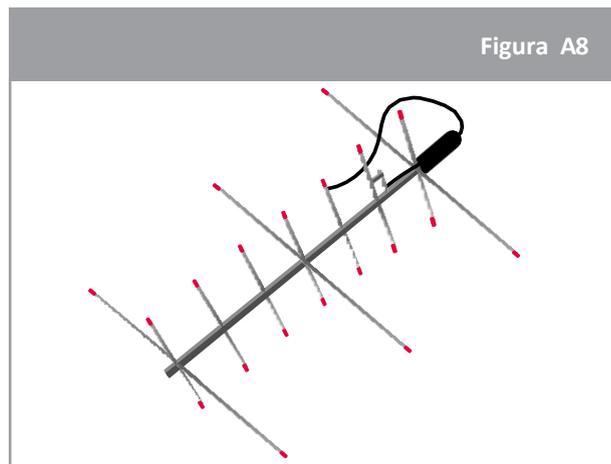


Figura A8

↑ Uma “Flecha” que é uma antena Yagi para funcionar com duas frequências diferentes

A antena do CanSat tem de ser suficientemente robusta para sobreviver ao lançamento feito com um foguete. Devido às restrições de tamanho, uma antena de arame de um quarto de onda funciona muito bem para o nosso CanSat. O quarto de onda descreve o comprimento da antena relativamente à frequência que se vai usar. Os transmissores do CanSat funcionam normalmente a cerca de 433MHz, embora a frequência atribuída à tua equipa na competição Europeia compreenda o intervalo de 433-435MHz. Isto está feito para proteger cada equipa de interferências provocadas por todas as outras equipas do CanSat.

Construir uma antena Yagi

As antenas Yagi são muito vulgares e são as escolhidas por muitas equipas do CanSat. No entanto, tu tens a liberdade de utilizar diferentes modelos e abordagens se assim o desejares. O modelo de rádio utilizado no teu CanSat será uma decisão individual, baseada nos objetivos da tua missão, no orçamento disponível e no espaço. É fundamental que olhes para as especificações técnicas do módulo que estás a considerar utilizar antes de o comprares!

A estrutura fundamental de uma antena Yagi é mostrada na Figura A8. É essencial que a distância entre os chamados ‘elementos parasitas’ e o comprimento de cada um deles seja calculado com precisão (há muitas ferramentas online que te ajudam a fazer isto!). Os elementos parasitas devem ser condutores (é perfeito se usares uma haste de metal) mas não devem estar eletricamente ligados aos outros componentes.

Podes encontrar um guia detalhado que te indica passo a passo como podes construir uma antena Yagi básica de 430 MHz aqui: <https://www.youtube.com/watch?v=2paNzKMW-8c>. Se tens uma versão impressa deste documento, podes ir à função search (busca) do youtube e escrever ‘DIY Yagi-Uda Antenna’ para encontrares este vídeo.

Nada se consegue sem trabalho

O ganho da antena é o seu desempenho chave e é dado por um número que combina a capacidade direcional da antena e a sua eficiência elétrica. Numa antena de transmissão, o ganho descreve quão bem a antena converte a potência de entrada em ondas de rádio dirigidas numa determinada direção. Numa antena de receção, o seu ganho descreve quão bem a antena converte as ondas de rádio que recebe vindas de uma direção específica em corrente elétrica. Quando a direção não é especificada, "o ganho" é entendido como o valor máximo do ganho, na direção do lóbulo principal da antena. O valor do ganho em função da direção chama-se padrão de radiação.

O ganho em potência (ou simplesmente ganho) é uma medida sem unidades que combina a eficiência da antena E (calculada a partir da potência de entrada P_{entrada} e da potência de saída $P_{\text{saída}}$) com a diretividade D :

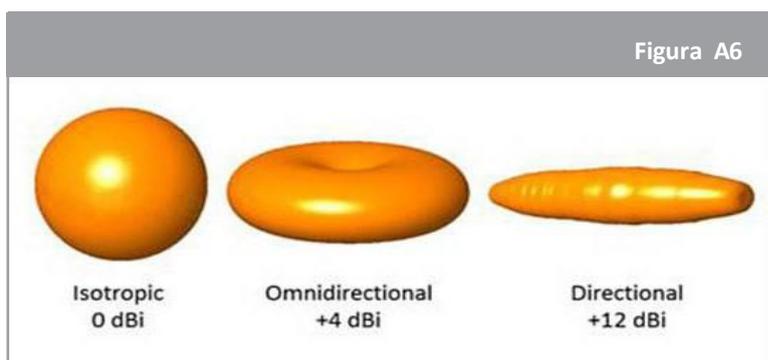
$$G = E_{\text{antena}} \cdot D = \frac{P_{\text{saída}}}{P_{\text{entrada}}} \cdot D$$

Enquanto que o ganho em decibéis é calculado como se indica a seguir:

$$G_{\text{decibéis}} = 10 \text{Log}_{10}(G)$$

Quando a diretividade é convertida em decibéis nós chamamos-lhe ganho de antena relativamente a uma fonte isotrópica (dBi, ganho de uma antena isotrópica em decibéis). Quanto maior for o ganho maior será a eficiência no funcionamento da antena, e maior será o alcance de atuação da antena. Cada ganho de 6 dBi, aumenta o alcance da antena para o dobro.

Como podes ver nas imagens, as antenas direcionais (como a antena Yagi) têm um ganho maior, mas o inconveniente é que só vão ser capazes de transmitir ou receber ondas de rádio, com grande eficiência, numa direção específica. Contudo antenas omnidirecionais (e.g. monopolar) têm um ganho mais baixo em decibéis mas podem emitir e receber numa amplitude de 360 graus.



↑ Exemplos de diferentes padrões de potência de antena com o ganho de potência em decibéis

Considerações sobre o ganho da antena Yagi-Uda

Uma série de características do modelo da Yagi afeta o ganho no geral:

Número de elementos da Yagi: Um dos principais fatores que afeta o ganho da antena Yagi, é o número de elementos no modelo. Normalmente um refletor é o primeiro elemento que se adiciona a qualquer modelo yagi o que lhe dá um ganho adicional muito grande. Seguidamente são acrescentados os diretores.

Espaçamento entre elementos: O espaçamento pode ter impacto no ganho da Yagi, embora não tanto como o número de elementos. Normalmente uma haste com espaçamentos grandes, i.e., uma que tenha intervalos largos entre os elementos dá um ganho maior do que uma mais compacta. As posições mais críticas dos elementos são as do refletor e a do primeiro diretor, pois o seu espaçamento vai definir o espaçamento de qualquer outro elemento que se adicione.

Comprimento da antena: quando se calcula as posições ideais dos diferentes elementos verifica-se que numa matriz com múltiplos elementos da Yagi, o ganho é normalmente proporcional ao comprimento dessa matriz. Há alguma liberdade na disposição dos elementos.

→ Atividade 6: Testar as tuas comunicações

Agora que compreendemos as complexidades da comunicação por rádio estamos prontos para construir e testar um sistema de comunicações completo! Nesta atividade vamos realizar alguns testes simples usando transmissores APC220 e uma antena pato.

Receber dados

Há muitos transmissores e recetores diferentes disponíveis para utilizares no teu CanSat, e nós não podemos analisá-los a todos em pormenor. Nesta seção, vamos explorar a utilização dos transmissores APC220 para enviar e receber informação!

Nota: as instruções em baixo podem não funcionar perfeitamente para a tua configuração. O teu sistema operativo, a versão do Arduino, a placa do Arduino e os chips do transmissor que estás a usar são todos importantes. Se tiveres problemas, consulta as fichas técnicas do fabricante e as instruções.

Passo 1: os elementos

Além da placa do Arduino e de um computador, também vais precisar de um conjunto de transmissores APC220, duas antenas pato e um cabo conversor USB-TTL apropriado. Neste guia vamos usar o conversor PL-2303 USB-TTL.

Nota: também vais precisar de um segundo computador portátil, ou uma fonte externa de energia para o teu Arduino.

Passo 2: os drivers

Para que o conversor USB-TTL faça a interface com o teu computador, tens de primeiro instalar os drivers. Podes encontrar os Links para as drivers aqui: [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/APC220_Radio_Data_Module\(SKU:TEL0005\)#Communication_Test](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/APC220_Radio_Data_Module(SKU:TEL0005)#Communication_Test)

Nota: existem problemas já conhecidos na utilização de dispositivos com Windows 8/10 e os conversores PL-2303HXA e PL-2303X USB-TTL. Se o teu computador não reconhecer o dispositivo, verifica os números de série.

Assim que instalares os drivers, verifica se o dispositivo é reconhecido, indo a Start -> Device Manager e depois procurar 'Ports' section. Se não estiver listado, tenta reiniciar o teu PC e verificar outra vez.

Passo 3: emparelhar o transmissor e o recetor

O próximo passo é configurar ambos os dispositivos APC220 de modo a que estejam sintonizados na mesma frequência, e enviem e recebam ao mesmo ritmo, caso contrário os dois não vão ser capazes de comunicar um com o outro.

Para fazer isto, vamos utilizar um sketch especial do Arduino que pode ser carregado para o UNO e usado para configurar os dispositivos.

Primeiro, [download](#) o ficheiro APC220 config '.ino' Seguidamente, abre e carrega o código para o Arduino.

Agora, liga o APC220 ao Arduino Uno como se mostra na fotografia em baixo (do pino digital 8 para GND):



Uma vez que o APC220 esteja ligado abre o ‘serial monitor’, onde deverá aparecer um menu, se tal não acontecer, escreve ‘m’ na linha de comando e carrega em enter.

O menu dá instruções de como configurar o APC220. O mais importante é ter a certeza que configuras o teu par de APC220s na mesma frequência e com a mesma taxa de transmissão, etc.

Nota: se estás numa turma com muitos conjuntos de APC220s é uma boa ideia que cada par esteja regulado para uma frequência diferente, a não ser que queiras ouvir as mensagens dos outros grupos! Lembra-te que o intervalo de funcionamento do APC220 é 420-450Mhz.

Um exemplo de um comando para configurar o APC220 também é dado e explicado no menu.

Passo 4: Hora de testar!

Estamos agora prontos para tentar enviar e receber alguma informação.

Para fazer isto precisamos de utilizar dois softwares, o Arduino IDE, com o qual tu estás familiarizado, e o ‘Serial Port Utility’ que pode ser descarregado [aqui](#).

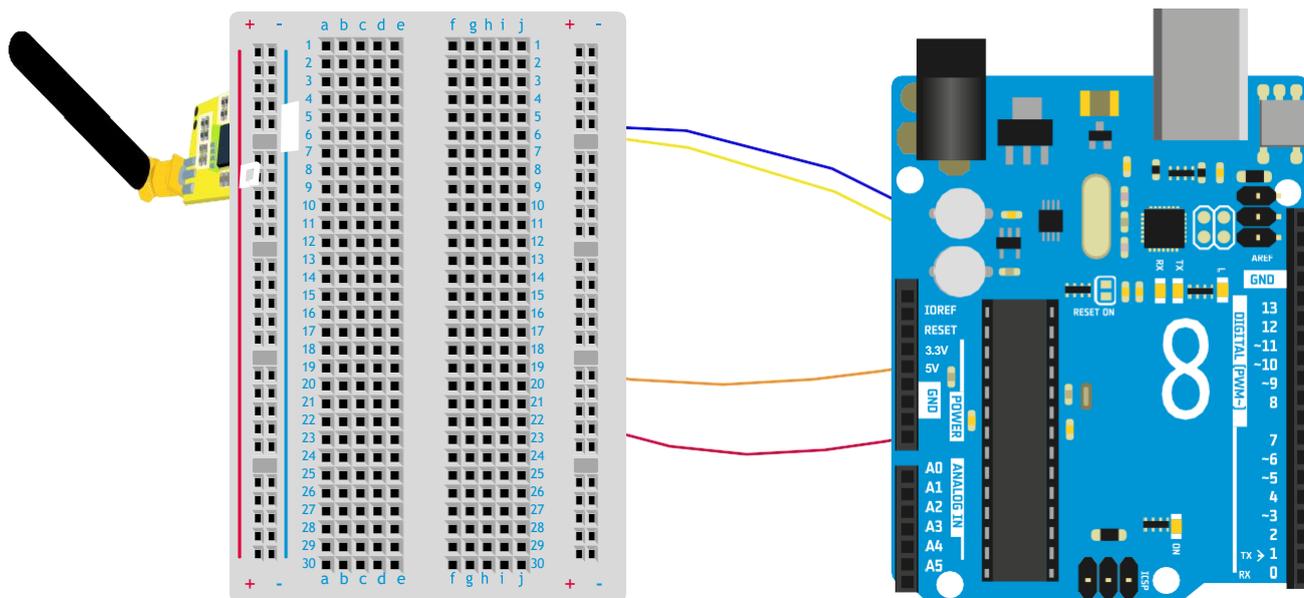
Nota: há muitos softwares diferentes que podes utilizar para ler a serial port, está à vontade para utilizares aquele com a qual te sentes confortável!

Primeiro, liga a tua placa do Arduino e envia-lhe o código em baixo.

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);          //Set serial baud rate to 9600
}

void loop()
{
  Serial.println("Hello!");    //print out hello string
  delay(1000);                //1 second delay
}
```

Agora, desliga o Arduino do computador e monta o circuito como se mostra na figura em baixo.



Assim que o circuito estiver montado podes ligá-lo a uma fonte externa de energia (não podes ligá-lo ao computador portátil que vais utilizar para receber informação pois causaria interferência).

Para terminar, liga o outro APC220 ao teu computador através do conversor USB-TTL e abre a Serial Port Utility.

Parabéns! Deves ver a mensagem 'Hello!'. Se não vires a mensagem, verifica se estás a ler a port COM correta e que o IDE do Arduino está fechado.

Podes aprofundar isto incorporando medições no teu código, e acrescentando notações de tempo(data/hora) para que os dados originais possam ser verificados.

Exercício

Vamos testar as capacidades dos nossos transmissores e recetores! Logo que estejas confiante podes transmitir informação utilizando o guia que se encontra acima, pede ao colega que tem o recetor para se afastar do transmissor.

1. Até que distância se pode deslocar o teu colega antes de deixares de receber um sinal?__
2. O que é que podes modificar de modo a melhorares a situação?
Pensa em tudo o que, até agora, discutimos neste recurso!

3. Constrói uma antena a Yagi e repete os testes. Se tiveres acesso a eles, utiliza os três módulos de rádio introduzidos na atividade 2. Qual é a principal diferença entre a antena Yagi e a antena de quarto de onda?

→ Links

Um exemplo para construir facilmente uma antena Wi-Fi
[instructables.com/id/Easy-to-Build-WIFI-24GHz-Yagi-Antenna/](https://www.instructables.com/id/Easy-to-Build-WIFI-24GHz-Yagi-Antenna/)

Informação sobre o módulo de rádio APC220
[dfrobot.com/wiki/index.php/APC220_Radio_Data_Module\(SKU:TEL0005\)](https://dfrobot.com/wiki/index.php/APC220_Radio_Data_Module(SKU:TEL0005))

Um exemplo de onde podes comprar um módulo de rádio 433MHz
LoRa [amazon.co.uk/Adafruit-Feather-RFM96-LoRa-Radio/dp/B071V71ZSD/](https://www.amazon.co.uk/Adafruit-Feather-RFM96-LoRa-Radio/dp/B071V71ZSD/)