

Abertura Sintética de Radar

Luís Freitas
up201605641@fe.up.pt

Pedro Teixeira
up201606587@fe.up.pt

Sérgio Gonçalves
up201603271@fe.up.pt

Abstract—Este relatório teve como objetivo estudar as fontes de ruído a que um sinal de difusão de televisão digital por satélite está sujeito, como o caso da precipitação e da temperatura. Assim é feita uma caracterização das diversas fontes de ruído que contribuem para este tipo de sistema. Foram ainda estudados o efeito de inclinação da órbita do satélite, e o efeito de fontes de ruído externas, nomeadamente a lua.

I. INTRODUÇÃO

No âmbito da cadeira de Projectos de Sistemas de Telecomunicações foi-nos pedido pelo docente que analisássemos vários parâmetros relativos a um sistema de comunicação de um satélite denominado eutel7A. Para tal efectuámos medições do sinal e ruído durante cerca de 2 meses e procuramos analisar como estes sinais variavam com a chuva e a temperatura. Fizemos também uma análise do trânsito da lua.

II. DADOS

Foram-nos fornecidos alguns dados relativos ao LNB (Low-noise block downconverter) e ao filtro IF (intermediate frequency) do spectrum Analyzer. O LNB tinha uma figura de ruído de 0.6 dB, um prato com diâmetro de 1.80 m e uma eficiência de 60 %. O filtro IF utilizado para as medições tinha uma resolution bandwidth de 100 kHz, uma video bandwidth de 100 kHz e as frequências centrais convertidas eram de 1.395 GHz para o ruído e 1.471 GHz para o sinal.

Analisando a datasheet de um LNB universal (ref) chegamos à conclusão que se o Input no LNB estivesse-mos no range 10.7-12.75 GHz (Banda Ku), o LNB converteria esta banda de frequências para uma banda de 950-2150 MHz. Este LNB tem o oscilador presente no LNB com uma frequência de 9.75 GHz (existe um modo alternativo para funcionamento em 10.6 GHz através da ativação de um tone de 22 kHz), somamos esta frequência às frequências convertidas para chegar às frequências reais de operação do LNB. Os valores obtidos foram de 11.221 GHz para o sinal e 11.145 GHz para o ruído. O aparelho apresenta também 2 supply voltages levels (13 e 18 V) que permitem alternar entre polarização linear vertical e horizontal. No nosso caso utilizamos uma temosa uma polarização vertical com 13 V.

III. MEDIÇÕES

Os dados relativos a medições podem ser observados na tabela abaixo. O valor nominal foi recalculado após cada medição para verificar se foi tudo bem ligado e encontrar o novo valor padrão.

Importante referir que a medição da banda de sinal e de

| Medição | Ruído (dBm) | Sinal (dBm) |
|----------------------|-------------|-------------|
| Nominal | -68.15 | -48.49 |
| Cabo 2 | -63.34 | -42.73 |
| Cabo 2+ Cabo baixada | -70.92 | -51.98 |
| Nominal* | -67.87 | -47.95 |
| Absorvente | -63.15 | -61.18 |
| Carga | -87.79 | -86.68 |
| Nominal* | -67.01 | -47.42 |

ruído quando se ligou uma carga de 50Ω serviu para despistar qualquer tipo de erro de medição do analisador de espectros. De facto viu-se que na banda de ruído obtivemos um sinal que em condições normais teria o mesmo valor que na banda de ruído, a sensibilidade do analisador, mas que na realidade tinha mais 1dB devendo-se a eventuais imperfeições do sistema de medição.

Para além disso já nós dá uma ideia da diferença dos valores nas bandas de interesse com o uso de absorvente, que caso fosse um absorvente ideal daria o mesmo valor para as duas bandas. A diferença de 2dB poderá advir quer dos erros de medição quer do facto de nem todo o sinal tiver sido absorvido.

IV. QUESTÕES DE ESTUDO

A. Medir atenuação do cabo de baixada

Na primeira alínea foi-nos pedido para medir a atenuação do cabo de baixada. Este valor é facilmente calculado pela diferença da potência de ruído deste cabo mais o 'cabo 2' menos a potência de ruído só com o cabo de baixada. Isto é:

$$\text{Atenuação} = 51,98 - 42,73 = 9,25 \text{ dB} \quad (1)$$

considerando que o ruído térmico introduzido pelo cabo é desprezável relativamente ao do sinal amplificado.

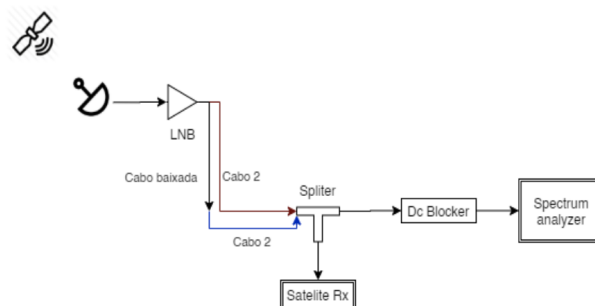


Fig. 1. Esquema de montagem do 'cabo 2'

B. Medir ganho do LNB

A potência do ruído pode ser calculada pela seguinte expressão

$$N_r = gkT_sBL_{cabo}L_{splitter} \quad (2)$$

Relacionando as potências de ruído na entrada e na saída temos que:

$$\begin{aligned} 1.15T_0 * Bz * BW * g_{LNB} * g_{cabo} * g_{splitter} &= P_{Noise} \\ 0.6dB - 103.9dBm + G_{LNB} - 9.25dB - 3dB &= -63.15dBm \\ \Leftrightarrow G_{LNB} &= 52.4dB \end{aligned} \quad (3)$$

com $T_0 = 295K$, $Bz = 1.38 \times 10^{-20} \text{ mWs/K}$, $BW = 10MHz$ resultando num ganho de LNB de 52.4 dB, valor dentro do previsto.

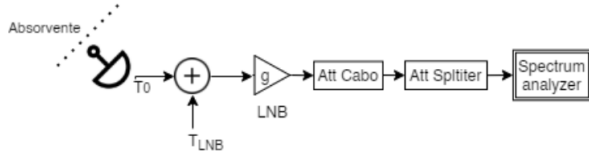


Fig. 2. Diagrama de blocos de ganhos e atenuações do sistema

V. BALANÇO DE POTÊNCIA

A. Dados e cálculos

Tendo acesso ao mapa de EIRP do satélite em estudo, é possível retirar o respetivo valor em Portugal, concluindo-se assim que EIRP=48dBW o que corresponde a 78dBm.

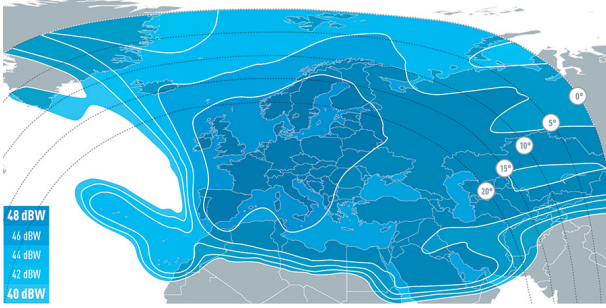


Fig. 3. Mapa do EIRP do satélite Eutel7A

Dados: Frequência 11,221 GHz, Comprimento de onda = 0,027m, Beamwidth 1°, Largura de banda de 10MHz, Distância 33787 km no apogeu, EIRP = 78dBm, Perdas do cabo de -9.3dB, Perdas do splitter de -3dB. Com esta informação é possível fazer o balanço de potência:

$$Tran_{loss} = 20 * \log_{10} * \frac{\lambda}{4 * \pi * distância * 1000} = -204dB \quad (4)$$

$$G_{RX_{ant}} = 10 * \log_{10} * \frac{\pi^2 * d_{prato}^2 * \eta}{\lambda^2} = 44,3dB \quad (5)$$

$$RSignal_{power} = EIRP + Tran_{loss} + G_{RX_{ant}} +$$

$$L_{cable} + L_{split} = -94dBm \quad (6)$$

$$N_{level} = 10 * \log_{10}(1,38 * 10^{-20} * BW * N_T * 10^7) = -118,6dBm \quad (7)$$

$$SNR_{raw} = RSignal_{power} - Noise_{level} - NF = 24.6dB \quad (8)$$

$$SNR_{actual} = Signal - Noise = 19,7dB \quad (9)$$

SNR actual em condições nominais, ver tabela 1

$$SNR = SNR_{raw} - SNR_{actual} = 4.9dB \quad (10)$$

$$SNR_{minimum} = 10dB \quad (11)$$

$$LinkMargin = SNR_{raw} - SNR_{minimum} = 16dB \quad (12)$$

B. Perdas por gases atmosféricos

Por observação do gráfico da figura 4, chegamos a uma atenuação específica de 0.015 dB/Km.

$$\alpha_{atm} = 4,91 * 0.015 = 0.07365dB \quad (13)$$

$$T_m = 1.12T_0 - 50(K) = 280.4K \quad (14)$$

É sabido que a temperatura do cosmos é de aproximadamente 3 Kelvin. Com α sendo a fracção de ganho direccionada à terra.

Considerando que a antena está a apontar claramente para o céu, T_a é aproximadamente T_{ceu} , isto é, α é perto de 0.

$$T_{ceu} = \alpha_{atm} * T_{cosm} + (1 - \alpha_{atm}) * T_m = 8.5K \quad (15)$$

Considerando uma temperatura da antena de 25 graus Celsius (298.15 K), teremos

$$T_a = \alpha * T_{fisica} + (1 - \alpha) * T_{ceu} = 0 * 298.15 + 1 * 8.5 = 8.5K \quad (16)$$

Sabendo que a eficiência ohmica η_r é de 0.9 e as perdas de acoplamento L_r são de cerca de 0.7 dB ($10^{0.07} = 1.18$), L é a atenuação devido aos gases atmosféricos e é dada por $1/(10^{0.007365}) = 0.98$.

$$\begin{aligned} T_{ant} &= \eta_r * L_r * T_a + (1 - \eta_r * L_r) * T_0 \\ &= 0.9 * \frac{1}{1.18} * 8.5 + (1 - 0.9 * \frac{1}{1.18}) * 295 = 76.48K \end{aligned} \quad (17)$$

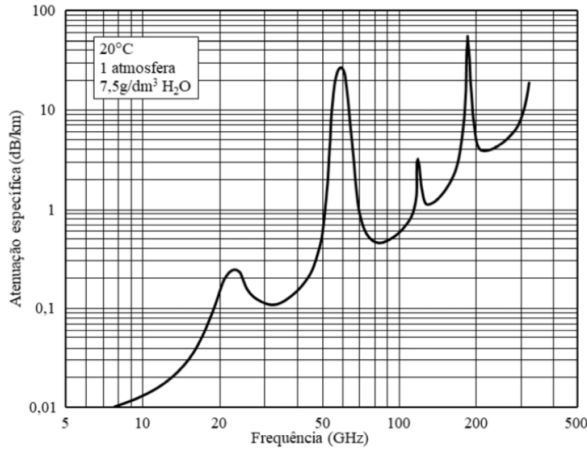


Fig. 4. Absorção pelos gases atmosféricos

C. Perdas na esponja absorvente

| Sinal (dB) | Ruído (dB) |
|------------|------------|
| -63.15 | -47.95 |
| -67.87 | -61.18 |
| 4.72 | 13.23 |

O Prato da antena foi coberto por uma esponja absorvente de forma à temperatura da abertura ser aproximadamente a temperatura ambiente e permitir assim os cálculo da temperatura da antena.

Na tabela acima é efectuada a diferença entre o sinal e o ruído.

A partir da diferença dos valores de potência do Ruído obtidos, calculou-se o ruído devido à componente da temperatura da antena. Utilizando a equação (2) e os valores da atenuação com a esponja absorvente, chegou-se a um valor da temperatura de ruído do sistema de

$$-67.87 = 52.4 + 0.6 - 198.6 + 10\log(T_s) + 10\log(10^7) - 3 - 9.3$$

$$\Leftrightarrow 10\log(T_s) = 20.03 \Leftrightarrow T_s = 100.7K \quad (18)$$

A partir desse valor e sabendo que a temperatura do sistema é dada pela soma entre a temperatura da antena e a temperatura de ruído captada pela mesma.

$$T_s = T_{ant} + (f - 1)T_0 \Leftrightarrow T_{ant} = 100.7 - 44.25 = 56.45K \quad (19)$$

Assim a temperatura da antena medida experimentalmente é de 56.45 K, valor mais pequeno que os 76.48K calculados teoricamente. Esta diferença verificou-se devido à utilização da esponja absorvente no segundo caso. Por isto, não houve atenuação devido a gases atmosféricos.

A partir da diferença dos valores da potência do Sinal, calculou-se o efeito do atenuador. Sendo este um atenuador de 1/20, seria de esperar uma diferença de cerca de 13 dB nos dois casos.

VI. INCLINAÇÃO DA ÓRBITA

A. Dados

Na tabela 3 podemos observar coordenadas relativas aos lugares relevantes do projecto.

| Local | Latitude(°) | Longitude(°) | Altitude(Km) |
|-------|-------------|--------------|--------------|
| FEUP | 41.178 | -8.595 | 0.15 |
| SAT | 0 | 7. | 35786 |

B. Determinação da elevação

Através das fórmulas dos slides da disciplina, chegamos aos valores dos parâmetros de visibilidade que definem a posição do satélite num certo instante, relativamente a uma dada estação terrestre. Para tal necessitamos de calcular os três parâmetros da figura 5. Consideremos a latitude da estação terrestre como θ_E , a longitude da mesma como ϕ_E e a longitude do ponto sub-satélite como ϕ_S .

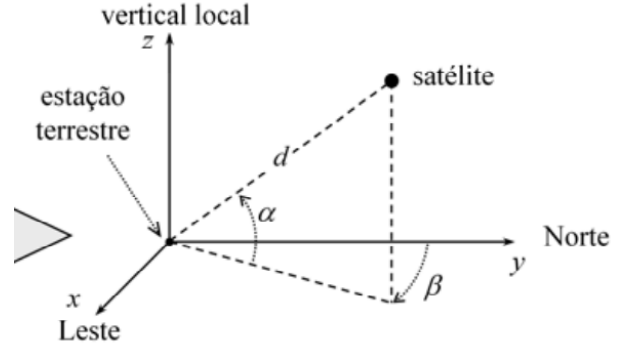


Fig. 5. Parâmetros de visibilidade do satélite.

O ângulo entre os raios da estação terrestre e do ponto sub-satélite é dado por γ . Para um satélite geostacionário, a aproximação utilizada para o quociente entre o raio da terra e do satélite foi de 0.15127. Assim para ser verificada a condição de visibilidade o ângulo γ tinha de ser inferior a 81.3° .

$$\gamma \leq \arccos\left(\frac{r_T}{r_S}\right) = 81.3^\circ \quad (20)$$

$$\gamma = \arccos(\cos(\theta) \cos(\phi_E - \phi_S)) = 43.53^\circ \quad (21)$$

$$\alpha = \arctg\left(\frac{\cos(\gamma) - \frac{r_T}{r_S}}{\sin(\gamma)}\right) = 39.79^\circ \quad (22)$$

$$\beta = \arccos\left(\frac{-\tg(\phi_E)}{\tg(\gamma)}\right) = 157.03^\circ \quad (23)$$

$$d = r_S \sqrt{1 + \left(\frac{r_T}{r_S}\right)^2 - 2\left(\frac{r_T}{r_S}\right)\cos(\gamma)} = 37799Km \quad (24)$$

C. Determinação da inclinação da órbita

Numa órbita inclinada de um satélite geoestacionário existe um movimento oscilatório vertical do azimute do satélite no horizonte, pois o satélite acompanha a terra no movimento de rotação, mas como a órbita é inclinada ele vai aparentar um movimento vertical do tipo sinusoidal, tal comportamento pode ser observado na figura 6

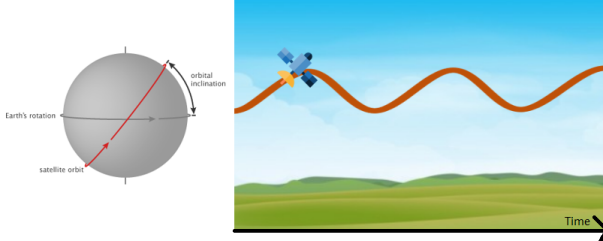


Fig. 6. Movimento aparente do Satélite

Para determinarmos essa oscilação podemos fazer uma transformada de Fourier da potência de sinal recebido.

Inicialmente foi feito uma filtragem tal como representado na figura 10, seguida de uma multiplicação por uma janela de tuckey com um factor de rolloff de 0.25 de modo a suavizar o sinal nas extremidade (figura 7), tornando-o periódico. Importante referir que a descontinuidade em meados de Outubro deve-se ao facto de não terem existido dados gravados durante um dia. Posto isto foi feito o FFT e chegou-se aos resultados da figura 8. O pico de frequência que chamou à

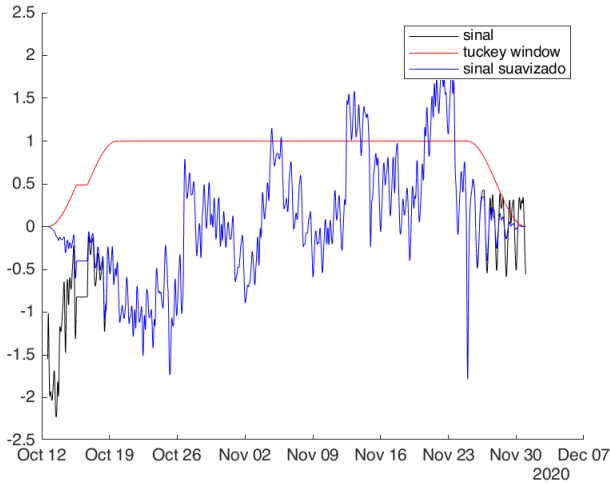


Fig. 7. Suavização do sinal

atenção foi o de 2.34×10^{-5} Hz, que corresponde a um período de 11.9526 horas. Embora não seja o período de rotação da terra de 23,93h é aproximadamente. Este fator de período ser metade deve-se ao factor de as perdas de pontaria da antena relativas ao movimento oscilatório do satélite serem independentes de se este está no ponto máximo ou mínimo de azimute. A potência recebida é máxima quando está alinhada e mínima nos extremos, de certa forma a sinusóide da posição

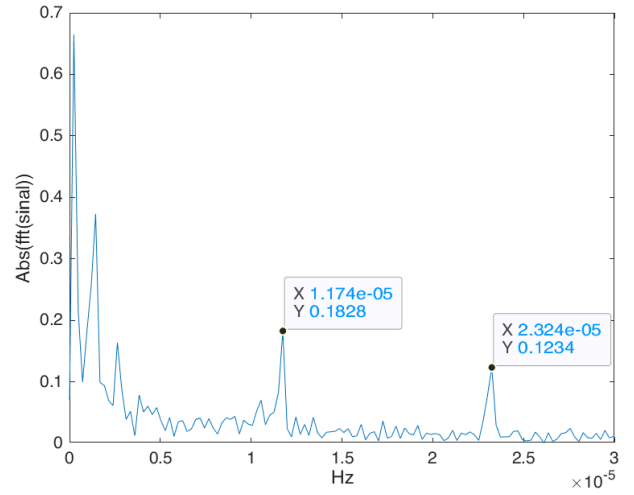


Fig. 8. FFT sinal de 12 Out a 30 de NoV

é rectificada duplicando a frequência. Falta agora quantificar a amplitude dessa variação para extrapolar a inclinação da órbita. Para tal foi feito uma análise espectral de potência e extraiu-se o a potencia do pico correspondente (figura 9) Chegou-se a um valor de 45.85 dB.

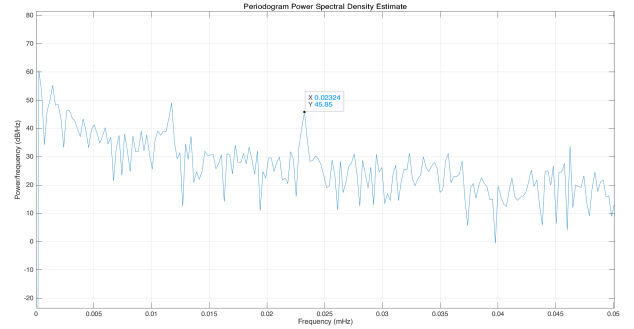


Fig. 9. Periodograma sinal de 12 Out a 30 de NoV

Com base no artigo [5] perdas dinâmicas de pontaria devido à inclinação da órbita podem ser aproximadas pela equação abaixo, em que ΔG é a variação de ganho, $HPBW$, é a largura de feixe da antena (1.3°) e $\Delta\theta$ é a inclinação da órbita.

$$\Delta G(dB) \approx -17.4 * \frac{\Delta\theta}{HPBW} \quad (25)$$

Com isto chegamos a um valor de inclinação de órbita de 3.43° valor na ordem de grandeza das referências que encontramos para o satélite, sendo que em [6] o valor apontado é de 0.7° .

VII. POTÊNCIA DO SINAL E DO RUÍDO

A. Tratamento de dados

Ao longo dos meses de Outubro e Novembro fomos guardando valores de temperatura e precipitação do site do IPMA. Depois exportamos esses mesmos dados para o Matlab. O analisador de espectros das instalações do Núcleo de Radioamadores está a fazer medições de 10 em 10s do sinal e ruído, alternadamente. É de notar que existe um offset do

clock do computador (+6min16s) relativamente a UTC, que foi devidamente compensado.

B. Remoção de outliers e filtragem

Analisando os gráficos das potências facilmente reparávamos em súbitos aumentos do nível do sinal, provavelmente devido a ajustamento dos contactos na estação. Pode-se ainda verificar um aumento do nível de ruído, possivelmente explicado por uma nova conexão a um aparelho que funcione à mesma frequência.

Por causa disto, foi necessária a remoção de alguns pontos outliers que não resultavam atenuação da precipitação ou temperatura. Para tal, o sinal teve de ser filtrado, inicialmente foram escolhidos limites superiores e inferiores para o sinal e ruído e atribuído o valor da amostra anterior caso ele saísse desses limites. A remoção destes outliers manualmente não foi muito bem sucedida e por isso decidimos atualizar o Matlab para uma versão mais recente, e utilizar a função `filloutliers` fornecida pelo Matlab, com o modo de preenchimento linear pois este foi o que revelou melhores resultados. Neste modo os outliers são removidos e substituídos por uma linearização entre os dois pontos mais próximos não outliers.

Seguidamente foi feita uma filtragem recorrendo a um duplo filtro, função `filtfilt` do matlab, que aplica um filtro fir na forma directa e inversa, evitando desvios de frequência. O filtro fir usado foi um filtro de kaiser com atenuação de 65 dB na banda de rejeição, ripple de 0.5 db, e com frequência de corte de ajustável consoante a necessidade no exemplo da figura 10 para uso do fft foi usado 1% de frequência de corte normalizada.

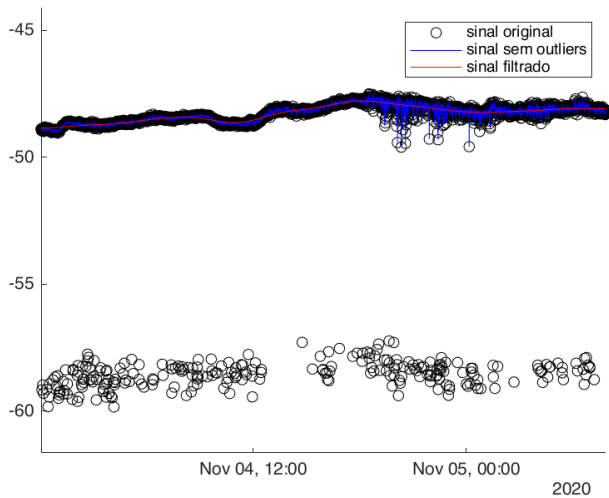


Fig. 10. Remoção de outliers e filtragem

VIII. CORRELAÇÃO DA POTÊNCIA DO SINAL E RUÍDO

A. Com a Precipitação

Foram recolhidos dados da precipitação entre os dias 24 e 25 de Novembro, nas duas estações mais próximas:

- Serra do Pilar (10 km)

- Massarelos (8 km)

Para analisar a variação da potência do sinal decidimos calcular a atenuação teórica devido a chuva a partir das fórmulas dos slides da disciplina.

$$\gamma_e = \alpha * R^{(\beta)} \quad (26)$$

Para a frequência de 11 GHz sabemos que o α é de 0.0139 e o β é de 1.170. O valor de R é a quantidade de precipitação em mm na respetiva hora. A partir da equação 20 chegamos ao valor da atenuação específica.

$$A_c = \gamma_e * d_{hor}, \quad (27)$$

A partir da equação 21 e com uma horizontal desde a estação até ao ponto de cruzamento com as nuvens de 4.37 Km, chegamos aos respectivos valores da atenuação em dB nos intervalos de tempo desejados.

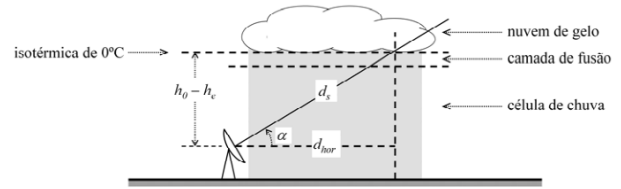


Fig. 11. Geometria da atenuação pela chuva

$$h_0 = 5 - 0.075(\theta - 23) = 3.64 Km \quad (28)$$

Tal como foi dito na secção 6B, a elevação α da estação é 39.79°, a latitude θ da mesma é 41.18° e a altitude é 150 m. A partir destes valores e da equação 22 chegamos a $h-h_0$, altura das nuvens relativamente à estação. Valor este que nos permite calcular a distância da estação às nuvens.

Importamos os dados para o Matlab e procedemos a análise dos mesmos. Foi realizado mais uma vez uma remoção de outliers seguida de uma filtragem acentuada e aplicação uma janela de tukey com roll-off de 0.25 necessário para posteriores correlações.

Posto isto foram obtidos os resultados da figura 12, sendo ainda desenhado a chuva naqueles dias em mm/h e a linha a magenta a atenuação esperada usando a equação 26 e 27 com base na precipitação registada que como podemos ver ficou um pouco aquém da atenuação sofrida pelo sinal.

De seguida foram realizadas as correlações do sinal e ruído com a chuva. O sinal obtido na figura 13 demonstra como varia o sinal e o ruído de acordo com a precipitação. Importante referir que se escolheu um dia em que os níveis de precipitação fossem suficientemente altos para se verificarem variações notáveis.

Como podemos observar no intervalo de tempo onde ocorre a maior quantidade de precipitação, há uma variação positiva do ruído e uma variação negativa do sinal relativamente aos níveis de atenuação por precipitação. Isto acontece porque o sinal é atenuado na mesma proporção que esta atenuação. Assim, obtivemos os valores das atenuações devido à chuva

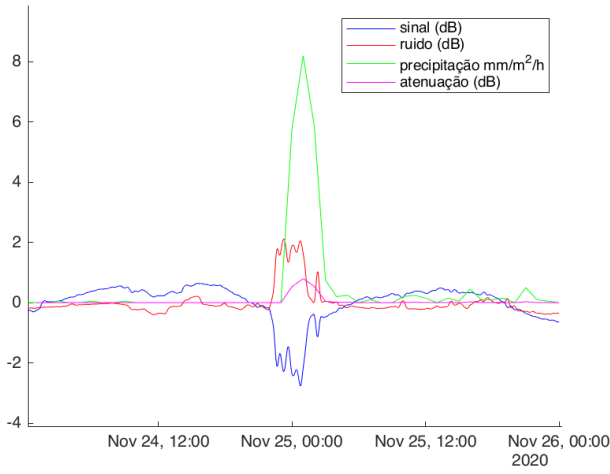


Fig. 12. Valores de sinal e ruído em função da chuva

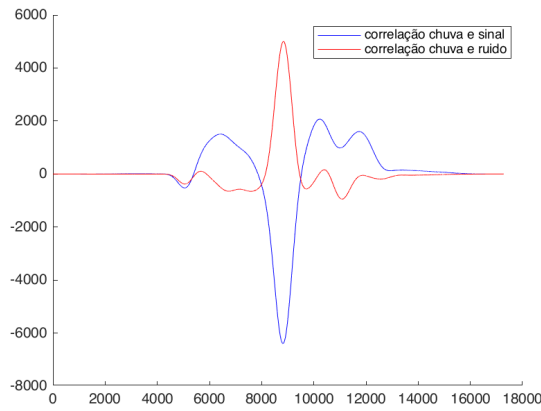


Fig. 13. Correlação entre a atenuação pela chuva e o Sinal (azul) e o Ruído (vermelho)

graficamente, escolhendo intervalos pequenos de forma a que o efeito da variação da temperatura não fosse muito intenso. Resolvendo as equações da atenuação em ordem a R , o valor da precipitação média, teremos a equação 29.

Usando então o valor de sinal chegou-se à atenuação, multiplicando o sinal por -1 e convertendo para zero os valores negativos resultantes para efeito de utilização dos dados na raiz. Tendo a quantidade de chuva de um modo discreto, 20 em 20 segundos, integrou-se essa quantidade ao longo de uma hora.

$$R = \sqrt[3]{(atenuação_{experimental} / (\alpha * ds))} \quad (29)$$

Ao relacionar a precipitação experimental com a prevista, linha azul com linha verde, pudemos verificar que eles diferem entre si de um factor de correcção. Isto provavelmente deve-se à aproximação que utilizamos para chegar à altura das nuvens não ser a mais acertada. Assim tentamos obter a distância às nuvens real ds' e com esse valor calcular a

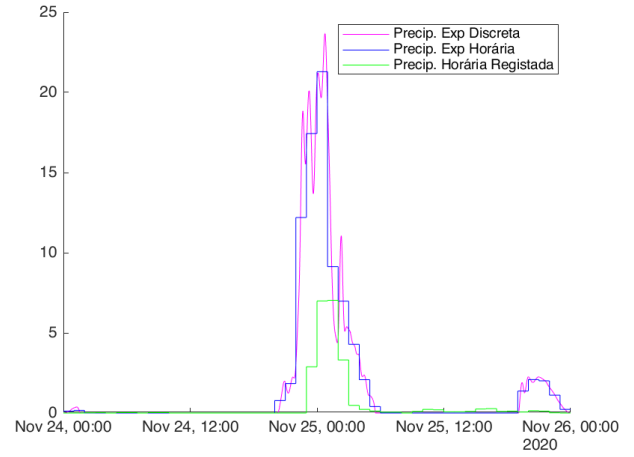


Fig. 14. Valores Chuva teórica e experimental

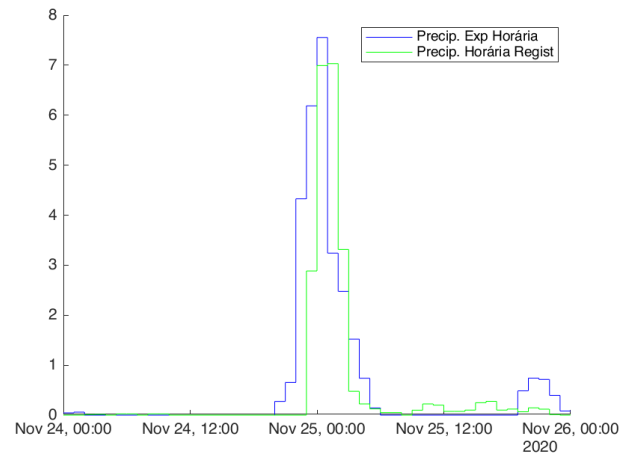


Fig. 15. Valores Chuva teórica e experimental, com factor de correcção

altura às nuvens no intervalo de tempo utilizado. O valor mais próximo que encontramos para ds' foi 15 Km.

$$h'_{nuvens} = ds' * \sin(\alpha) \quad (30)$$

Com este valor chegamos a uma altura das nuvens de 9.64 Km. Consideramos este um valor razoável de acordo com [7], tal como podemos observar em 16.

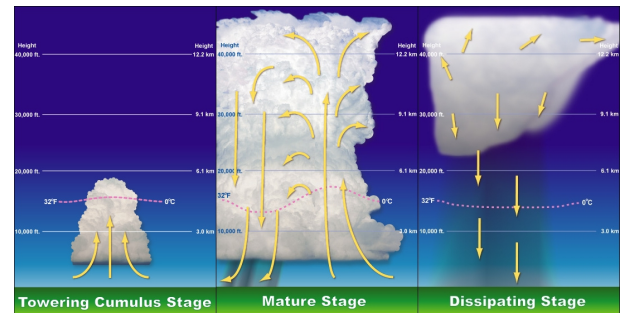


Fig. 16. Altura de formação da chuva

A chuva causa também ruído térmico resultante da sua radiação. A variação do ruído resulta assim da variação desta temperatura do céu, que pode ser determinada pela equação 32, com $Lc = \frac{1}{Atenuacao}$.

$$T'_{céu} = Lc * T_{céu} + (1 - Lc) * Tm \quad (31)$$

Substituindo nas equações (16) e (17) chegaremos a um valor da temperatura da antena, que substituída na equação (19) dará a temperatura de sistema. Este valor quando substituído no balanço de potência do sistema, por fim, dará a potência de ruído correspondente prevista para o sistema. Este procedimento permite-nos confirmar resultados.

B. Com a Temperatura

De forma idêntica à precipitação, é agora realizado um estudo sobre o impacto da temperatura à potência do sinal e ruído. Procurou-se obter a correlação da temperatura com o ruído nos dias em que a variação é notória, e portanto em dias sem chuva. Como o ruído aumenta proporcionalmente com a temperatura, idealmente teríamos picos de ruído nas zonas onde as temperaturas eram mais altas e mais baixas. Fez-se inicialmente um procura de um dia onde o efeito de chuva fosse negligenciável e encontrou-se as variações de ruído e temperatura naquele dia, expressas em dB, e °C respectivamente na figura 17.

A partir destes dados fez-se uma correlação obtendo os resultados expressos na figura 18. Como se pode ver existe claramente uma correlação negativa tal como seria de esperar. A partir de desta indicação houve uma tentativa de correcção da influência da temperatura, subtraindo ao ruído a temperatura com um factor que idealmente seria $1/(\text{valor mínimo da correlação})$, caso esta fosse um pico perfeito, mas que acabou por ser escolhido de um modo experimental de cerca de $1/32$, em que podemos ver (figura 19) que alguns pontos o sinal de ruído foi suavizado. No entanto não consideramos que estes resultados fossem suficientemente satisfatórios, e repetimos a experiência para um período de tempo maior, 5 dias, não tendo também sucesso.

IX. EFEITO DO TRÂNSITO DA LUA

De forma a estimar o efeito do trânsito da Lua procuramos encontrar o dia e hora em que, estando o Satélite a apontar para o Porto, a Lua estava atrás do satélite. Isto implicava que os azimutes e as elevações destes dois correspondessem. Com o auxílio do Orbitron, verificamos que o dia dentro do intervalo de medições em que isto esteve mais perto de acontecer foi no dia 24/11/2020, pelas 19:26:04. Como podemos observar na figura 21, neste ponto temos o mesmo azimuth no satélite e na lua e a elevação difere 2° entre os 2.

Como esta diferença ainda era significativa relativamente à beamwidth da antena, decidimos procurar um dia fora do intervalo. O dia encontrado foi o dia 30/9/2020 pelas 22:46:04. Aqui a diferença entre elevações já é de apenas 0.3°. Infelizmente as medições começaram apenas dia 12/10. Caso fosse encontrado uma data em que a lua estivesse no máximo 1.3° do satélite, isto é dentro da *HPBW* da antena,

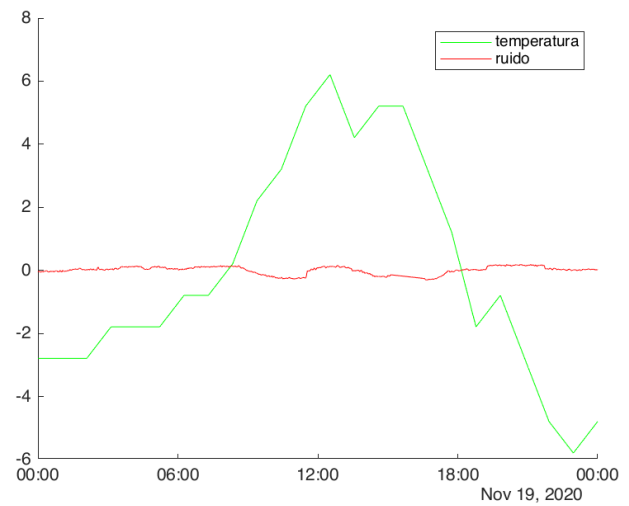


Fig. 17. Variações de Temperatura e Ruído relativas ao valor médio

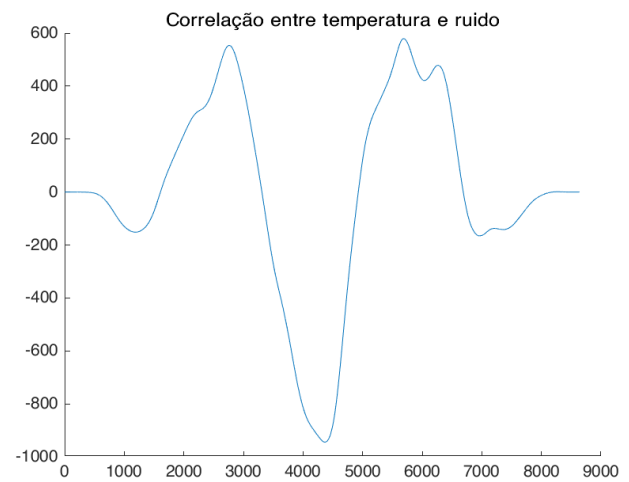


Fig. 18. Correlação das Variações de Temperatura e Ruído relativas ao valor médio

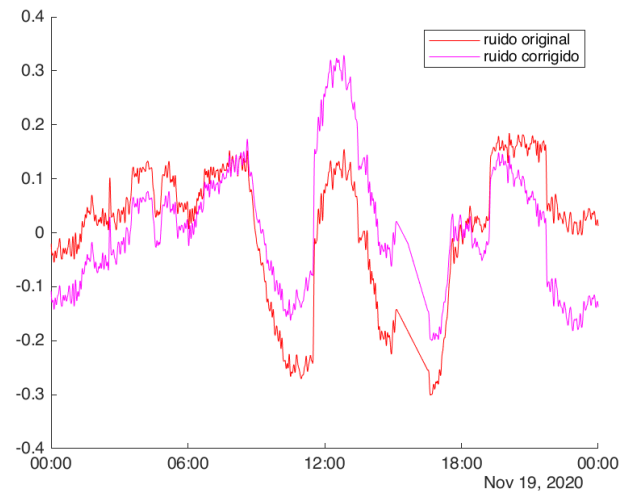


Fig. 19. Sinal de ruído corrigido relativo ao efeito da temperatura

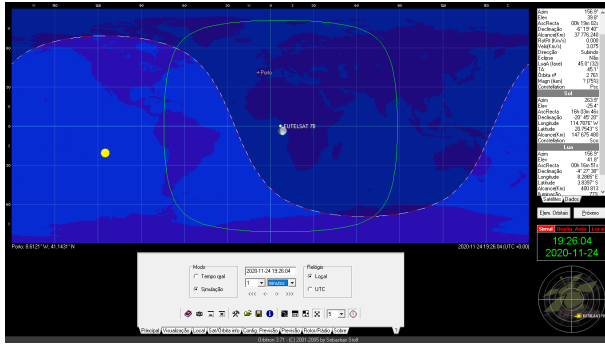


Fig. 20. Posições da lua e satélite 24/11

sendo detectável por esta teríamos de contabilizar a lua para a temperatura de ruído com a equação abaixo, em que α é a percentagem de área visível pela antena que a lua ocupa, e T_{lua} seria entre $200K$ e $240K$ dependendo da fase da lua em que esta se encontrasse.

$$T'_{ceu} = (1 - \alpha) * T_{ceu} + (\alpha) * T_{lua} \quad (32)$$

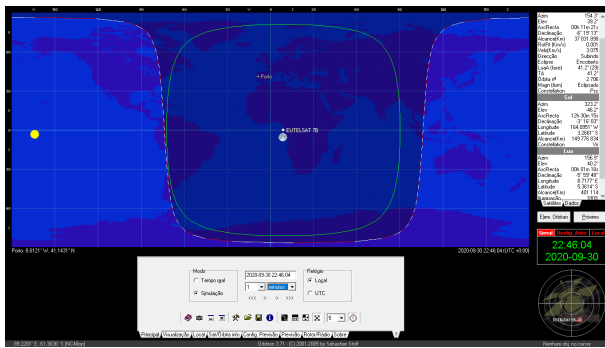


Fig. 21. Posições da lua e satélite 30/9

X. DETERMINAÇÃO DO CANAL DE TRANSMISSÃO

Um dado que foi dado pelo docente ao longo desta experiência foi que o canal que estávamos a receber era o canal televisivo IRANEFARD, enviado em formato DVB-S com largura de canal de 26.4 MHz [9] e com EIRP de 48 dBW para a cidade do Porto. Com isto é posto o desafio de provar que este é o canal que estamos a receber. Considerando perdas adicionais, como por exemplo 0.5 dB por possíveis perdas de polarização que advêm da despolarização da onda na ionosfera, 3 dB por eventuais erros de pontaria da antena e 1 dB de perdas em conectores e desadaptações, reduz esta diferença em 4.5 dB.

$$R_{Signal_{power}} - L_{atmosférica} - L_{acoplamento} + Ganho_{LNB} = -94 + 52.4 - 0.07 - 0.7 - 4.5 = -46.8 dBm \quad (33)$$

Esta potência de sinal seria no entanto para uma largura de banda de 26.4 MHz, assim para uma banda de 10 MHz temos

$$-47.42 - 10 \log_{10}(26.4/10) = -51.64 dBm \quad (34)$$

Isto dá-nos que nos dá uma diferença de 4.84 dBm relativamente ao esperado, isto poderá advir de dimensionamento de perdas conservativo, e até mesmo da depreciação de performance da antena que já tem bastantes anos.

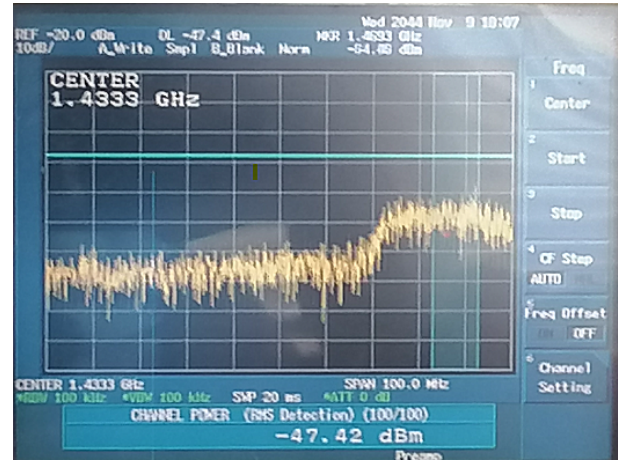


Fig. 22. Medição Potência de Sinal Banda de 10MHz

XI. CONCLUSÕES

O efeito de temperatura talvez não tenha sido observado de forma significativa devido à baixa granularidade de dados.

O valor de inclinação da órbita é bastante positivo tendo em conta o período de tempo reduzido de dados disponíveis, que no garantiu uma resolução de FFT relativamente pequena.

Os valores de chuva registados das estações comparativamente com os das experiências estão concordantes embora haja alguns desvios temporais que se podem dever à distância física entre as estações e a FEUP. Portanto, quedas de água registadas numa estação podem só ser sentidas em outras algum tempo depois. Esse deslizamento poderá ser corrigido com dados de chuva mais perto da FEUP, preferencialmente de maior granularidade, sendo que tudo foi feito de forma a estes estarem o mais síncronos possível, inclusive corrigir o drift do relógio de amostras.

O valor obtido para a inclinação da órbita é ainda distante do esperado o que revela algum tipo de erro no procedimento para a sua obtenção.

REFERENCES

- [1] www.eutelsat.com
- [2] www.ipma.pt/pt/otempo/obs.superficie/
- [3] Microwave Engineering, 4th Edition, David M. Pozar
- [4] www.n2yo.com/satellite/?s=28187
- [5] Effects of non-zero orbit inclination on geo secondary payload highly directive antenna performance, E. Colzi, P. Angeletti, S. D'Addio
- [6] Slides da unidade curricular Projeto de Sistemas de Telecomunicações
- [7] <https://www.n2yo.com/satellite/?s=28187>
- [8] <https://en.wikipedia.org/wiki/Cloud-height>
- [9] <https://www.satsig.net/spectrum-dvb-satellite.htm?fbclid=IwAR0jppS7mmHKtpIr09UiY40>