

Comunicações Móveis

Projeto Final

Universidade de Aveiro

Manuel Borges, David Bicho,
Lara Rodrigues



universidade
de aveiro

Comunicações Móveis

Projeto Final

DETI

Universidade de Aveiro

Manuel Borges, David Bicho,
Lara Rodrigues
(93331) mbfale@ua.pt, (93215) david23@ua.pt,
(93427) laravieirarodrigues@ua.pt

Janeiro 2023

Conteúdo

1	Introdução	4
2	Metodologia	5
2.1	Primeira abordagem	5
2.2	Segunda abordagem	7
3	Testes	9
3.1	Material utilizado	9
3.2	Testes desenvolvidos	9
3.2.1	Teste inicial	10
3.2.2	Segundo teste	10
3.2.3	Terceiro teste	10
3.2.4	Quarto teste	10
4	Análise de Resultados	11
4.1	Teste inicial	11
4.2	Segundo teste	12
4.3	Terceiro teste	13
4.4	Quarto teste	14
5	Contribuição dos autores	16
6	Anexo	17

Lista de Figuras

2.1	Trecho de código usado na antena que envia um ping	6
2.2	Trecho de código usado na antena que responde com um pong	6
4.1	Gráficos do teste inicial	12
4.2	Gráficos do segundo teste	13
4.3	Gráficos do terceiro teste	14
4.4	Gráficos do quarto teste	15
6.1	Valores referência do teste inicial	17
6.2	Valores com campo de visão do teste inicial	17
6.3	Valores sem campo de visão do teste inicial	18
6.4	Valores do segundo teste com distância = 1 metro	18
6.5	Valores de segundo teste com distância = 4 metros	18
6.6	Valores do quarto teste	18
6.7	Trecho de código usado na antena que envia um ping	19
6.8	Trecho de código usado na antena que envia um ping	19
6.9	Trecho de código usado na antena que envia um ping	19

Listings

2.1	Modos configurados	7
2.2	Código relevante no node A	7
2.3	Código relevante no node B	8

Capítulo 1

Introdução

LoRa é uma tecnologia sem fios de longo alcance e baixo consumo de energia, ideal para ser usada em aplicações da Internet of Things (IoT). Tivemos a oportunidade de testar LoRa em diferentes cenários, fazendo variar diferentes distâncias, largura de banda, spread factor, potências de transmissão e condições de teste entre as antenas. Através destas experiências, adquirimos valiosos insights sobre as capacidades e limitações das comunicações LoRa e aprendemos como otimizar o seu desempenho em diferentes ambientes. Este relatório tem como objetivo explicar o trabalho desenvolvido no projeto da cadeira de Comunicações Móveis.

O ponto central deste projeto é estudar possíveis variantes de ligação LoRa Raw em ambientes de troca de informação.

Ao longo do relatório faremos uma explicação da metodologia utilizada no desenvolvimento do projeto, em seguida apresentaremos o material utilizado nos testes e a forma como estes foram desenvolvidos e, por fim, faremos uma análise dos resultados obtidos tirando as devidas conclusões; Está também presente no final do documento um anexo incluindo as tabelas reduzidas elaboradas durante a realização do projeto; As tabelas originais são bastante longas, no entanto a spreadsheet pode ser examinada em <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1kgXEpOfmKn9iJkzWUirFuFdAofZprSVnYDh3UIX0C4U/edit?usp=sharing>. O código desenvolvido está presente em <https://github.com/bernardofalle/CM>.

Capítulo 2

Metodologia

Tal como era sugerido no guião do projeto, a metodologia que seguimos foi começar pela programação da interface LoRa das placas e verificar se estas se encontravam funcionais.

Após esta primeira interação com o ambiente, partimos então para a criação de programas que nos permitissem fazer a recolha de dados através da comunicação entre as placas.

2.1 Primeira abordagem

Começamos por elaborar o projeto estudando e acompanhando alguns tutoriais encontrados, especialmente na documentação oficial do Pycom . Inicialmente implementamos um programa que não recolhia nenhum dado estatístico acerca da comunicação. Este primeiro programa, depois de flashado nas placas, apenas enviava uma mensagem '*ping*' enquanto que a outra que respondia a esta mensagem com um '*pong*' e, por isso, não foram realizados testes ou qualquer análise estatística nesta primeira abordagem.

Estão apresentados em seguida os trechos de código usados em ambos os transceivers.

```

from network import LoRa
import socket
import time

lora = LoRa(mode=LoRa.LORA, region=LoRa.EU868)
s = socket.socket(socket.AF_LORA, socket.SOCK_RAW)
s.setblocking(False)
i = 0
while True:
    s.send('Ping')
    print('Ping {}'.format(i))
    i = i+1
    time.sleep(5)

```

Figura 2.1: Trecho de código usado na antena que envia um ping

```

from network import LoRa
import socket
import time

lora = LoRa(mode=LoRa.LORA, region=LoRa.EU868)
s = socket.socket(socket.AF_LORA, socket.SOCK_RAW)
s.setblocking(False)
i = 0
while True:
    if s.recv(64) == b'Ping':
        s.send('Pong' + str(i))
        print('Pong {}'.format(i))
        i = i+1
    time.sleep(5)

```

Figura 2.2: Trecho de código usado na antena que responde com um pong

2.2 Segunda abordagem

Nesta segunda abordagem, decidimos então criar um programa mais complexo que nos permitisse relacionar algumas métricas que consideramos importantes na estabelecimento da comunicação. O que fizemos neste programa foi usar, novamente, ambas os nodes como transceivers, mas desta vez para além das mensagens trocadas, eram também exibidas no terminal métricas como: *signal strength*, *frequency*, *spread factor*, *time on air*, e o *SNR* (*signal-to-noise ratio*). Na code Listing 2.2 e 2.3 podemos ver o código desenvolvido para esta segunda abordagem. Para além disto decidimos definir algumas configurações para realizar os testes que queríamos desenvolver, baseados nas métricas escritas anteriormente. Inicialmente queríamos mudar estes modos dinamicamente em runtime, no entanto, problemas com o *reset button* impediram-nos de continuar com essa abordagem. Apresentamos em na code Listing 2.1 os diferente modos. Para além disto usámos também a função `lora.tx_power()` para mudar a força de transmissão num dos testes desenvolvidos.

Listing 2.1: Modos configurados

```
i = 0
if i == 0:
    lora.bandwidth(LoRa.BW_125KHZ)
    lora.sf(12)
elif i == 1:
    lora.bandwidth(LoRa.BW_500KHZ)
    lora.sf(12)
elif i == 2:
    lora.bandwidth(LoRa.BW_125KHZ)
    lora.sf(10)
elif i == 3:
    lora.bandwidth(LoRa.BW_125KHZ)
    lora.sf(8)
elif i == 4:
    lora.bandwidth(LoRa.BW_500KHZ)
    lora.sf(11)
elif i == 5:
    lora.bandwidth(LoRa.BW_250KHZ)
    lora.sf(9)
elif i == 6:
    lora.bandwidth(LoRa.BW_125KHZ)
    lora.sf(7)
```

Listing 2.2: Código relevante no node A

```
while True:
    t = ticks_us()
    # make the socket blocking
    s.setblocking(True)
```

```

s.send('PING')
s.setblocking(False)
# print time
delta = ticks_diff(ticks_us(), t)
print("Sent_TX_Time=", delta/1000)
# get any data received (if any...)
data = s.recv(64)
#if data == b'ACK':
    #break
print("Received:", data)
# print stats of last packet
print("Stats:", lora.stats())
print("\n")
# wait
sleep(5)

```

Listing 2.3: Código relevante no node B

```

while True:
    if s.recv(64) == b'PING':
        s.send('ACK')
        print('ACK')
    time.sleep(5)

```

Capítulo 3

Testes

3.1 Material utilizado

Para realizar os testes utilizámos o material fornecido pelos docentes. Dois Lopy's com duas expansion boards. De notar que tivemos algumas dificuldades com o software das placas, incluindo o upload dos ficheiros do projeto e a sua execução. A nossa foi solução passou por atualizar o firmware e contornar estes problemas com a extensão do Atom, que permitia apenas correr a aplicação, sem escrever qualquer tipo de ficheiro na placa.

3.2 Testes desenvolvidos

Os testes foram desenvolvidos em diferentes condições não só para tentar correlacionar resultados com alguma teoria do tópico previamente obtida, mas também se haveriam outros fatores que fizessem variar os parâmetros medidos. As condições de realização dos testes foram:

- Com campo de visão
- sem campo de visão
- Usufruto de condutores elétricos (Betão, painéis, microondas)
- Variação de configurações
 1. Spread Factor
 2. Bandwidth
 3. Transmission power
- Diferentes distâncias
- Antenas em movimento

Para conseguirmos retirar os melhores resultados repetimos cada experiência 5 vezes, e anotamos o desvio padrão e a média das métricas relevantes. É obrigatório constatar que estes testes não foram executados utilizando as melhores práticas, ou seja, os nodes não estavam situados em high ground, e não estavam em áreas com poucos dispositivos eletrônicos.

3.2.1 Teste inicial

O primeiro teste foi desenvolvido para obtermos valores de referência que pudéssemos usar e relacionar com outros testes diferentes; É o teste base e consiste em recolher as estatísticas dos pacotes recebidos quando os nodes estão parados e na mesma localização durante a realização das experiências.

3.2.2 Segundo teste

O segundo teste foi, inicialmente, desenvolvido para testar diferentes efeitos de condutores elétricos nas comunicações, neste caso um micro-ondas e duas painelas, no entanto, não estávamos a ter os resultados desejados, e assim decidimos fazer variar o transmission power para um valor inferior (2 dbM), e conseguir testar a influência que esta configuração teria no rácio distância/signal strength.

3.2.3 Terceiro teste

Nesta experiência foram feitas várias medições com a distância variável entre as placas, e simultaneamente em movimento. Temos que apontar que a impossibilidade de cobrir grandes distâncias impediu ao grupo de executar alguns testes que envolveriam medir sinais em distâncias maiores e em movimento, como por exemplo, utilizar um carro para contornar uma área.

3.2.4 Quarto teste

Neste último teste decidimos usufruir das condições negativas que o betão nos oferecia; Dado que a nossa tentativa (no segundo teste) em testar condutores não foi de sucesso, decidimos usar o maior que nos estava à disposição, o betão dos pisos do DETI. O objetivo seria corroborar estes valores com o facto de que um bom condutor elétrico interfere bastante com ondas de rádio.

Capítulo 4

Análise de Resultados

Antes de analisarmos os gráficos é importante referir o que são o signal strength e o SNR de uma forma mais aprofundada.

O signal strength é, tal como o nome indica, a potência de sinal e é medido em dBm (decibéis por miliwatt); Resumindo, um sinal maior indica uma conexão mais forte e mais fiável, enquanto um sinal mais baixo resulta numa comunicação com menos qualidade. esta métrica foi usada como um indicador da qualidade wireless entre os dois nodes. O signal-to-noise ratio (SNR) é uma medida que pretende comparar o sinal desejado com o sinal relativo ao background noise e é medido geralmente em dB; Neste contexto, o SNR é um fator importante que também determina a qualidade e fiabilidade da comunicação peer-to-peer. Um sinal maior indica o sinal mais forte e um nível de ruído pequeno, enquanto que um sinal mais baixo representa um nível mais alto de ruído, o que leva a menos qualidade e mais erros de comunicação.

4.1 Teste inicial

Conseguimos ver no primeiro gráfico da figura 4.1 a diferença entre a força de sinal de acordo com as distâncias e condições incluídas; neste caso, distância de “lado a lado” (± 1 metro), 150 metros com linha de visão, e ± 165 metros sem linha de visão (atrás do IEETA); Conseguimos concluir facilmente que o IEETA é um edifício volumoso o suficiente para impactar a força de sinal de uma forma bastante negativa; Também podemos verificar que a distância influencia bastante o sinal. No entanto, quanto ao SNR, podemos ver que não há muita diferença entre as 3 experiências, isto é, os nodes conseguiam distinguir de uma forma clara o sinal desejado do background noise; Isto pode dever-se ao facto de que as bandas de frequência usadas estariam bastante desocupadas (868Mhz). O facto do desvio padrão ser um pouco mais visível nos valores de “lado a lado” pode estar relacionado com a localização da recolha ter sido realizada numa zona com alguma interferência (terceiro piso do DETI), em que há presença de vários dispositivos eletrónicos, e assi impactando os resultados de forma a que

as estatísticas sejam inconsistentes.



Figura 4.1: Gráficos do teste inicial

4.2 Segundo teste

Em comparação com os valores de referência “lado a lado” (Reta de cor mais escura) é possível observar nas figura 4.2 que o signal strength apresentou valores bastantes mais baixos, isto é, quando o transmission power é menor, a range acaba por ser menor, e apesar de ser uma distância baixa, conseguimos corroborar a teoria; Podemos concluir que o sinal é afetado de uma maneira maior quando a transmission power é menor, no sentido em que a recepção de pacotes é muito mais difícil quando é utilizado menos energia para o receber. Também conseguimos verificar que o desvio padrão é um pouco maior, e demonstra a

inconsistência de recepção. Teoricamente esperávamos que o valor do SNR fosse bastante mais baixo, no entanto isso não se verificou e atingiu valores bastante semelhantes com os da referência. Conseguimos então retirar uma conclusão importante para a aquisição de conhecimento.

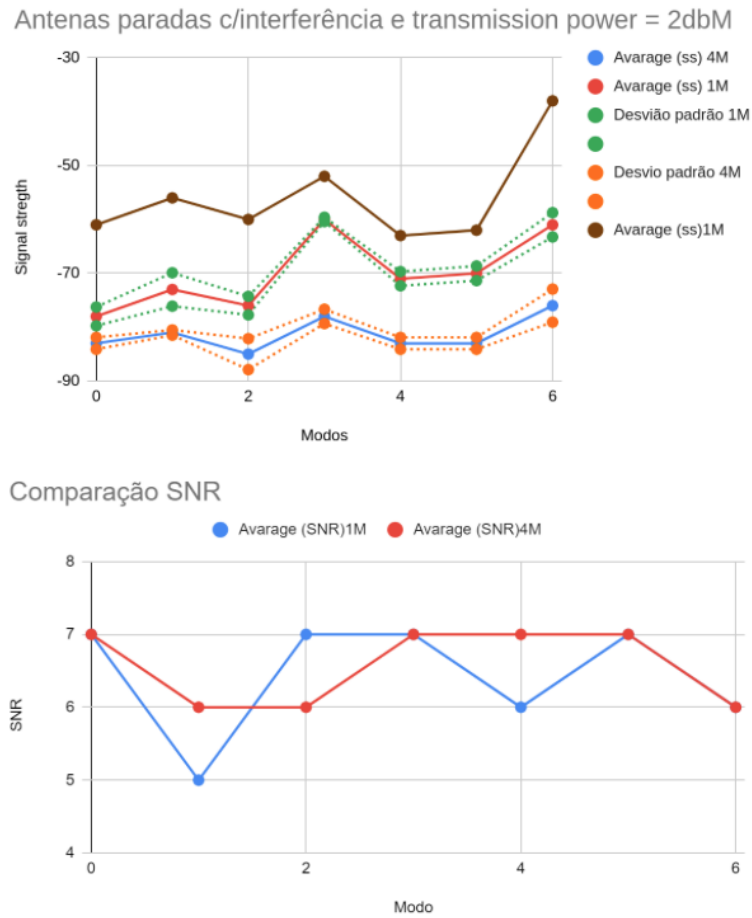


Figura 4.2: Gráficos do segundo teste

4.3 Terceiro teste

Analisando a figura 4.3 conseguimos ver alguns resultados bastantes conclusivos quanto às experiências efetuadas. Apesar do movimento não ser brusco nem rápido, confirmamos o esperado; O valor do signal strength, em comparação com as mesmas distâncias e antenas paradas, é menor, e também verificamos que o desvio padrão aumenta significativamente quanto aos testes anteriores,

isto deve-se ao facto de que as antenas estarem em movimento faz com que os valores medidos não sejam tão fiáveis. O movimento da antena pode causar mudanças nas frequências de rádio em que os sinais estão a ser propagados, e isto torna o sinal mais suscetível a outras origens de ruído. Apesar dos valores do SNR serem um pouco diferentes, achámos os resultados um pouco inconclusivos.

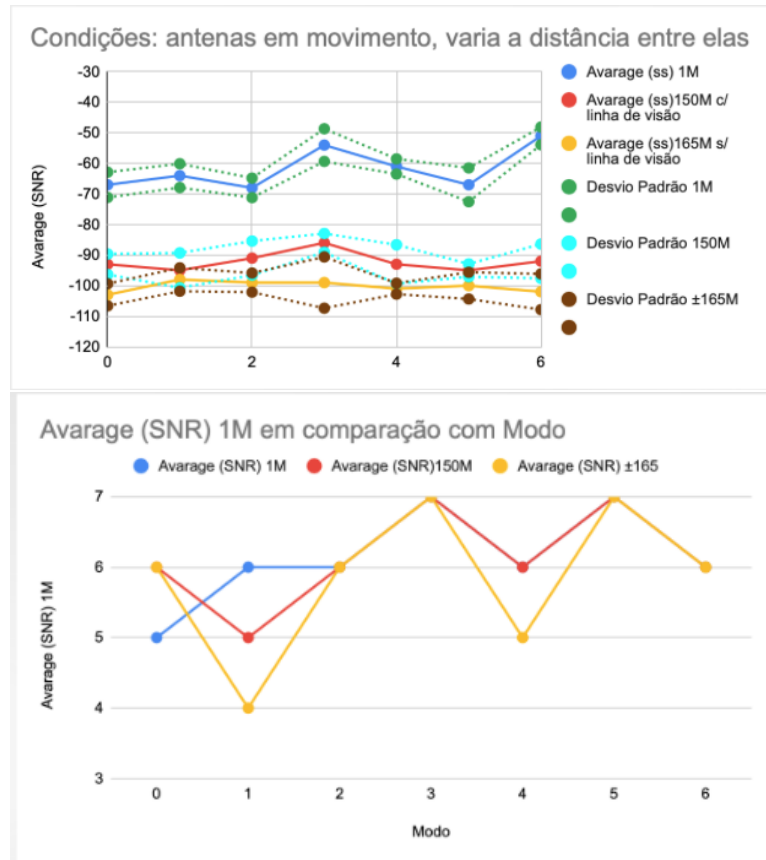


Figura 4.3: Gráficos do terceiro teste

4.4 Quarto teste

Examinando a figura abaixo chegamos à conclusão que os valores da força do sinal quando os nodes estão entre pisos são muito mais baixos que os de referência, embora a distância entre as antenas não tenha aumentado muito (± 12 metros); Isto entra mais ao menos no esperado. Isto pode ser explicado pelo facto de que a interferência entre pisos ser considerável, e pela razão de que estes são feitos de grandes quantidades de betão, que é um bom condutor

elétrico, e que interfere com o ambiente de rádio frequências. Mais uma vez, o SNR foi pouco conclusivo. Podemos equiparar estes resultados aos resultados do teste inicial, no sentido em que podemos dizer que o signal strength de uma distância muito superior é bastante similar ao signal strength de uma distância bastante inferior, e que comprova a dificuldade de comunicação entre peers no meio urbano.

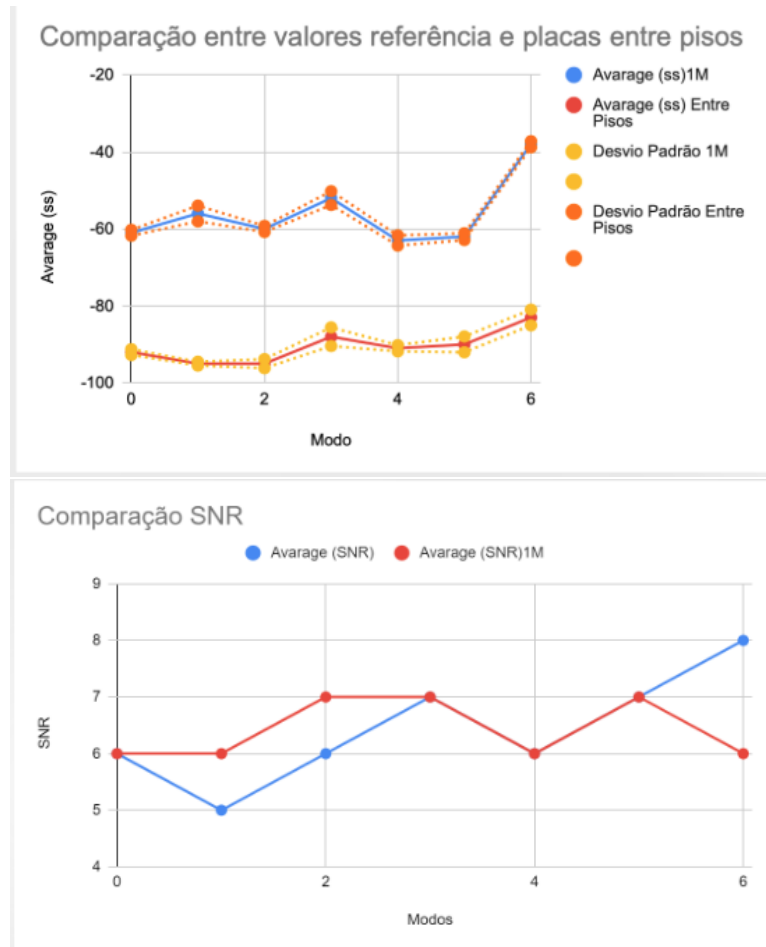


Figura 4.4: Gráficos do quarto teste

Capítulo 5

Contribuição dos autores

Manuel Borges - 33.3%
David Bicho - 33.3%
Lara Rodrigues - 33.3%

Capítulo 6

Anexo

Valor de Referência					
Modo	Distance (m)	Avarage (SNR)1M	Desvio padrão (SNR)	Avarage (ss)1M	desvio padrão (ss)
0	1	6	0,8	-61	0,75
1	1	6	0	-56	2,04
2	1	7	0,89	-60	0,8
3	1	7	0	-52	1,79
4	1	6	0,75	-63	1,33
5	1	7	0,4	-62	0,89
6	1	6	0,74	-38	0,8

Figura 6.1: Valores referência do teste inicial

Variação da distância					
Modo	Distance (m)	varage (SNR)150	Desvio padrão (SNR)	Avarage (ss)150M	desvio padrão (ss)
0	150	6	0,8	-93	0,4
1	150	6	0,49	-92	1,17
2	150	6	0,98	-91	0,4
3	150	7	0,63	-85	0,63
4	150	5	0,49	-97	0,63
5	150	7	0,8	-98	0,63
6	150	5	0,49	-83	0,75

Figura 6.2: Valores com campo de visão do teste inicial

Sem campo de visão					
Modo	Distance (m)	Average (SNR) 165	Desvio padrão (SNR)	Average (ss)	desvio padrão (ss)
0	±165	6	0,49	-102	0,48
1	±165	3	0,8	-102	1,1
2	±165	7	0,8	-100	1,36
3	±165	7	0	-93	0,8
4	±165	6	1,1	-100	2,14
5	±165	7	0,63	-102	1,17
6	±165	6	0,4	-94	1,26

Figura 6.3: Valores sem campo de visão do teste inicial

Com condutores elétricos a cobrir as placas (transmission power=2)					
Modo	Distance (m)	Average (SNR) 1M	Desvio padrão (SNR)	Average (ss) 1M	desvio padrão (ss)
0	1	7	0,49	-78	1,74
1	1	5	1,6	-73	3,1
2	1	7	0,49	-76	1,72
3	1	7	0,4	-60	0,4
4	1	6	0,75	-71	1,32
5	1	7	0,63	-70	1,36
6	1	6	0,75	-61	2,25

Figura 6.4: Valores do segundo teste com distância = 1 metro

Com condutores elétricos a cobrir as placas (transmission power=2)					
Modo	Distance (m)	Average (SNR) 4M	Desvio padrão (SNR)	Average (ss) 4M	desvio padrão (ss)
0	4	7	0,8	-83	1,1
1	4	6	0,8	-81	0,49
2	4	6	0,4	-85	2,87
3	4	7	0	-78	1,33
4	4	7	0,4	-83	1,1
5	4	7	0,98	-83	1,1
6	4	6	0,4	-76	3,07

Figura 6.5: Valores de segundo teste com distância = 4 metros

Entre pisos					
Modo	Distance (m)	Average (SNR)	Desvio padrão (SNR)	Average (ss)	desvio padrão (ss)
0	±12	6	1,36	-92	0,75
1	±12	5	0,49	-95	0,49
2	±12	6	0,75	-95	1,17
3	±12	7	0,4	-88	2,42
4	±12	6	0,89	-91	0,8
5	±12	7	1,02	-90	2,04
6	±12	8	0,63	-83	2,04

Figura 6.6: Valores do quarto teste

Valor de Referência antenas em movimento					
Modo	Distance (m)	Avarage (SNR) 1M	desvio padrão (SNR) 1M	Avarage (ss) 1M	desvio padrão (ss)
0	1	5	0,75	-67	4,13
1	1	6	0,49	-64	3,9
2	1	6	0,4	-68	3,2
3	1	7	0,4	-54	5,34
4	1	6	0,75	-61	2,48
5	1	7	0,4	-67	5,53
6	1	6	0,75	-51	2,9

Figura 6.7: Trecho de código usado na antena que envia um ping

Antenas em movimento, com linha de visão					
Modo	Distance (m)	Avarage (SNR) 150M	desvio padrão (SNR) 150M	Avarage (ss) 150M	desvio padrão (ss)
0	150	6	0,74833	-93	3,34664
1	150	5	1,0198	-95	5,70613
2	150	6	0,4	-91	5,5856
3	150	7	0	-86	3,0594
4	150	6	0,74833	-93	6,3749
5	150	7	0,63245	-95	2,09761
6	150	6	0,4	-92	5,6071

Figura 6.8: Trecho de código usado na antena que envia um ping

Antenas em movimento, sem linha de visão					
Modo	Distance (m)	Avarage (SNR)	desvio padrão (SNR)	Avarage (ss) 165M	desvio padrão (ss)
0	±165	6	0,4	-103	3,611
1	±165	4	0,48989	-98	3,8262
2	±165	6	0,48989	-99	3,124
3	±165	7	0,8	-99	8,3904
4	±165	5	0,74833	-101	1,7853
5	±165	7	0,89442	-100	4,3634
6	±165	6	1,2	-102	5,8514

Figura 6.9: Trecho de código usado na antena que envia um ping