

## 2.8. Indisponibilidade

A indisponibilidade de uma ligação deve-se principalmente às seguintes categorias: equipamento (avarias), propagação (desvanecimento) ou outras causas (interferências/actividade humana).

No nosso projecto optámos pela seguinte distribuição de probabilidades de indisponibilidade: 10% para precipitação, 40% para equipamento e 50% para outras causas.

## 2.9. Fiabilidade

A fiabilidade de uma ligação resulta do número de horas de funcionamento dos elementos que a caracterizam (MTBF) e também do tempo necessário para detectar e reparar uma avaria (MTTR).

Considerando uma indisponibilidade de 40% para o equipamento, como já foi referido, caso esta não cumpra com as recomendações da ITU-R, será necessário adicionar pelo menos 1 canal de reserva bem como 2 comutadores que seleccionem entre o outro percurso disponível.

Uma análise da fiabilidade do equipamento no nosso projecto será apresentada posteriormente.

## 2.10. Repetidor passivo

A utilização de um repetidor passivo prende-se com o facto de num dado percurso directo a atenuação de obstáculo ser suficientemente grande de modo a que não seja possível cumprir as cláusulas da ITU-R relativamente às margens críticas.

Nesse sentido, normalmente é colocado um repetidor passivo num ponto mais alto do perfil que permita que o elipsóide de Fresnel não atravesse qualquer obstáculo.

Podem ser utilizados três tipos de repetidores passivos: repetidor costas com costas, espelho plano e montagem em periscópio.

No nosso projecto será utilizado um repetidor passivo de espelho plano na ligação alternativa com desvio na Serra do Zambujal, bem como um repetidor costas com costas no percurso directo.

## 2.11. C/N óptimo

A diferença entre a qualidade da ligação ( relação sinal-ruído) e a qualidade necessária para o cumprimento das 3 cláusulas da ITU-R designa-se por margem da ligação. A margem mais difícil de cumprir, ou seja, a menor, designa-se por margem crítica (para a frequência de trabalho).

A frequência óptima de trabalho será aquela que a que corresponda o valor máximo da margem crítica.

Através do Feixer, será realizado um varrimento nas frequências de interesse para determinar a frequência óptima de trabalho e a partir daí efectuar o restante dimensionamento dos componentes da ligação.

## 3. Análise de percursos

---

Nesta secção faz-se uma análise qualitativa de todas as hipóteses de ligações consideradas para o nosso projecto. Serão comparadas as várias opções e aquela que apresentar melhores resultados será analisada mais a pormenor de modo a melhorar a sua eficiência/custo. Caso duas ou mais análises sejam similarmente viáveis, serão ambas analisadas pormenorizadamente.

As imagens, coordenadas e distâncias (que poderão ter ligeiras diferenças das obtidas através do perfil cartográfico) foram obtidas com o *Google Earth*.

### 3.1. Possibilidades de ligação

Foram consideradas as seguintes hipóteses de ligação entre Barreiro e Sesimbra:

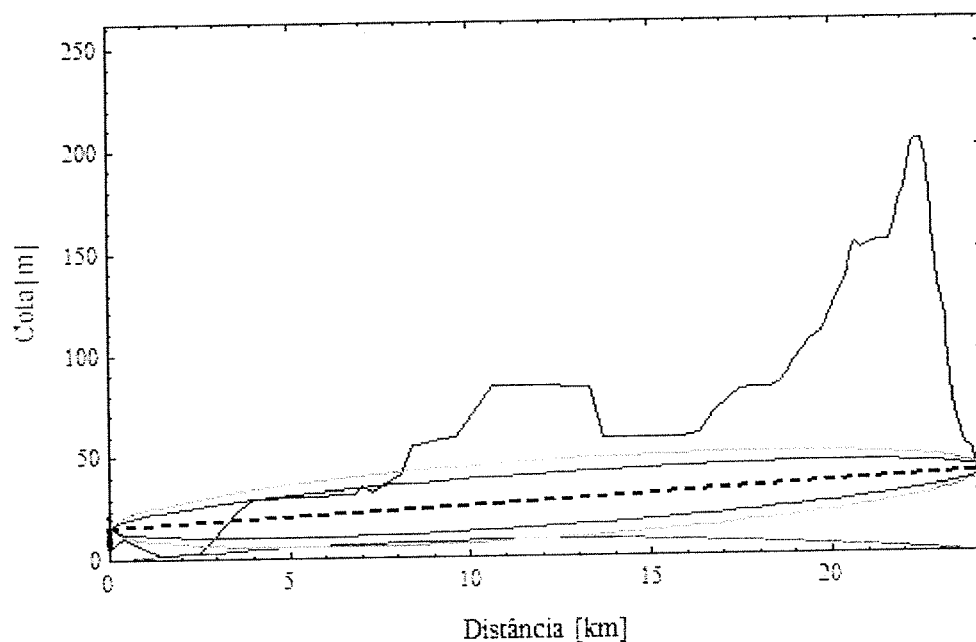
- Raio directo entre Barreiro e Sesimbra
- Raio directo entre Barreiro e Sesimbra com recurso a repetidor costas com costas em Santana, com diversidade de espaço
- Raio directo entre Barreiro e Sesimbra com recurso a repetidor activo em Santana, sem diversidade de espaço
- Trajecto alternativo com desvio na Serra do Zambujal, com recurso a repetidor passivo e diversidade no espaço

### 3.2. Ligação directa entre Barreiro e Sesimbra

	<i>Latitude (N)</i>	<i>Longitude (W)</i>	<i>Cota (m)</i>	<i>Distância (km)</i>
<i>Barreiro</i>	38° 39' 31.59"	9° 4' 27.34"	16	24.2
<i>Sesimbra</i>	38° 26' 30.82"	9° 5' 43.18"	20	

**Tabela 4** – Coordenadas das antenas terminais da ligação directa

Em primeiro lugar foi testada a ligação de raio directo entre Barreiro e Sesimbra. Embora se saiba à partida que esta ligação não será viável devido à elevada atenuação de obstáculo, foi testada como referência e como ponto de partida para outras soluções, já que é a solução mais fácil de implementar e mais económica.



**Fig. 1** – 1º elipsóide de Fresnel na ligação directa entre Barreiro e Sesimbra

Como se pode verificar, o 1º elipsóide de Fresnel encontra-se quase todo completamente obstruído, o que desde logo anula qualquer possibilidade de ligação.

Obtiveram-se os seguintes valores para a margem de segurança da ligação:

$f$ [GHz]	Modulação	LB [MHz]	$\left(\frac{C}{N}\right)_{min}$ [dB]	$\left(\frac{C}{N}\right)_{CIP}$ [dB]	Margem da ligação [dB]
5	64-QAM	40	66.99	-7.61	-74.6
6	64-QAM	29.65	67.71	-9.68	-77.39
	8-PSK	60	56.3	-12.69	-68.99
	16-QAM	60	60.39	-11.44	-71.83
11	64-QAM	40	70.12	-18.39	-88.51

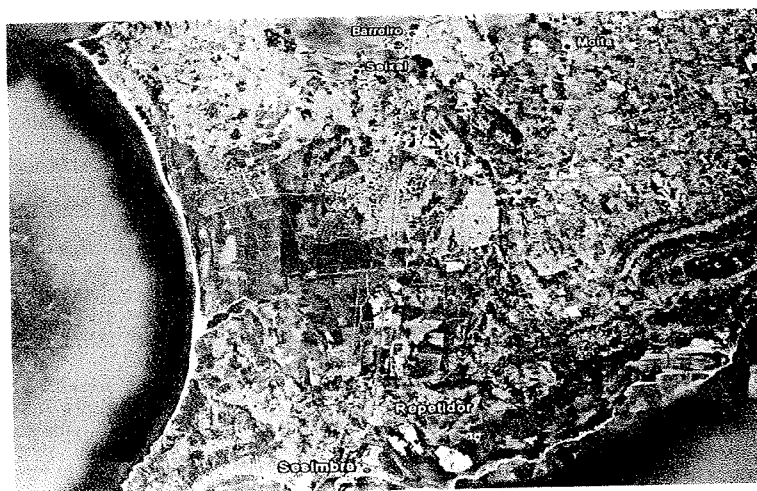
**Tabela 5** – Margem da ligação directa Barreiro-Sesimbra, sem diversidade

Como se pode verificar, a margem de ligação é muito baixa, inviabilizando o seu funcionamento, mesmo com recurso a outras optimizações. Nota-se também que a margem da ligação será mais fácil de cumprir para o caso em que temos maior largura de banda e uma elevada eficiência espectral (8-PSK), como seria esperado. No entanto, como se verá mais adiante, esta solução não é a mais viável economicamente. Foi então considerada a hipótese de colocar um repetidor passivo no ponto mais alto do obstáculo da ligação.

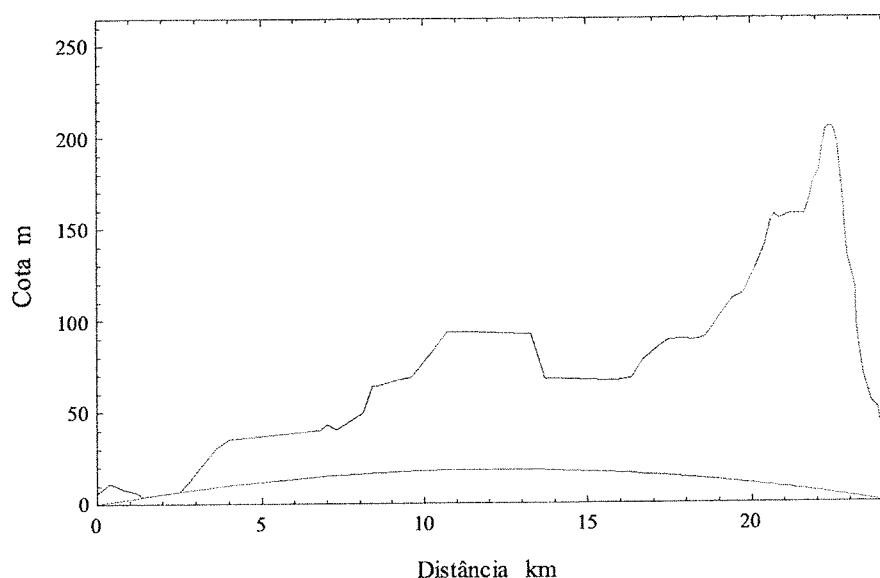
### 3.3. Ligação com repetidor passivo em Santana com recurso a diversidade no espaço

	Latitude (N)	Longitude (W)	Cota (m)	Distância (km)
Barreiro	38° 39' 40.60"	9° 4' 36.48"	12	22.42
Santana	38° 27' 39.26"	9° 6' 0.43"	205	
Sesimbra	38° 26' 38.23"	9° 6' 7.54"	30	1.78

**Tabela 6** – Coordenadas das antenas terminais e repetidor na ligação c/ repetidor em Santana



**Fig.2** – Representação do percurso sob vista aérea, com recurso ao Google Earth



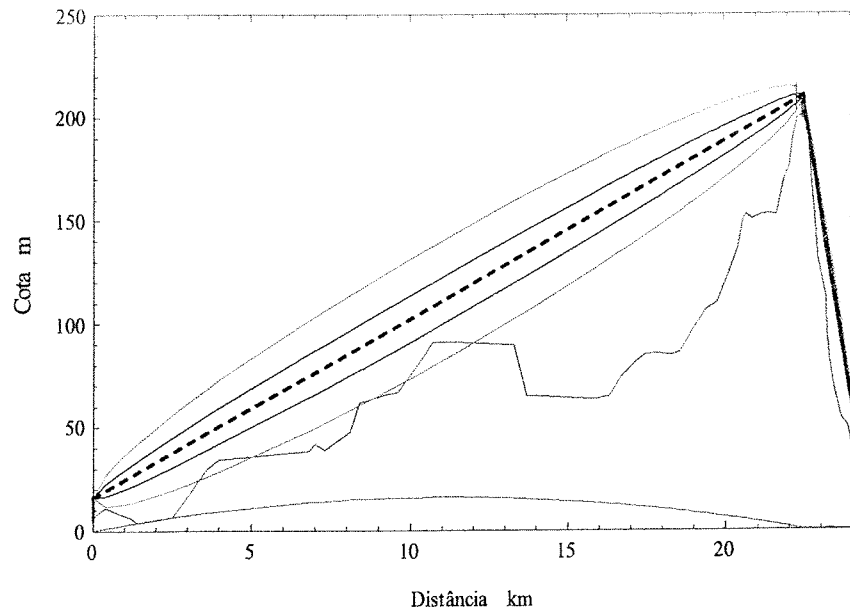
**Fig.3 – Perfil da ligação obtido através do Feixer**

Foi colocado um repetidor passivo no ponto mais alto do perfil, de cota 205m, e foram considerados os seguintes parâmetros para teste da ligação:

Altura do mastro de emissão (m)	10
Altura do mastro de recepção (m)	10
Diâmetro da antena de recepção (m)	4.572
Diâmetro da antena de emissão (m)	4.572
Folga dos guias de onda (m)	6
Área efectiva do repetidor passivo (m <sup>2</sup> )	8.2
Altura do mastro de recepção do repetidor passivo (m)	10
Altura do mastro de emissão do repetidor passivo (m)	10
Espaço entre antenas no caso de diversidade (m)	20

**Tabela 7 – Características dos elementos físicos da ligação com repetidor passivo em Santana**

Esta ligação foi testada em todas as bandas de frequências indicadas na tabela 2. Para tal, foi necessário calcular a área da assinatura para modulações superiores a  $m=64$ . Como se irá observar noutra ligação alternativa posteriormente, também neste caso não se obtiveram resultados minimamente favoráveis à utilização de modulações superiores, de modo que não foram analisadas mais em detalhe.



**Fig.4** – 1º Elipsóide de Fresnel para a ligação Barreiro-Sesimbra com repetidor passivo em Santana

No processo de optimização da ligação, começámos inicialmente por utilizar mastros no repetidor com uma altura de 20m e fomos diminuindo gradualmente até que não se verificasse atenuação de obstáculo. Apesar da imagem acima mostrar que para frequências inferiores o elipsóide cruza com o perfil, os valores registados para esses obstáculos eram sempre muito baixos.

Decidimos também utilizar inicialmente a maior área efectiva possível para o repetidor passivo, nomeadamente 35m<sup>2</sup>, depois verificamos para qual frequência se obtinha melhores resultados. De seguida calculou-se a área efectiva relativamente a um repetidor passivo costas com costas, segundo a fórmula de cálculo que se encontra no Anexo B, e caso obtivéssemos resultados positivos, então diminuiríamos esse valor. Foi obtido um valor de 8,2m<sup>2</sup>.

$f[\text{GHz}]$	Modulação	$LB[\text{MHz}]$	$\left(\frac{C}{N}\right)_{\min} [\text{dB}]$	$\left(\frac{C}{N}\right)_{\text{CIP}} [\text{dB}]$	Margem da ligação [dB]
5	64-QAM	40	66.93	53.42	-13.51
6	64-QAM	29.65	67.66	55.06	-12.59
	8-PSK	60	56.25	51.97	-4.28
	16-QAM	60	60.34	54.82	-5.52
11	64-QAM	40	70.07	59.18	-10.89

**Tabela 8** – Margem da ligação Barreiro-Sesimbra via repetidor passivo em Santana, sem diversidade

Inicialmente nenhum dos resultados permitiu obter uma margem de segurança superior a 3dB como se desejaria, mas notam-se melhores valores para a largura de banda mais elevada.

Dado que a ligação já se encontra otimizada em termos de diâmetro das antenas, área do repetidor e altura dos mastros, foi necessário recorrer ao uso de diversidade de espaço.

$f$ [GHz]	Modulação	LB [MHz]	$\left(\frac{C}{N}\right)_{min}$ [dB]	$\left(\frac{C}{N}\right)_{CIP}$ [dB]	Margem da ligação [dB]
5	64-QAM	40	53.42	53.58	0.16
6	64-QAM	29.65	54.32	55.06	0.74
	8-PSK	60	42.82	51.97	9.15
	16-QAM	60	47.09	54.82	7.73
11	64-QAM	40	56.82	59.18	2.36

**Tabela 9** – Margem da ligação Barreiro-Sesimbra via repetidor passivo em Santana, com diversidade

Apesar de utilizarmos o máximo recomendado de diversidade espacial, com as antenas distanciadas entre si de 20m, não conseguimos obter valores da margem de segurança acima do desejado. Excepção feita às larguras de banda mais elevadas, mas foi nossa opção tentar utilizar larguras de banda menores, pois nunca obtivemos vantagens em termos financeiros de as usar. Apesar desta situação, para a frequência de 11GHz o valor ficou muito próximo da margem de 3dB recomendado, logo decidimos manter esta opção e fazer a análise financeira. Em Anexo encontram-se as características mais relevantes da ligação relativamente a esta opção.

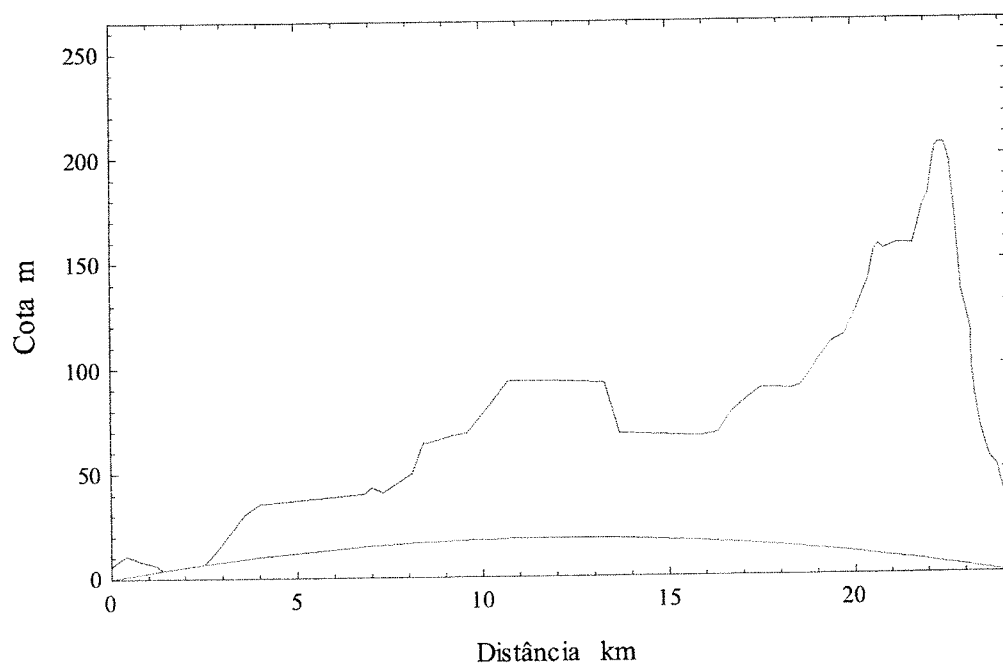
### 3.4. Ligação com repetidor activo em Santana sem recurso a diversidade no espaço

	Latitude (N)	Longitude (W)	Cola (m)	Distância (km)
Barreiro	38° 39' 40.60"	9° 4' 36.48"	12	22.42
Santana	38° 27' 39.26"	9° 6' 0.43"	205	
Sesimbra	38° 26' 38.23"	9° 6' 7.54"	30	1.78

**Tabela 10** - Coordenadas das antenas terminais e repetidor na ligação c/ repetidor activo em Santana



**Fig.5** – Representação do percurso sob vista aérea, com recurso ao Google Earth



**Fig.6** – Perfil da ligação obtido através do Feixer

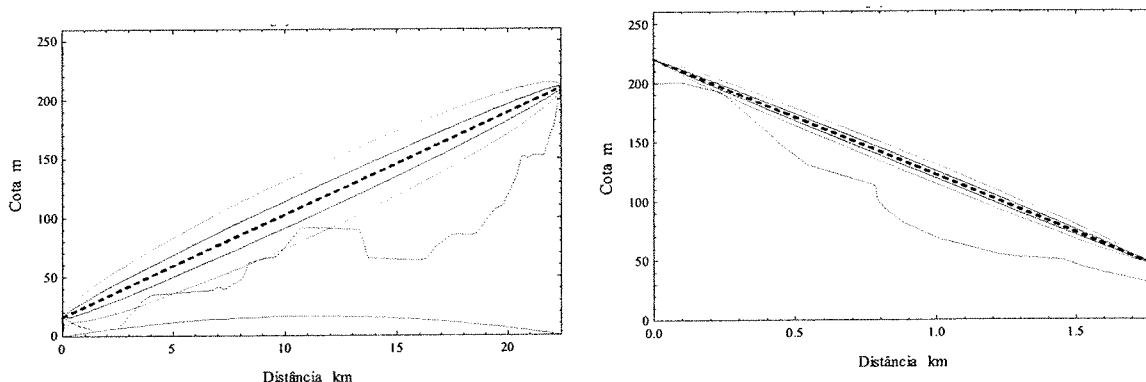


Foi colocado um repetidor activo no ponto mais alto do perfil, de cota 205m (Santana), e foram considerados os seguintes parâmetros para teste da ligação:

Altura do mastro de emissão (m)	10
Altura do mastro de recepção (m)	15
Diâmetro da antena de emissão (m)	3.6576
Diâmetro da antena de recepção do repetidor (m)	3.6576
Diâmetro da antena de emissão do repetidor (m)	0.6
Diâmetro da antena de recepção (m)	0.6
Folga dos guias de onda (m)	10
Altura do mastro de recepção do repetidor passivo (m)	10
Altura do mastro de emissão do repetidor passivo (m)	10

**Tabela 11** – Características dos elementos físicos da ligação com repetidor activo em Santana

Para esta ligação, dado que iríamos utilizar um repetidor activo, a forma de abordar a situação é diferente em relação a um repetidor passivo. Neste caso temos que dividir o percurso em duas ligações. Uma desde o Barreiro até o repetidor activo e a segunda desde o repetidor até Sesimbra.



**Figs.7 e 8** – 1ª Elipsóide de Fresnel para a ligação Barreiro-Sesimbra com repetidor activo em Santana

Para otimizar as ligações começámos por variar a altura dos mastros até não se obter atenuação de obstáculo. Esse limite mínimo verificou-se para mastros com uma altura de 10m na ligação Barreiro-repetidor e de 15m no percurso repetidor-Sesimbra.

De seguida começámos por utilizar as áreas máximas para as antenas parabólicas (4.576m) mas rapidamente verificou-se que se podiam diminuir estes tamanhos. No final, ficámos no primeiro percurso com antenas de 3.6576m e no

segundo com antenas de 0.6m. Esta diferença deve-se principalmente à distância de ligação, na primeira temos 22.41km enquanto na segunda temos 1.78km.

Obtivemos então para as duas ligações os seguintes resultados:

$f[GHz]$	Modulação	LB[MHz]	$\left(\frac{C}{N}\right)_{min} [dB]$	$\left(\frac{C}{N}\right)_{CIP} [dB]$	Margem da ligação [dB]
5	64-QAM	40	65.68	69.59	3.91
6	64-QAM	29.65	66.40	69.54	3.14
	8-PSK	60	54.94	68.32	13.38
	16-QAM	60	59.09	69.57	10.48
11	64-QAM	40	68.78	67.08	-0.96

Tabela 12 – Margem da ligação Barreiro-repetidor activo (Santana), sem diversidade

$f[GHz]$	Modulação	LB[MHz]	$\left(\frac{C}{N}\right)_{min} [dB]$	$\left(\frac{C}{N}\right)_{CIP} [dB]$	Margem da ligação [dB]
5	64-QAM	40	26.49	61.73	35.24
6	64-QAM	29.65	26.78	61.56	34.78
	8-PSK	60	18.25	68.32	50.07
	16-QAM	60	22.56	69.57	47.01
11	64-QAM	40	29.75	59.27	29.52

Tabela 13 – Margem da ligação repetidor activo - Sesimbra, sem diversidade

Verificamos que para esta solução conseguimos obter valores da margem de segurança acima do desejado, de modo que para a escolha da frequência e respectiva largura de banda apenas se terá em conta a possibilidade de optimização em termos económicos.

Na ligação Barreiro-repetidor optimizou-se o diâmetro das antenas para se conseguir uma margem de segurança próxima dos 3dB para as frequências que apresentavam melhores resultados. Na ligação repetidor-Sesimbra, dado que se trata de uma distância muito curta, mesmo utilizando as antenas mais pequenas do mercado, a margem de ligação ficou em cerca de 30dB.

Para a primeira ligação (Barreiro-Repetidor) verificamos que tínhamos duas frequências com margem de ligação superior a 3dB. Relativamente à largura de banda mais elevada, 60Mhz, não foi considerada, pois apesar de obtermos resultados positivos, visto que já utilizamos componentes com dimensões reduzidas, a desvantagem em termos económicos devido à utilização de uma maior largura de banda é ainda bastante grande. Salienta-se também que como não necessitamos de

diversidade, essa desvantagem é ainda mais aparente. Dado que não era então possível diminuir as antenas para as frequências de interesse, baseámo-nos na escolha com base nos custos associados à largura de banda em cada frequência.

Apenas em termos de custos de largura de banda, utilizando os preços referidos no site da ANACOM temos para os dois casos:

- 6Ghz [29.65Mhz]  $\rightarrow 52 \times \sqrt{25.325} \times 29.65 \times 2 = 15169,30\text{€/ano}$
- 5Ghz [40Mhz]  $\rightarrow 52 \times \sqrt{25.325} \times 40 \times 2 = 20464,50\text{€/ano}$

Verificamos então que para a frequência de 6GHz obtêm-se os custos mais reduzidos.

### 3.5. Ligação com desvio na Serra do Zambujal, com recurso a repetidor passivo e diversidade no espaço

	<i>Latitude (N)</i>	<i>Longitude (W)</i>	<i>Cota (m)</i>	<i>Distância (km)</i>
<i>Barreiro</i>	38° 39' 31.59"	9° 4' 27.34"	16	23.3
<i>Serra do Zambujal</i>	38° 27' 1.18"	9° 7' 1.45"	213	
<i>Sesimbra</i>	38° 26' 30.82"	9° 5' 43.18"	20	2.1

**Tabela 14** - Coordenadas das antenas terminais e repetidor na ligação c/ repetidor passivo na Serra do Zambujal



**Fig.9** – Representação do percurso sob vista aérea, com recurso ao Google Earth

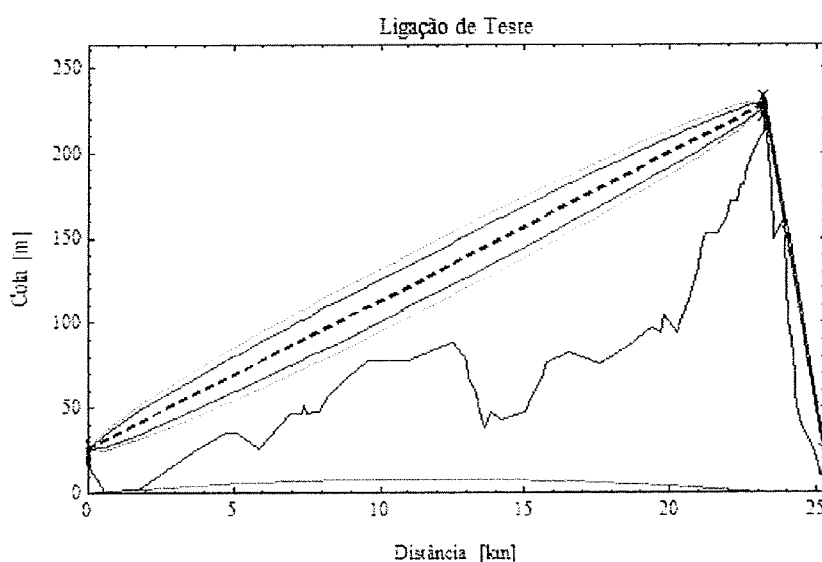


**Fig.10** – Perfil da ligação obtido através do Feixer

Foi colocado um repetidor no ponto mais alto do perfil, de cota 213m, e foram considerados os seguintes parâmetros (passíveis de serem alterados posteriormente) para teste da ligação:

Altura do mastro de emissão (m)	10
Altura do mastro de recepção (m)	10
Diâmetro da antena de recepção (m)	4.572
Diâmetro da antena de emissão (m)	4.572
Folga dos guias de onda (m)	10
Área efectiva do repetidor passivo (m <sup>2</sup> )	20.72
Altura do mastro de recepção do repetidor passivo (m)	25
Altura do mastro de emissão do repetidor passivo (m)	25
Espaço entre antenas no caso de diversidade (m)	10

Foi testada esta ligação em todas as bandas de frequências indicadas na tabela XXX. Para tal, foi necessário calcular a área da assinatura para modulações superiores a  $m=64$ . No entanto, os resultados ficaram muito áquém da margem crítica de 3dB e foi impossível dimensionar a ligação para que essas modulações se tornassem viáveis, de tal modo que não foram analisadas mais em pormenor.



**Fig.11** – 1º Elipsóide de Fresnel para a ligação Barreiro-Sesimbra com repetidor passivo na Serra do Zambujal

No processo de optimização da ligação, começámos inicialmente por utilizar mastros no repetidor com uma altura de 30m e fomos diminuindo gradualmente até que não se verificasse atenuação de obstáculo, atenuação esta resultante do troço entre o repetidor passivo e a antena de recepção. Esse limite mínimo verificou-se para mastros com uma altura de 12m, no entanto, considerámos que no dimensionamento de um projecto não se devem utilizar exactamente as condições mínimas para o seu funcionamento, de modo que decidimos utilizar mastros de 15m. Apesar da imagem acima não ser completamente esclarecedora, não foi registada qualquer atenuação de obstáculo, mesmo para as frequências mais baixas.

Decidimos também utilizar inicialmente a maior área efectiva possível do espelho plano, de acordo com uma área física máxima de 35m<sup>2</sup>, segundo a fórmula de cálculo que se encontra no Anexo B, e caso obtivéssemos resultados positivos, então diminuiríamos esse valor. Foi obtido um valor máximo de 20,72m<sup>2</sup>.

$f[GHz]$	Modulação	LB[MHz]	$\left(\frac{C}{N}\right)_{min} [dB]$	$\left(\frac{C}{N}\right)_{CIP} [dB]$	Margem da ligação [dB]
5	64-QAM	40	67.70	59.12	-8.58
6	64-QAM	29.65	68.42	60.65	-7.77
	8-PSK	60	57.04	57.64	0.6
	16-QAM	60	61.1	58.89	-2.21
11	64-QAM	40	70.86	64.13	-6.73

**Tabela 15** – Margem crítica da ligação alternativa, sem diversidade

Inicialmente nenhum dos resultados permitiu obter uma margem de segurança superior a 3dB como se desejaria, mas notam-se melhores valores para a largura de banda mais elevada, e em particular para a modulação 8-PSK, como seria de esperar, já que é uma modulação de elevada eficiência espectral.

Dado que a ligação já se encontra optimizada em termos de diâmetro das antenas, área do repetidor e altura dos mastros, foi necessário recorrer ao uso de diversidade de espaço.