

### 3 Resultados Numéricos

Neste capítulo, a metodologia apresentada na Seção 2.3 é utilizada para determinar as *distâncias mínimas baseadas em pfd* ao longo da costa brasileira. Os resultados obtidos são de grande importância para o órgão regulador das telecomunicações no Brasil (Anatel), uma vez que eles servem de suporte ao processo de autorização para a operação de ESVs na região próxima à costa brasileira. Foram analisadas ESVs operando nas faixas de frequência 5925-6425 MHz (Banda C) e 14-14,5 GHz (Banda Ku). Os resultados obtidos são apresentados nas seções 3.1 e 3.2.

Conforme descrito na Seção 2.3, os seguintes passos foram utilizados na determinação das *distâncias mínimas baseadas em pfd*:

1. Determinação da fronteira marítima definida pela distância mínima ( $d_{min}$ ) indicada na Resolução 902;
2. Escolha da posição orbital cujo ângulo de elevação mínimo ao longo da fronteira determinada no Passo 1 seja igual a  $10^\circ$ ;
3. Definição das posições dos receptores FS ao longo da costa (separação  $d_{sep}$  entre receptores adjacentes igual a 50 km);
4. Determinação da localização do receptor FS (dentre as definidas no Passo 3) da qual o satélite é visto com o menor ângulo de elevação (Ponto *B*);
5. Determinação da posição geográfica da ESV (Ponto *C*);
6. Determinação do valor da densidade de *e.i.r.p*,  $E$ , transmitida pela ESV (localizada no ponto *C*) em direção ao satélite que produz uma densidade de *e.i.r.p* igual à máxima permitida pela Resolução 902 ( $E_{hmax}$ );
7. Determinação, considerando as posições geográficas da ESV e do receptor FS determinadas nos passos 4 e 5, do valor  $PFDP_p$  da densidade de fluxo de potência (produzida pela transmissão da ESV no receptor FS) que é excedido com probabilidade  $p/100$ . Este valor será considerado como o valor de referência para o cálculo das *distâncias mínimas baseadas em pfd*, ou seja,  $PFDR_{ref} = PFDP_p$ ;

8. Determinação das *distâncias mínimas baseadas em pfd* ao longo da costa brasileira para a posição orbital definida no Passo 2 e o valor de densidade de *e.i.r.p* determinado no Passo 6;

Note que os passos 7 e 8 requerem o cálculo de valores da perda de propagação (da transmissão ESV) que não são excedidos com probabilidade  $p/100$ . Este cálculo é aqui feito de acordo com a metodologia e os modelos descritos na Recomendação ITU-R P.452 [10]. Trata-se de uma recomendação bastante complexa que fornece um conjunto de procedimentos para avaliação da interferência entre estações transmissoras e receptoras sobre a superfície da terra. Estes procedimentos são bastante gerais e envolvem um amplo conjunto de modelos de propagação aplicáveis a sistemas operando na faixa de frequência de 0.7GHz a 50 GHz e cujas distâncias entre o transmissor interferente e o receptor vítima sejam inferiores a 10000 km.

Duas metodologias são abordadas na Recomendação ITU-R P.452. A primeira diz respeito à predição da interferência em céu claro (*clear air*) e engloba cinco modelos de propagação: difração, reflexão e refração nas camadas atmosféricas, espalhamento troposférico e perdas devidas ao ambiente em torno das estações (edificações, florestas, etc.). Esta metodologia pode ser aplicada tanto a enlace em visibilidade quanto a enlaces trans-horizonte. A segunda metodologia refere-se à predição de interferência na presença de espalhamento por hidrometeoros e conduz à função densidade de probabilidade da perda de transmissão experimentada pelo sinal interferente. No presente trabalho, considerou-se a propagação em céu claro e portanto apenas a primeira metodologia foi utilizada na determinação do valor  $L_p$  da perda total de propagação que não é excedido com probabilidade  $p/100$ . Para este cálculo foi necessária a obtenção de expressões matemáticas que fornecem parâmetros específicos da geometria utilizada a partir das posições geográficas da ESV e do receptor FS. Uma descrição resumida do procedimento utilizado é apresentada no Apêndice A. Detalhes que incluem as expressões matemáticas e os dados de radiometeorologia utilizados podem ser encontrados em [10].

Embora a Recomendação ITU-R P.452 permita o cálculo de  $L_p$  para uma ampla gama de valores de  $p$ , no caso particular da interferência de ESVs sobre receptores do FS, os valores de  $p$  a serem considerados são determinados por um procedimento iterativo específico definido na Recomendação ITU-R SF.1650 [5]. Este procedimento baseia-se no intervalo de tempo durante o qual a ESV está dentro do feixe de -10 dB da antena receptora do FS, a velocidade da ESV, a frequência de passagem da ESV durante um ano e a distância da ESV à costa ao passar pelo feixe de -10 dB da antena receptora do FS. Neste trabalho foram utilizados os mesmos valores de  $p$  que os utilizados em [6], ou

seja,  $p = 0.0779\%$  para o critério de curto prazo e  $p = 20\%$  para o critério de longo prazo.

### 3.1

#### Distâncias mínimas para ESVs operando na Banda C (5925-6425 MHz)

Nesta seção são apresentados os resultados correspondentes às *distâncias mínimas baseadas em pfd* ao longo da costa brasileira para ESVs operando na Banda C (5925-6425 MHz). Conforme ressaltado anteriormente, estas distâncias dependem, dentre outros parâmetros, da posição orbital do satélite utilizado pela ESV e do valor  $E$  da densidade de *e.i.r.p.* transmitida pela ESV em direção ao satélite. Os parâmetros básicos utilizados para sistemas operando nesta faixa de frequências são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Parâmetros utilizados no cálculo da perda de propagação - Banda C

$f$ : frequência [MHz]	6175
$d_{min}$ [km]	300
$d_{sep}$ [km]	50
$E_{h_{max}}$ [dB(W/MHz)]	17
Porcentagem de tempo utilizada no cálculo da perda de propagação $L_p$ (curto prazo)	0,0779
Porcentagem de tempo utilizada no cálculo da perda de propagação $L_p$ (longo prazo)	20
$h_{rg}$ : altura sobre o nível do mar dos receptores FS [m]	120
Diâmetro da antena transmissora da ESV [m]	2,4
$h_{tg}$ : altura sobre o nível do mar da ESV [m]	40

Inicialmente, foram executados os passos 1 a 5 descritos no início do Capítulo 3, resultando na posição orbital 103, 35°W para o satélite, na posição geográfica (34, 827°W; 7, 986°S) para o receptor FS (Ponto *B*) e na posição geográfica (32, 108°W; 8, 118°S) para a ESV (Ponto *C*). Os passos 6 a 8 foram executados considerando-se tanto as perdas de propagação de curto prazo ( $p = 0,0779\%$ ) quanto para as de longo prazo ( $p = 20,0\%$ ). Os resultados correspondentes são apresentados nas seções 3.1.1 e 3.1.2.

### 3.1.1

#### Análise de curto prazo ( $p=0,0779\%$ )

No caso da Banda C e de perdas de propagação de curto prazo, os passos 6 e 7 descritos no início do Capítulo 3 resultaram nos valores de 53 dB[W/MHz] para a densidade de *e.i.r.p.* ( $E$ ) transmitida pela ESV na direção do satélite e de  $-106,2$  dB[W/(MHz m<sup>2</sup>)] para o nível de referência da densidade de fluxo de potência interferente atingindo o receptor FS ( $PF_{Dref}$ ).

O Passo 8 conduziu à determinação das *distâncias mínimas baseadas em pfd* apresentadas na Figura 3.1. Nesta figura, a curva sólida indica a distância mínima da costa brasileira que uma ESV, que transmita uma densidade de *e.i.r.p.* de 53 dB[W/MHz] na direção de um satélite na posição orbital 103,35°W, pode operar sem que o valor  $PF_{Dp}$  da densidade de fluxo de potência que é excedido com probabilidade 0,000779 seja superior a  $-106,2$  dB[W/(MHz m<sup>2</sup>)].

Observe que ESVs que transmitem uma densidade de *e.i.r.p.* menor do que 53 dB[W/MHz] podem chegar mais perto da costa sem violar a condição  $PF_{Dp} \leq -106,2$  dB[W/(MHz m<sup>2</sup>)]. Por este motivo, é interessante que se calcule as *distâncias mínimas baseadas em pfd* também para estas ESVs. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 3.2.

Como as *distâncias mínimas baseadas em pfd*, além de dependerem do valor  $E$  de densidade de *e.i.r.p.* transmitida pela ESV na direção do satélite, dependem ainda da posição orbital do satélite, julgou-se interessante determinar estas distâncias para satélites operando em posições orbitais mais a leste de 103,35°W (vistas pela ESV com ângulos de elevação maiores que 10°). Assim, as figuras 3.3, 3.4 e 3.5 apresentam curvas análogas àquelas da Figura 3.2, para as posições orbitais 90°W, 73°W e 50°W, respectivamente.

Para avaliar o comportamento das *distâncias mínimas baseadas em pfd* com a variação da posição orbital do satélite utilizado pela ESV, a Figura 3.6 apresenta as curvas correspondentes a estas distâncias, para uma ESV transmitindo uma densidade de *e.i.r.p.*  $E = 53$  dB[W/MHz] na direção de satélites com posições orbitais (103,35°W), (90°W), (73°W) e (50°W). Note que para satélites em posições orbitais mais a este do que 73°W, as *distâncias mínimas baseadas em pfd* não variam (as curvas correspondentes às posições orbitais 73°W e 50°W são praticamente as mesmas). Isto ocorre porque para ESVs utilizando satélites nestas posições, o ângulo  $\phi$  entre a direção do satélite e a direção do receptor FS é sempre maior do que 48° e, neste caso, o ganho da antena transmissora da ESV na direção do receptor FS é sempre igual a  $-10$  dBi (ver Recomendação ITU-R S.465 [12]). Curvas análogas às da Figura 3.6 são apresentadas nas figuras 3.7 e 3.8 para diferentes valores de  $E$ .

Observe, finalmente, que um conjunto de curvas como as apresentadas nesta seção permitem que uma ESV transmitindo uma determinada densidade de *e.i.r.p.* na direção de um satélite em uma dada posição orbital possa identificar o quão próximo do litoral brasileiro ela pode chegar sem que o valor da densidade de fluxo de potência atingindo um receptor FS localizado na costa (valor de pfd excedido durante  $p = 0,0779\%$  do tempo) seja superior ao valor de referência  $PF D_{ref}$ .

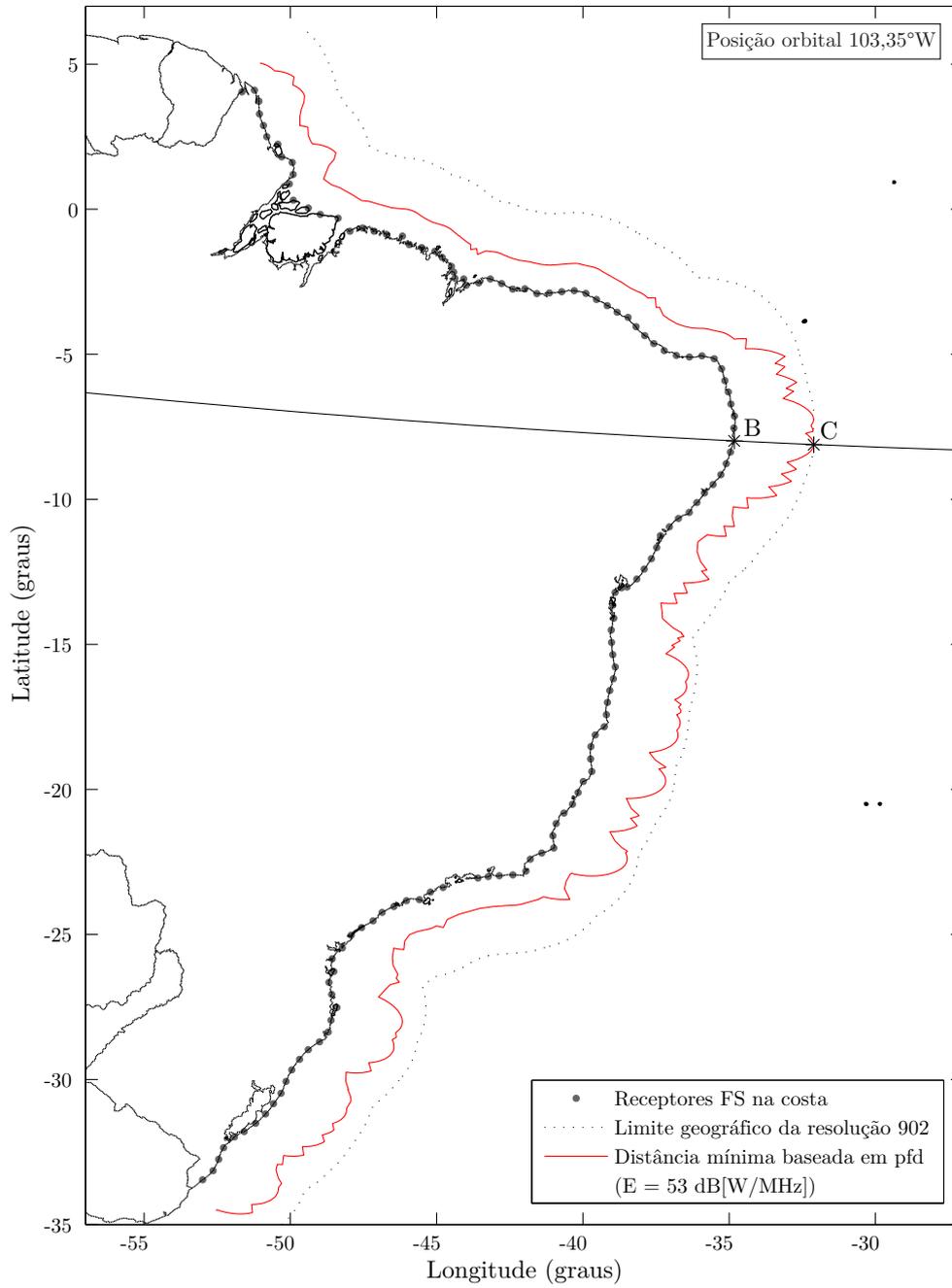


Figura 3.1: Limite geográfico baseado em pfd correspondente a perda de propagação de curto prazo. Posição orbital: 103,35°W, Ponto B: (34,827°W;7,986°S), Ponto C: (32,108°W;8,118°S).

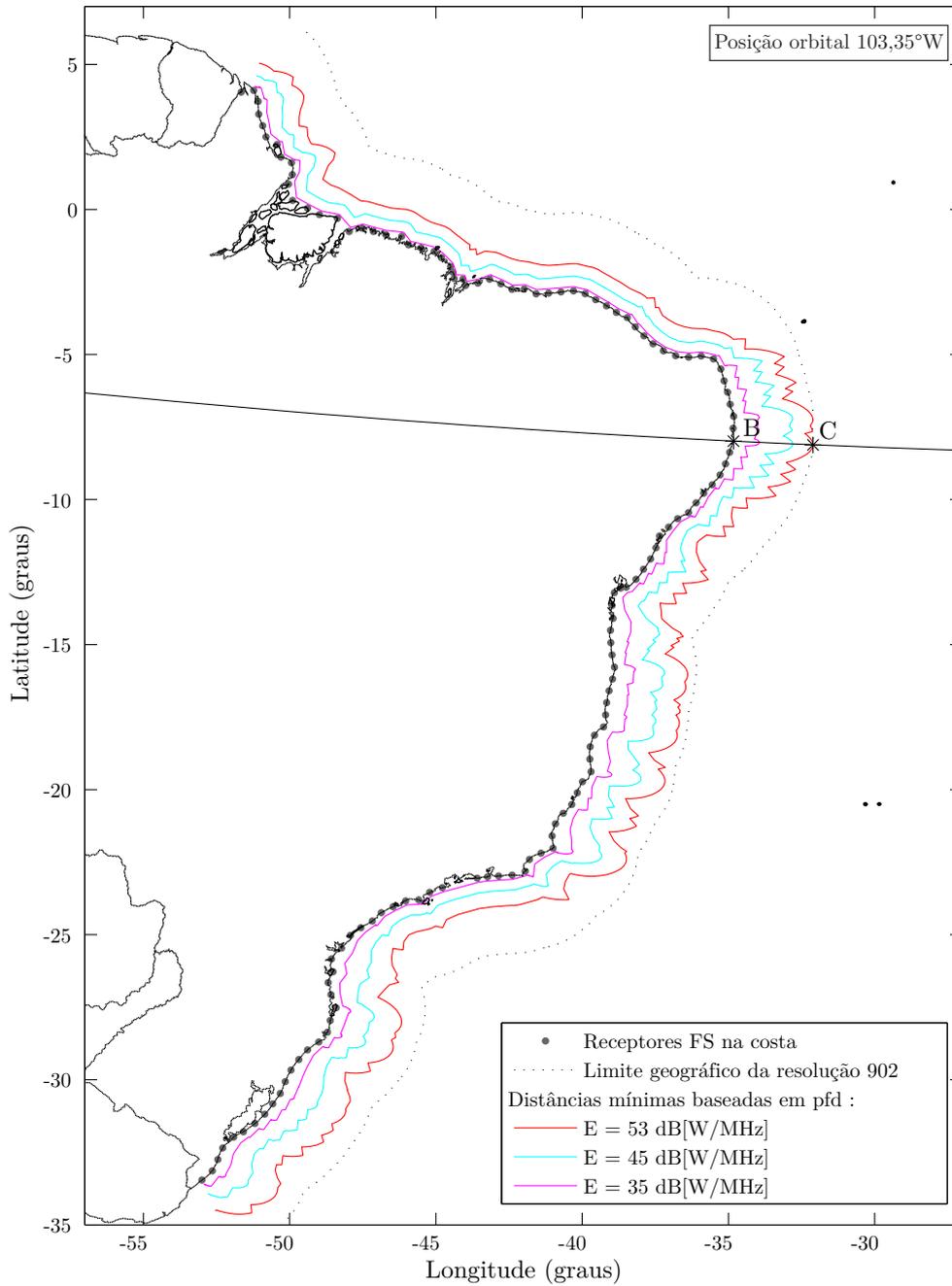


Figura 3.2: Limites geográficos baseados em pfd correspondentes a perdas de propagação de curto prazo. Posição orbital: 103,35°W, Ponto B: (34,827°W;7,986°S), Ponto C: (32,108°W;8,118°S).

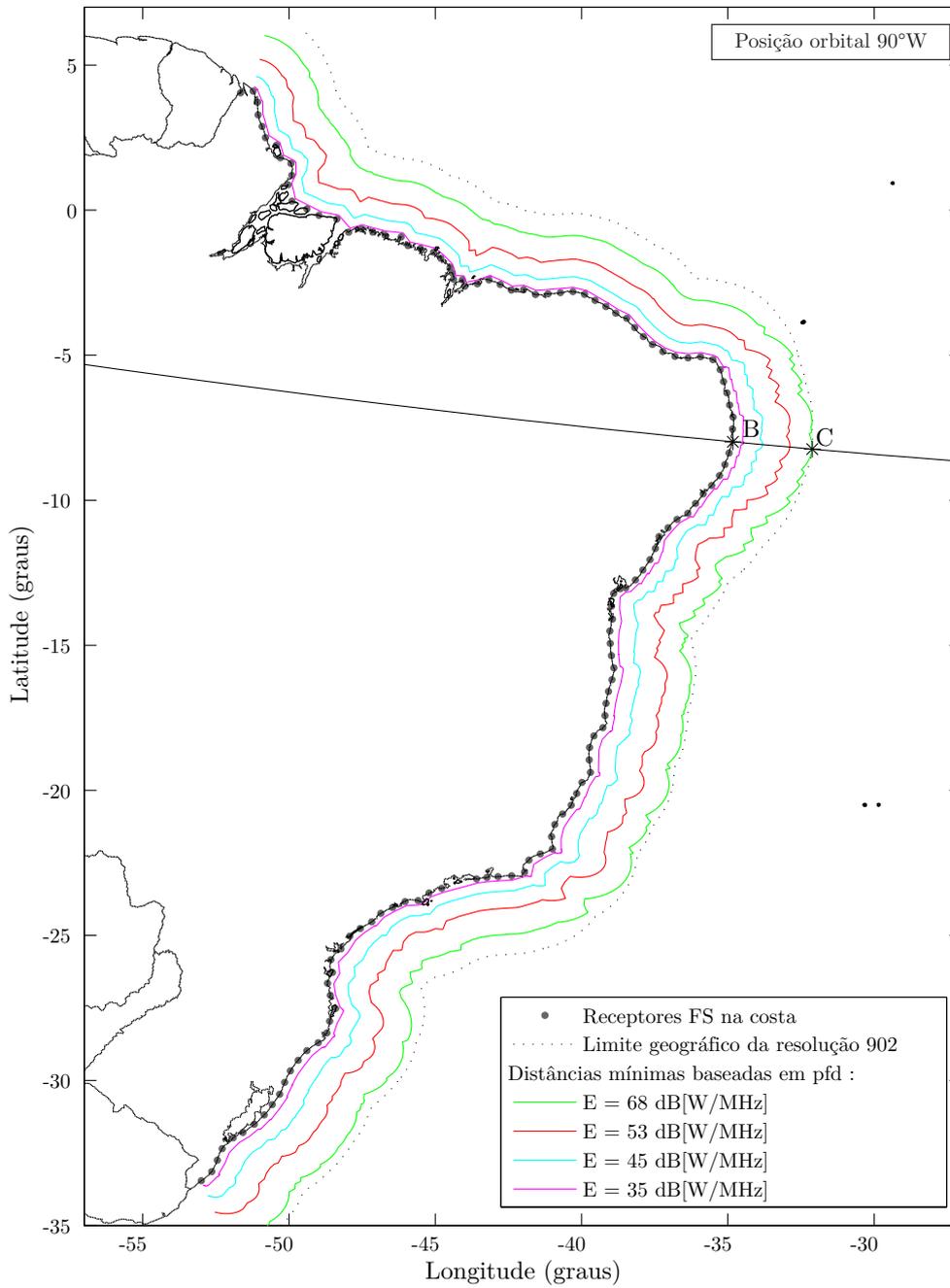


Figura 3.3: Limites geográficos baseados em pfd correspondentes a perdas de propagação de curto prazo. Posição orbital: 90°W, Ponto B: (34, 827°W; 7, 986°S), Ponto C: (32, 113°W; 8, 235°S).

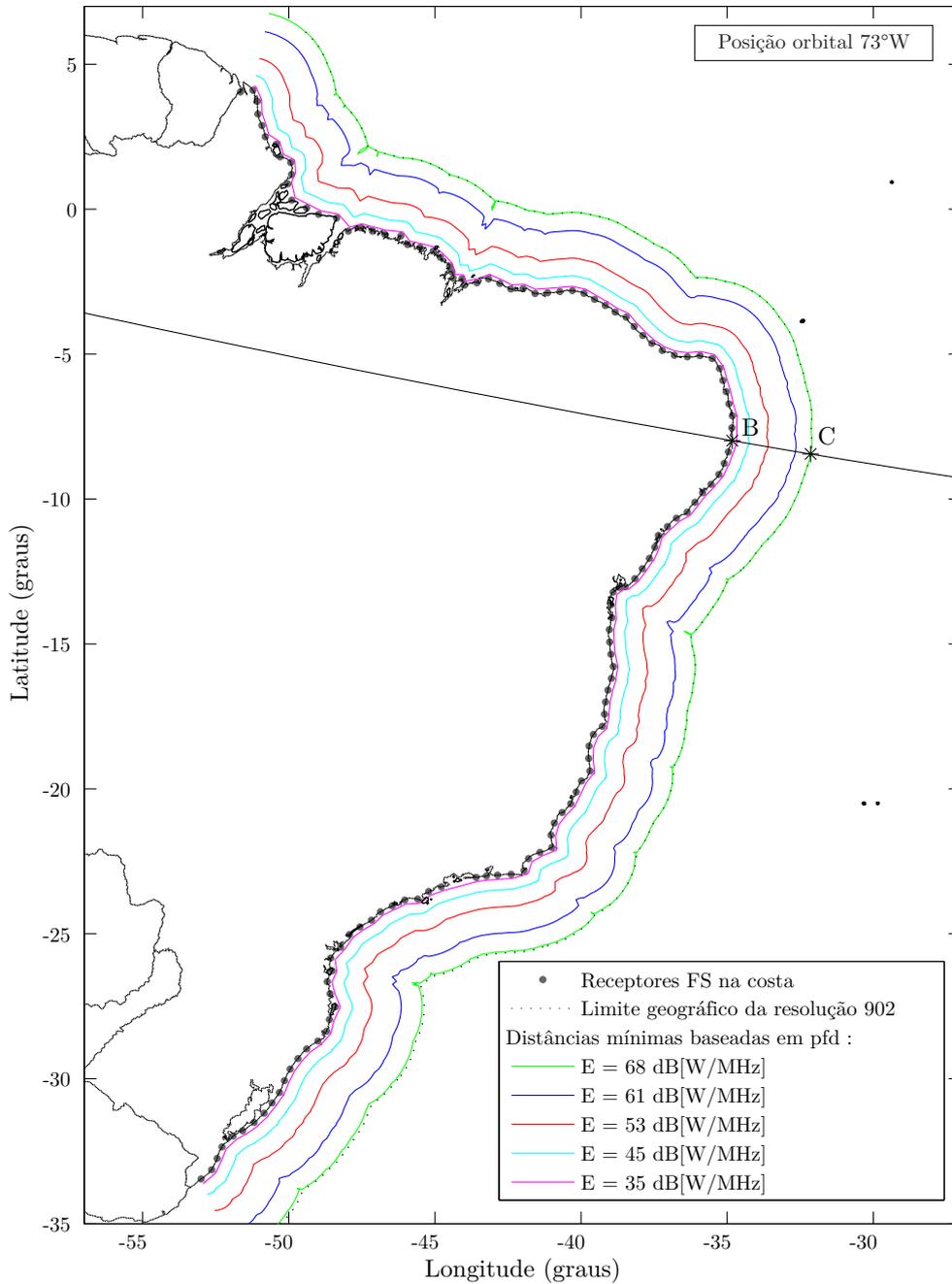


Figura 3.4: Limites geográficos baseados em pfd correspondentes a perdas de propagação de curto prazo. Posição orbital: 73°W, Ponto B: (34, 827°W;7, 986°S), Ponto C: (32, 147°W;8, 445°S).

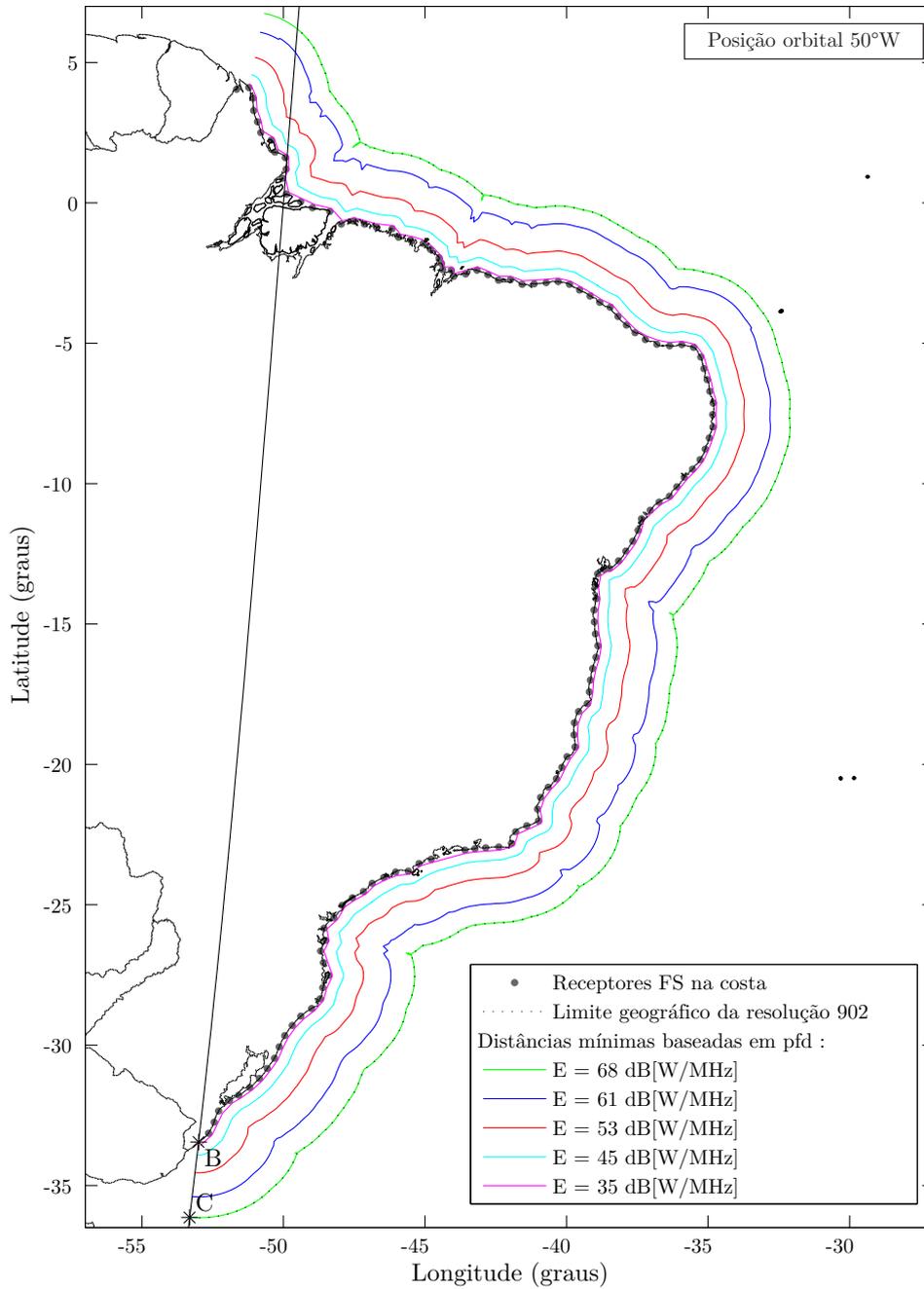


Figura 3.5: Limites geográficos baseados em pfd correspondentes a perdas de propagação de curto prazo. Posição orbital: 50°W, Ponto B: (52, 997°W;33, 455°S), Ponto C: (53, 317°W;36, 138°S).

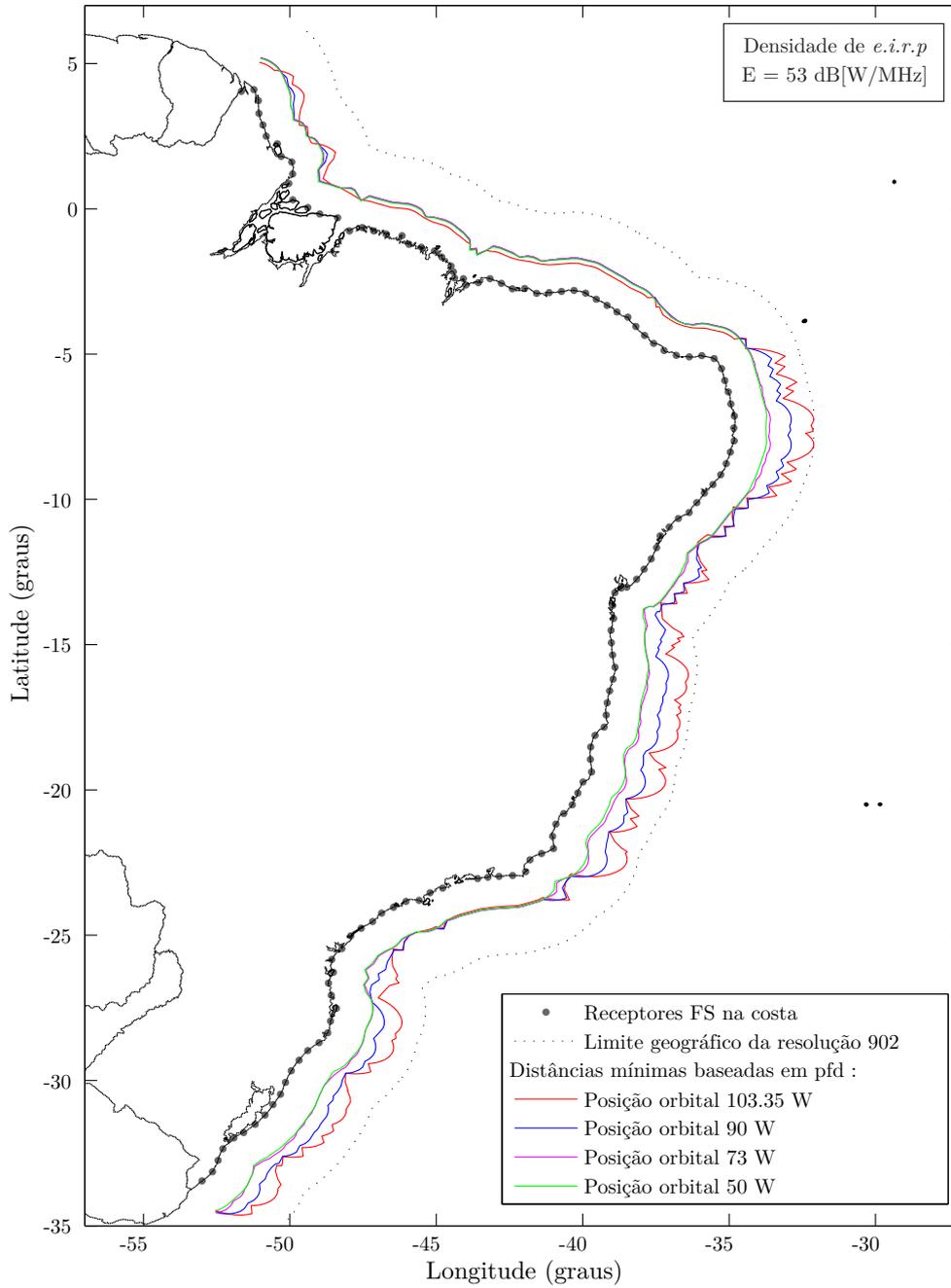


Figura 3.6: Limites geográficos baseados em pfd correspondentes a perdas de propagação de curto prazo. Densidade de *e.i.r.p* = 53 dB[W/MHz]

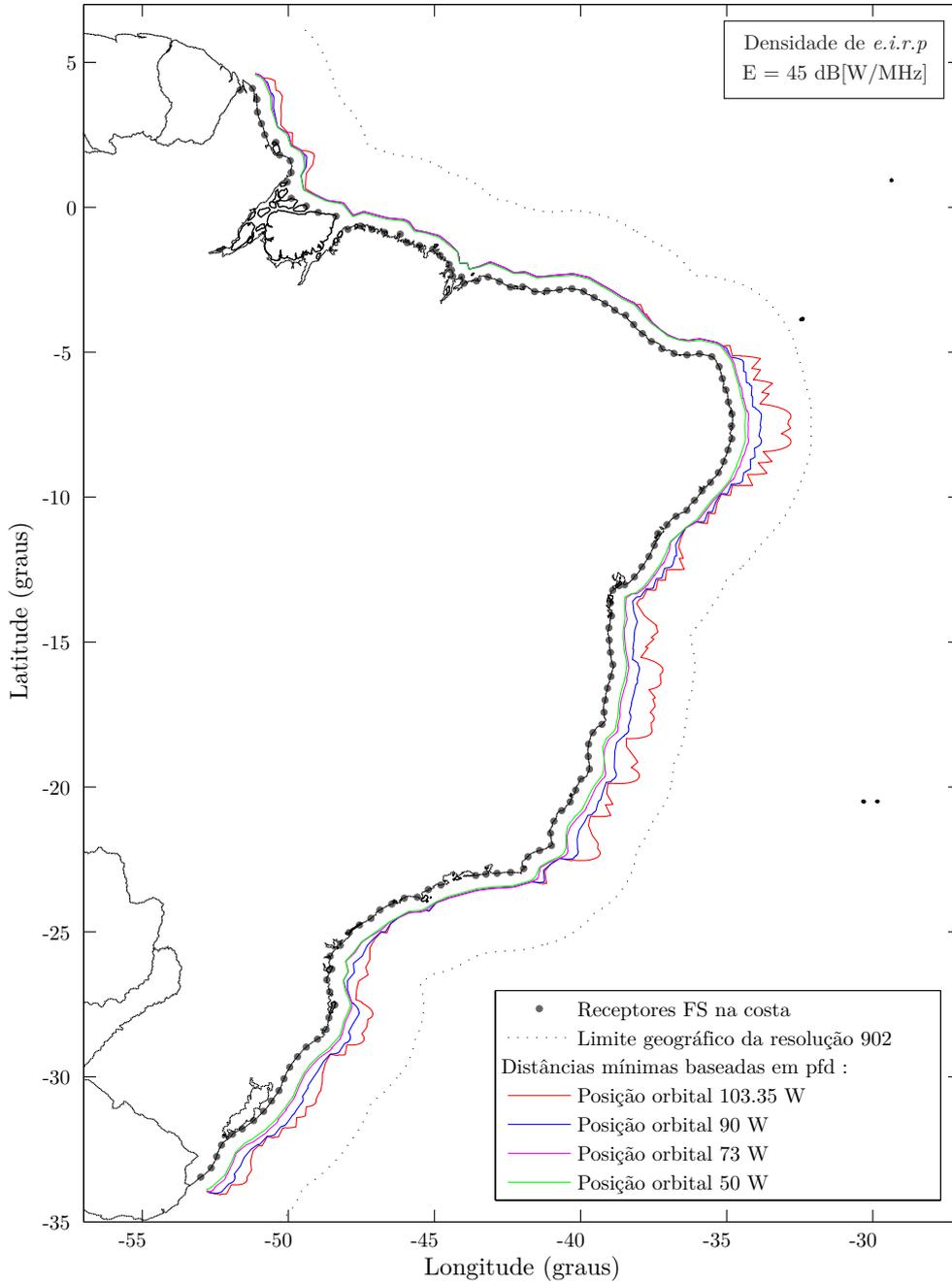


Figura 3.7: Limites geográficos baseados em pfd correspondentes a perdas de propagação de curto prazo. Densidade de *e.i.r.p* = 45 dB[W/MHz]

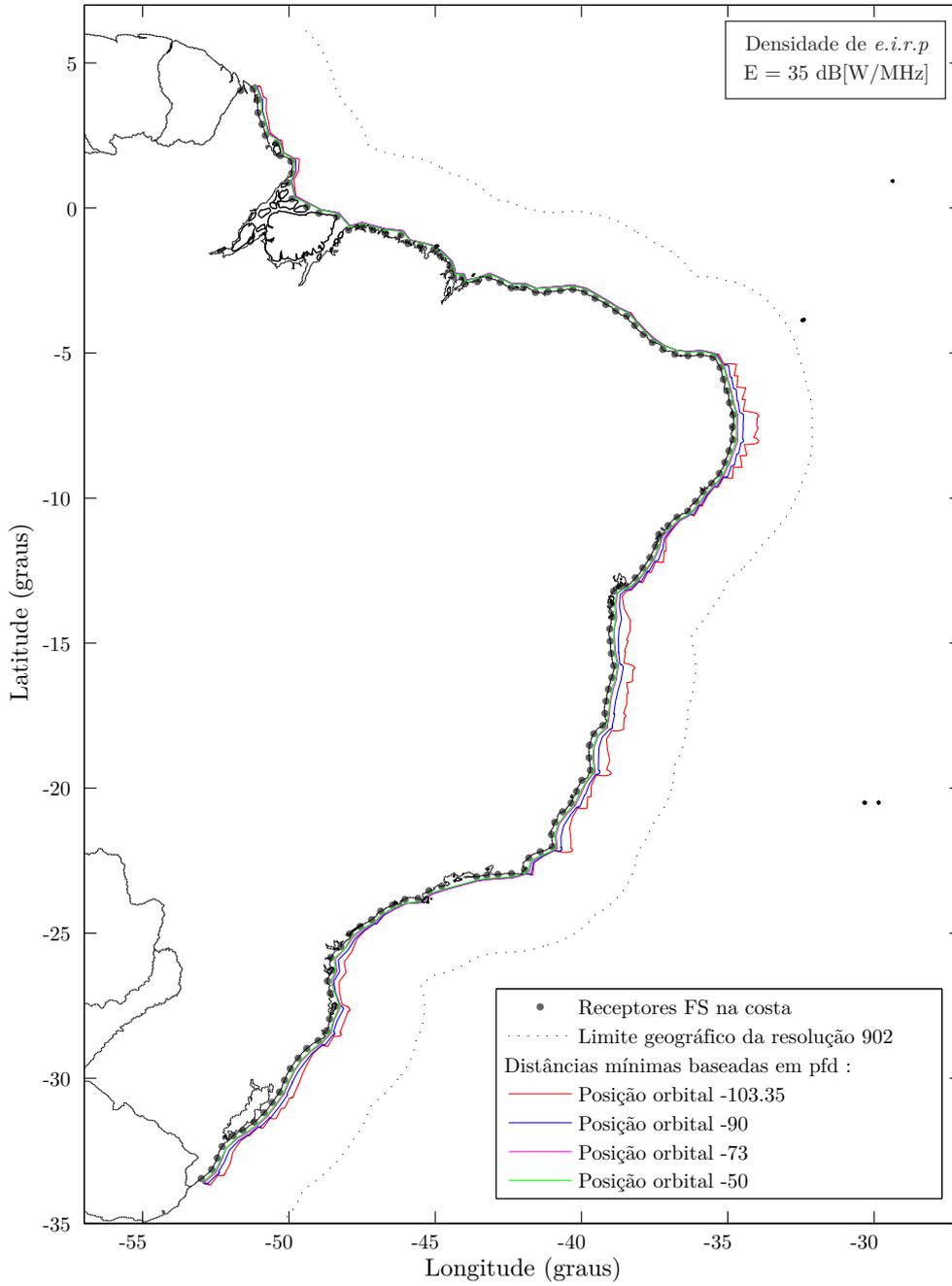


Figura 3.8: Limites geográficos baseados em pfd correspondentes a perdas de propagação de curto prazo. Densidade de *e.i.r.p* =  $35 \text{ dB[W/MHz]}$

### 3.1.2

#### Análise de longo prazo ( $p=20,0\%$ )

Nesta seção são apresentados os resultados correspondentes ao caso de ESVs operando na Banda C correspondentes a perdas de propagação de longo prazo para o sinal transmitido pela ESV (percurso ESV-receptor FS). Os passos 6 a 7 descritos no início do Capítulo 3 resultaram nos valores de 53 dB[W/MHz] para a densidade de *e.i.r.p.* ( $E$ ) transmitida pela ESV na direção do satélite e de  $-141,65$  dB[W/(MHz m<sup>2</sup>)] para o nível de referência  $PF_{D_{ref}}$  da densidade de fluxo de potência atingindo o receptor FS (valor de densidade de fluxo de potência excedido com probabilidade 0,2).

O Passo 8 conduziu às *distâncias mínimas baseadas em pfd* apresentadas na Figura 3.9. Nesta figura, estão indicadas as *distâncias mínimas baseadas em pfd* para ESVs transmitindo densidades de *e.i.r.p.* iguais a 53, 45 e 35 dB[W/MHz] na direção de um satélite na posição orbital 103,35°W. Elas indicam as distâncias mínimas à costa brasileira em que uma ESV pode operar sem que o valor  $PF_{D_p}$  da densidade de fluxo de potência que é excedido com probabilidade 0,2 seja superior a  $-141,65$  dB[W/(MHz m<sup>2</sup>)].

Como na Seção 3.1.1 foram também determinadas as *distâncias mínimas baseadas em pfd* para ESVs operando com satélites em posições orbitais mais a leste de 103,35°W. Assim, as figuras 3.10, 3.11 e 3.12 apresentam curvas análogas àquelas da Figura 3.9, para as posições orbitais 90°W, 73°W e 50°W, respectivamente.

O comportamento das *distâncias mínimas baseadas em pfd* com a variação da posição orbital do satélite utilizado pela ESV pode ser avaliado observando-se as curvas da Figura 3.13. Nesta figura são apresentadas as curvas correspondentes a estas distâncias, para uma ESV transmitindo uma densidade de *e.i.r.p.*  $E=53$  dB[W/MHz] na direção de satélites com posições orbitais (103,35°W), (90°W), (73°W) e (50°W). Note que, como no caso de perdas de curto prazo, para satélites em posições orbitais mais a este do que 73°W, as *distâncias mínimas baseadas em pfd* não variam (as curvas correspondentes às posições orbitais 73°W e 50°W são praticamente as mesmas). Novamente, isto ocorre porque para ESVs utilizando satélites nestas posições, o ângulo  $\phi$  entre a direção do satélite e a direção do receptor FS é sempre maior do que 48° e, neste caso, o ganho da antena transmissora da ESV na direção do receptor FS é sempre igual a  $-10$  dBi (ver Recomendação ITU-R S.465 [12]). Curvas análogas às da Figura 3.13 são apresentadas nas figuras 3.14 e 3.15 para diferentes valores de  $E$ .

A título de comparação, a Figura 3.16 contém as *distância mínimas baseadas em pfd* correspondentes às perdas de propagação de curto e longo

prazos para  $E = 53 \text{ dB}[W/\text{MHz}]$  e um satélite na posição orbital  $103, 35^\circ\text{W}$ . Note que a curva correspondente à perda de propagação de curto prazo define o limite geográfico da região marítima na qual uma ESV transmitindo na direção de um satélite na posição orbital  $103, 35^\circ\text{W}$  pode operar sem violar a condição de curto prazo dada por

$$PFD_{0,00779} < -106, 2 \text{ dB}[W/(\text{MHz } m^2)] \quad (3-1)$$

ou, equivalentemente, a condição

$$CDF_{PFD}(-106, 2) < 0, 000779 \quad (3-2)$$

Do mesmo modo a curva correspondente à perda de propagação de longo prazo define o limite geográfico da região marítima na qual uma ESV transmitindo na direção de um satélite na posição orbital  $103, 35^\circ\text{W}$  pode operar sem violar a condição de curto prazo dada por

$$PFD_{20} < -141, 65 \text{ dB}[W/(\text{MHz } m^2)] \quad (3-3)$$

ou, equivalentemente, a condição

$$CDF_{PFD}(-141, 65) < 0, 2 \quad (3-4)$$

A região marítima na qual a ESV pode operar de modo que tanto a condição de curto prazo (3-1) ou (3-2) quanto a de longo prazo (3-3) ou (3-4) sejam satisfeitas é obtida pela envoltória das duas curvas (maiores distâncias à costa), situação também ilustrada na Figura 3.16.

Para um maior esclarecimento, a Figura 3.17 apresenta curvas que ilustram funções distribuição cumulativas de probabilidade da densidade de fluxo de potência que, no caso de Banda C, satisfazem às duas condições (curto prazo e longo prazo) ou apenas à uma delas.

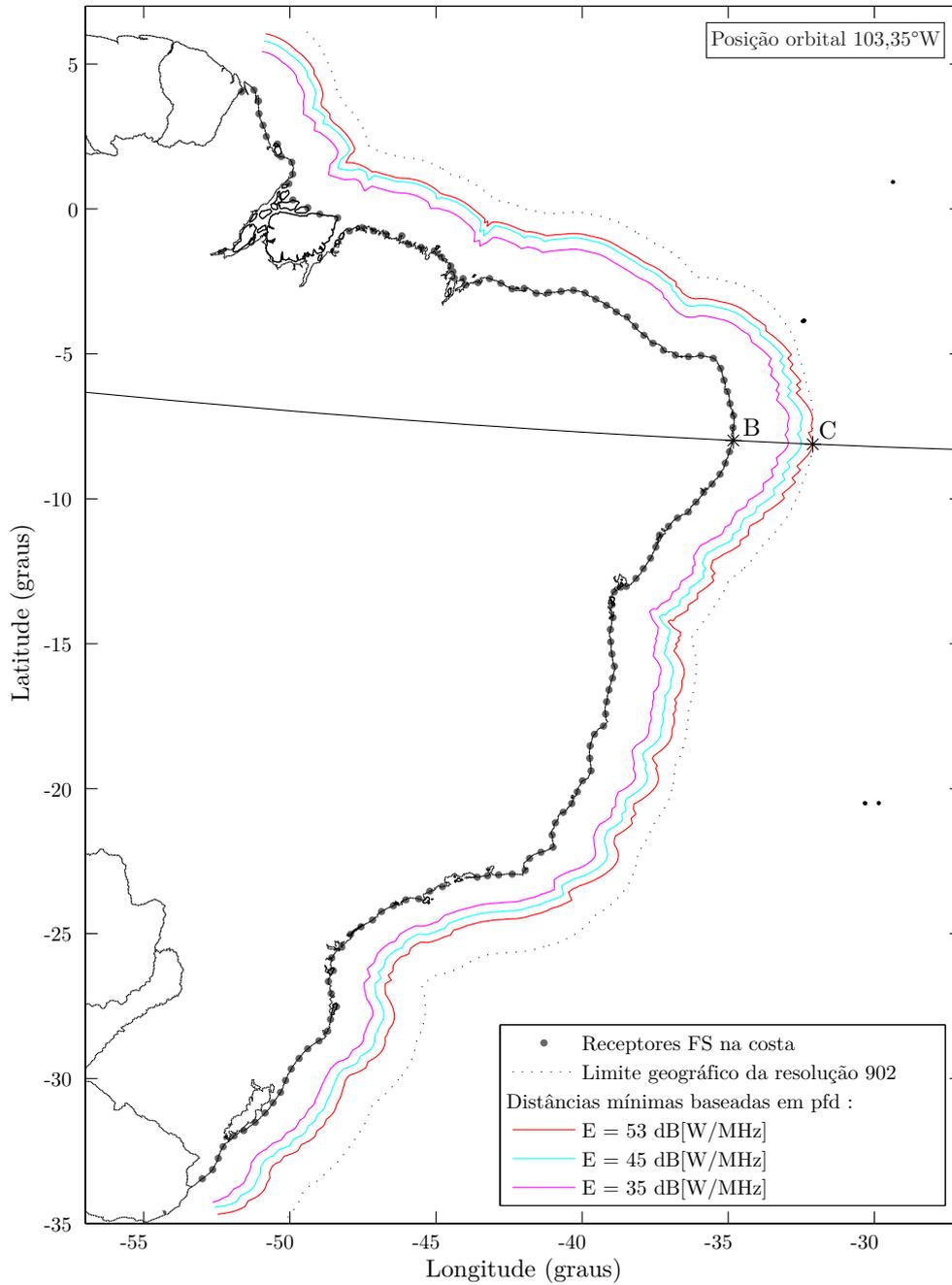


Figura 3.9: Limites geográficos baseados em pfd correspondentes a perdas de propagação de longo prazo. Posição orbital: 103,35°W, Ponto B: (34,827°W;7,986°S), Ponto C: (32,108°W;8,118°S).

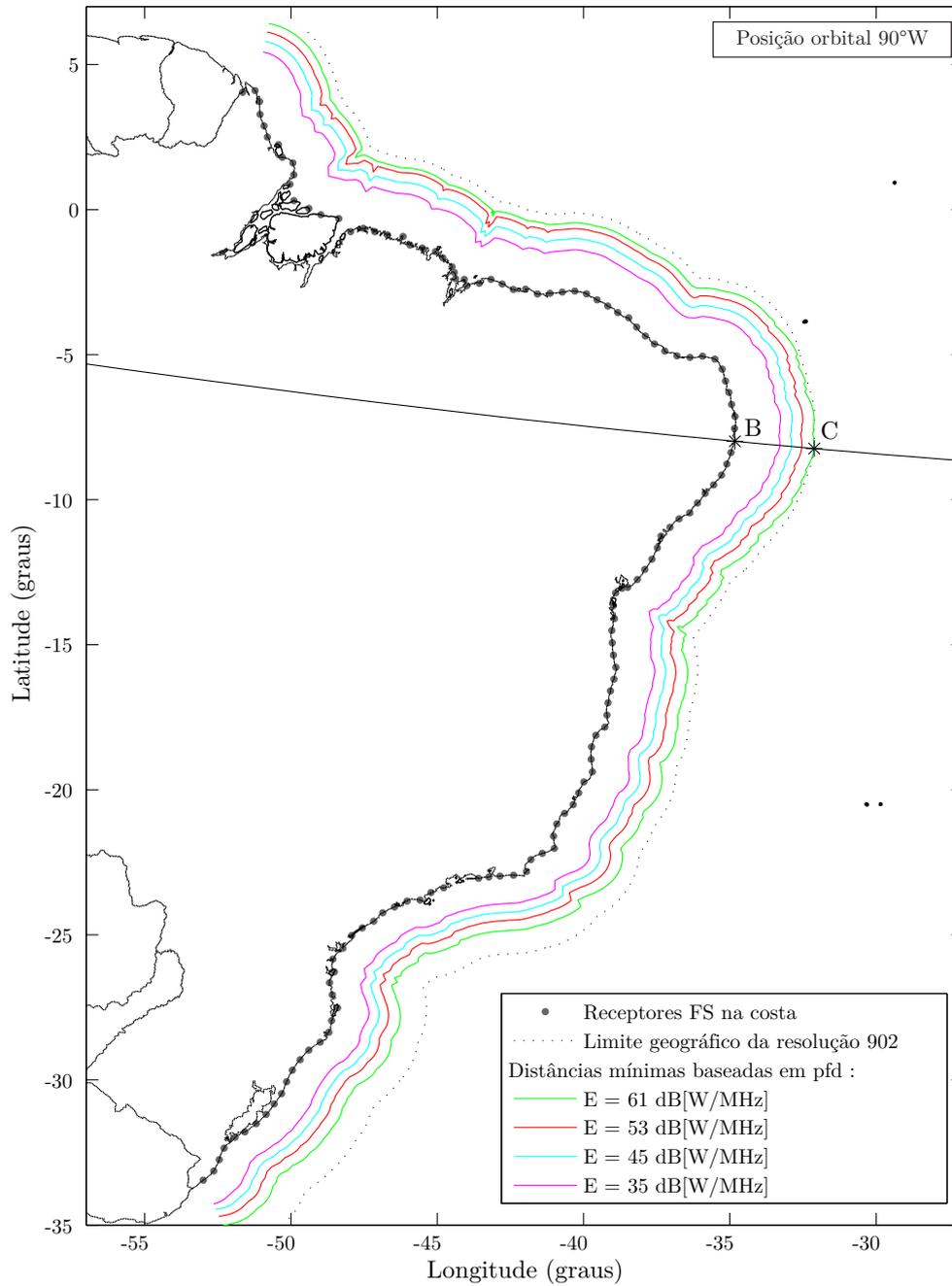


Figura 3.10: Limites geográficos baseados em pfd correspondentes a perdas de propagação de longo prazo. Posição orbital: 90°W, Ponto B: (34, 827°W; 7, 986°S), Ponto C: (32, 116°W; 8, 235°S).

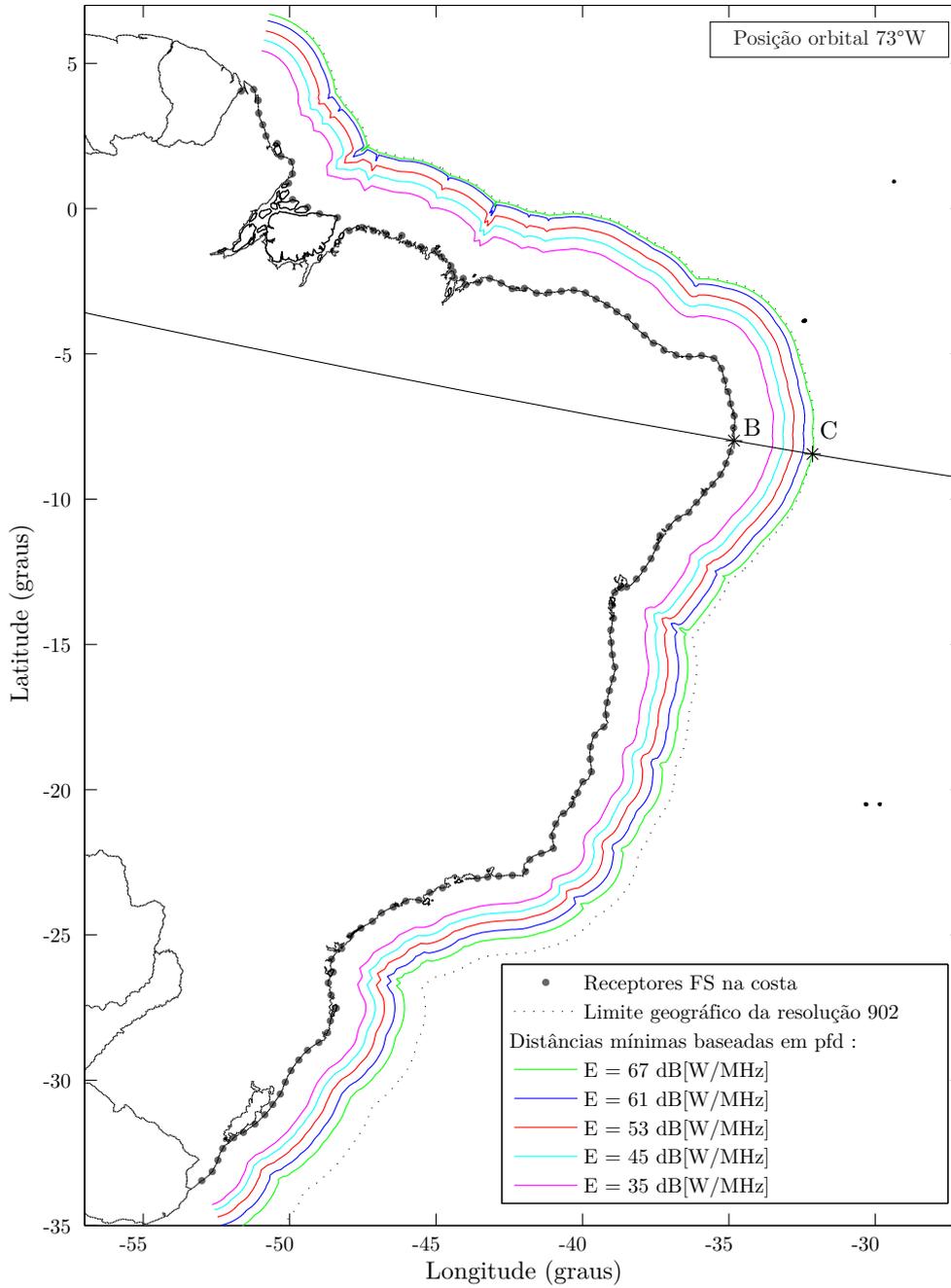


Figura 3.11: Limites geográficos baseados em pfd correspondentes a perdas de propagação de longo prazo. Posição orbital: 73°W, Ponto B: (34, 827°W; 7, 986°S), Ponto C: (32, 143°W; 8, 445°S).

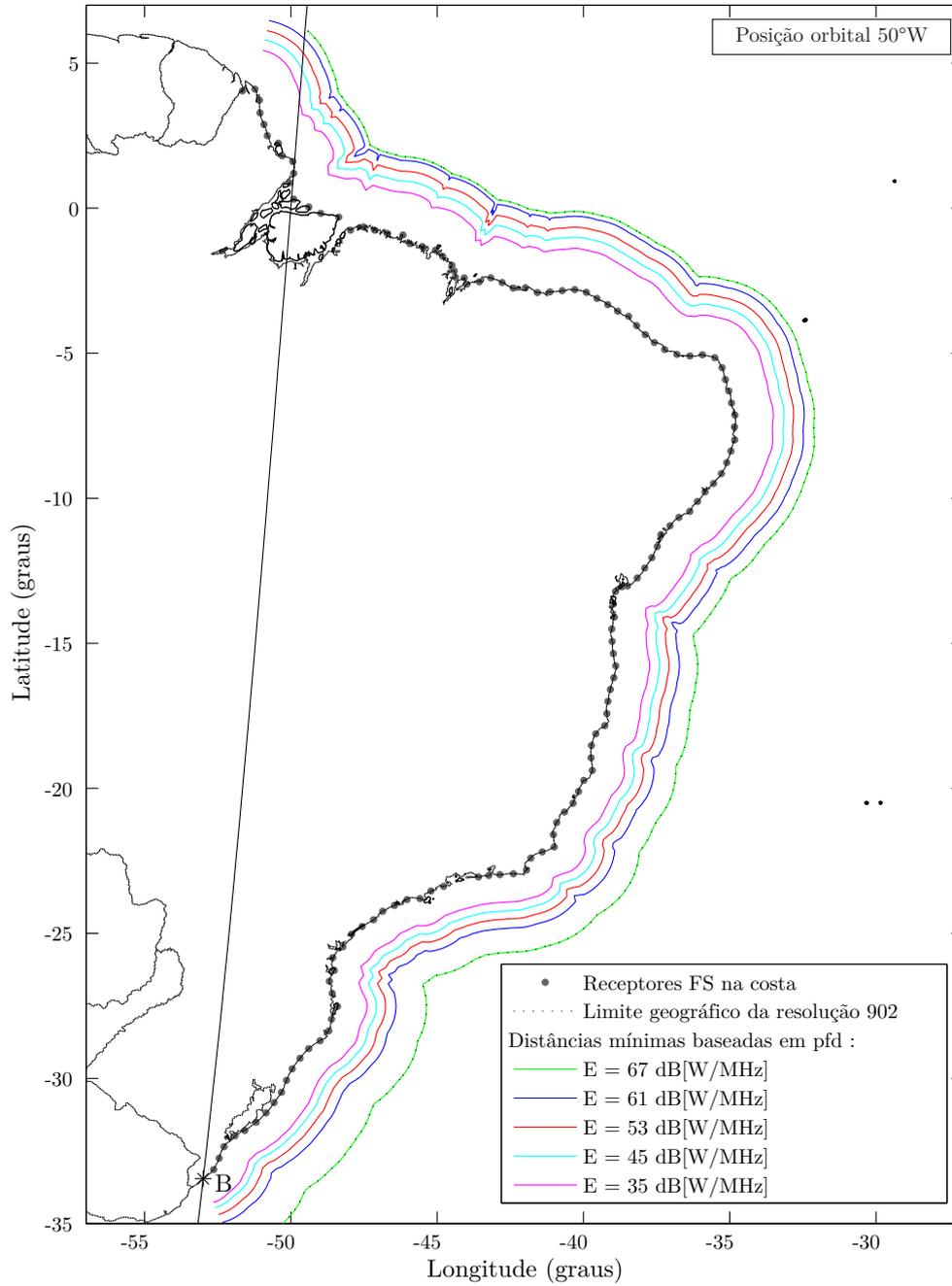


Figura 3.12: Limites geográficos baseados em pfd correspondentes a perdas de propagação de longo prazo. Posição orbital: 50°W, Ponto B: (52, 997°W;33, 455°S), Ponto C: (53, 317°W;36, 138°S).

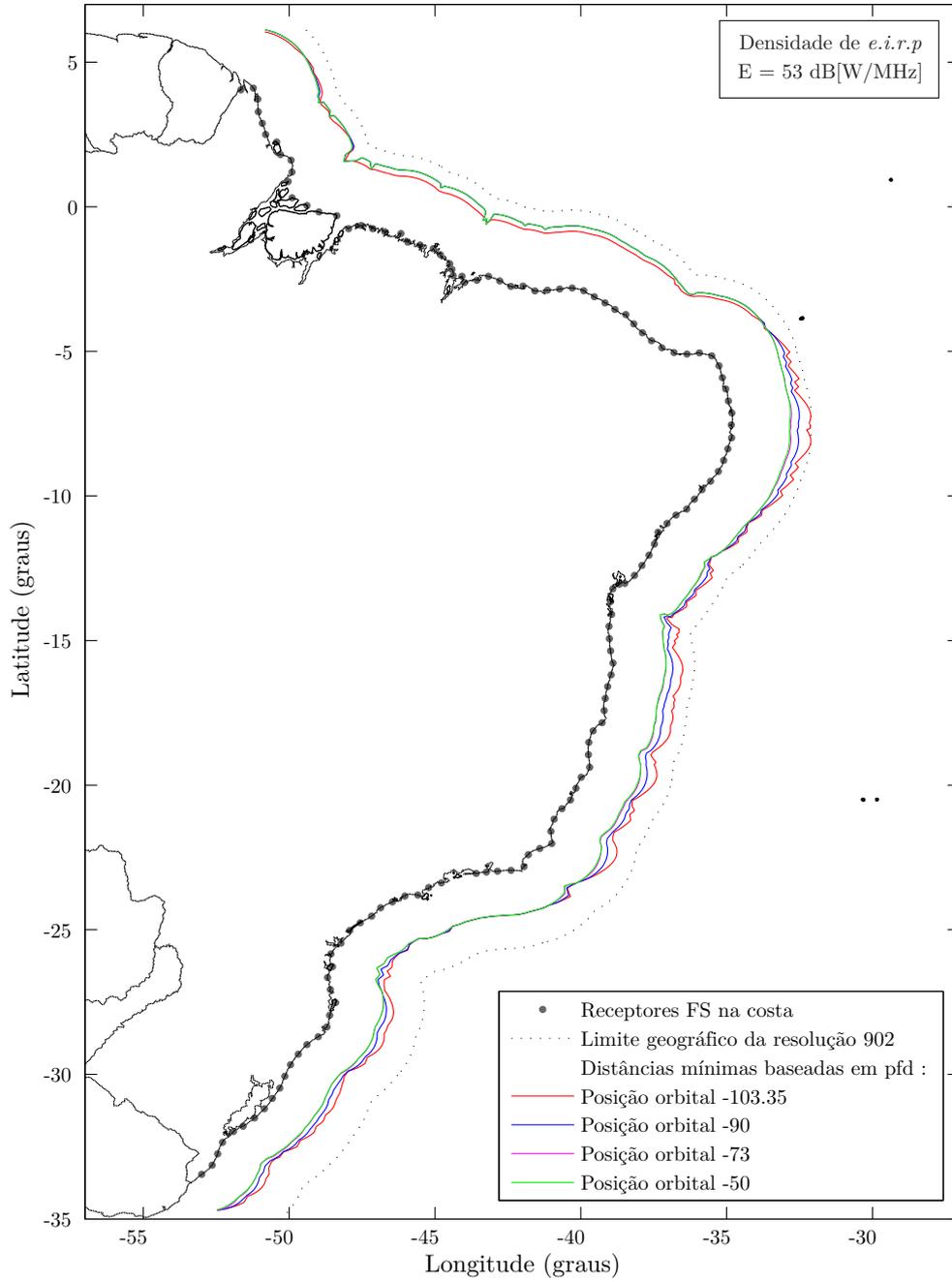


Figura 3.13: Limites geográficos baseados em pfd correspondentes a perdas de propagação de longo prazo. Densidade de *e.i.r.p* = 53 dB[W/MHz]

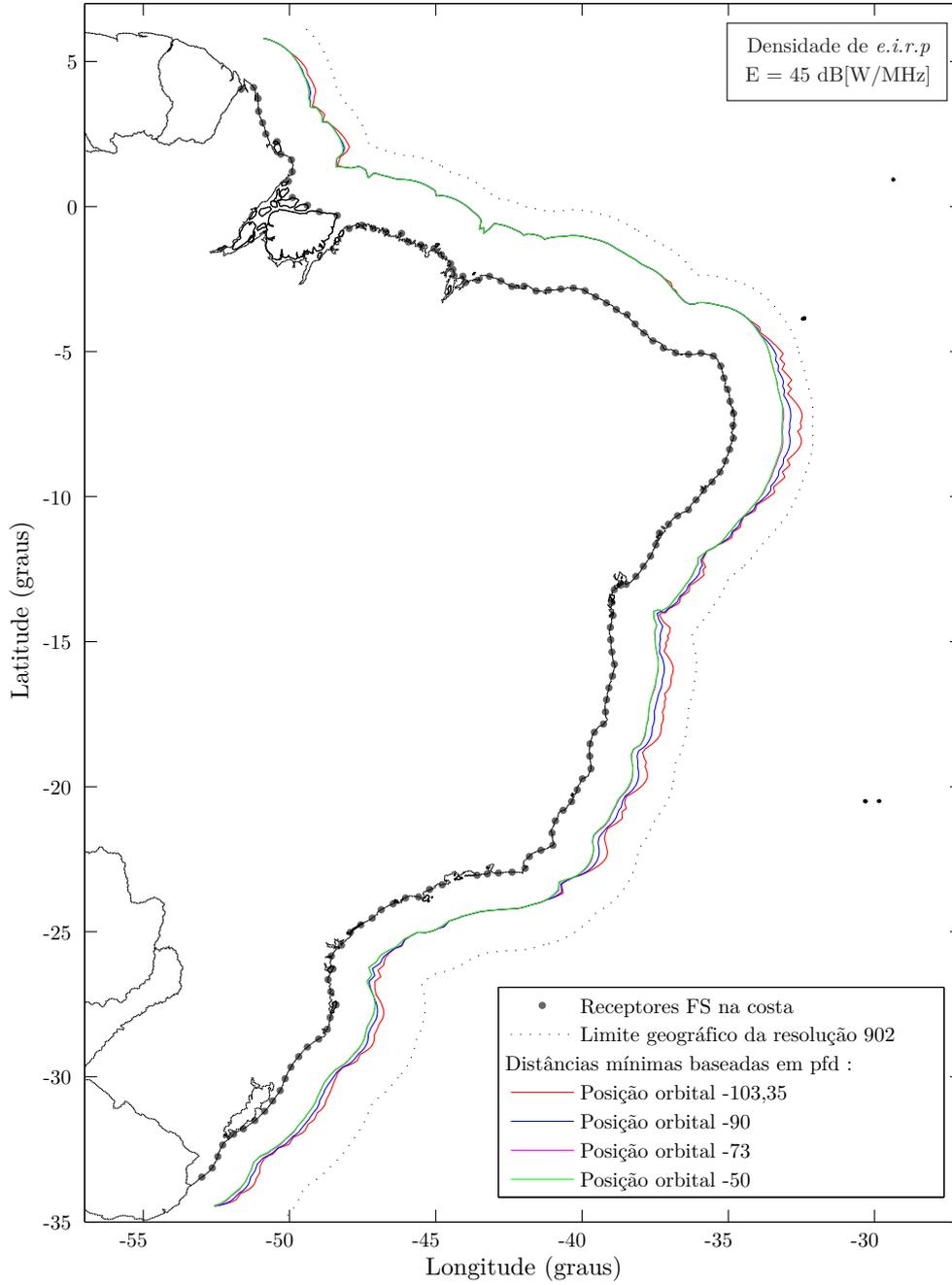


Figura 3.14: Limites geográficos baseados em pfd correspondentes a perdas de propagação de longo prazo. Densidade de *e.i.r.p* = 45 dB[W/MHz]

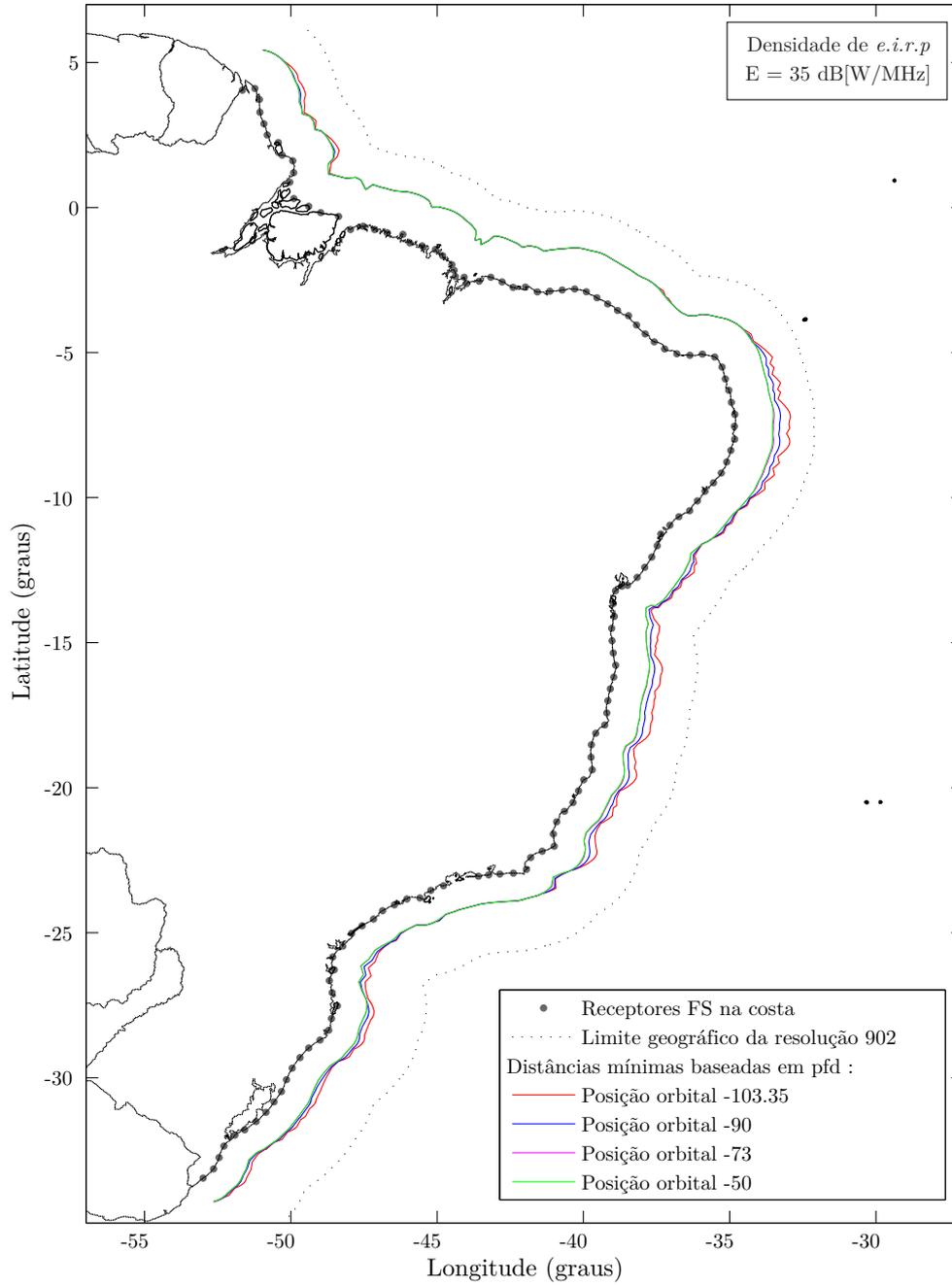


Figura 3.15: Limites geográficos baseados em pfd correspondentes a perdas de propagação de longo prazo. Densidade de *e.i.r.p* = 35 dB[W/MHz]

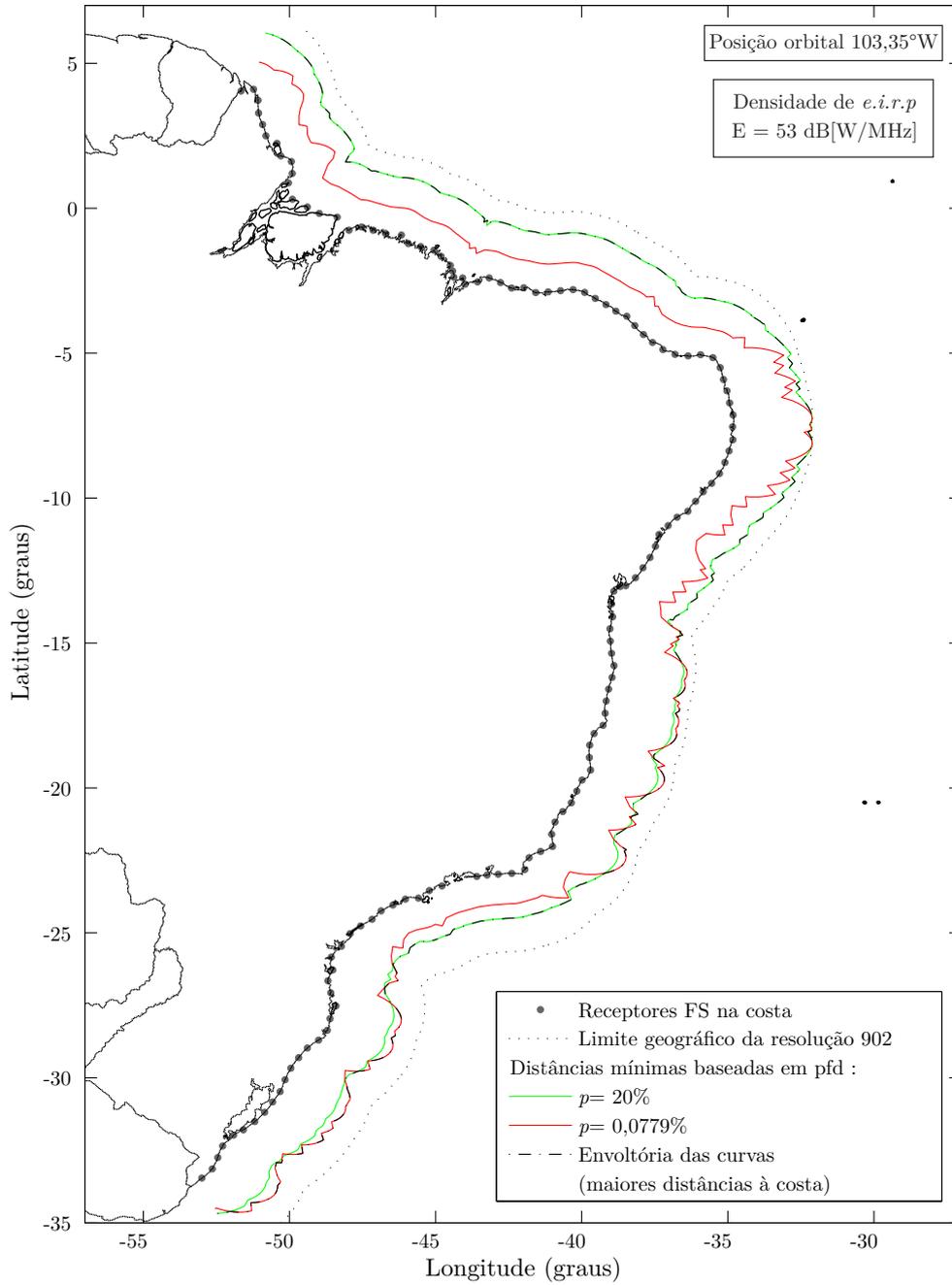


Figura 3.16: Limites geográficos baseados em pfd correspondentes a perdas de propagação de longo e curto prazo. Densidade de *e.i.r.p* = 53 dB[W/MHz] e posição orbital de 103, 35°W.

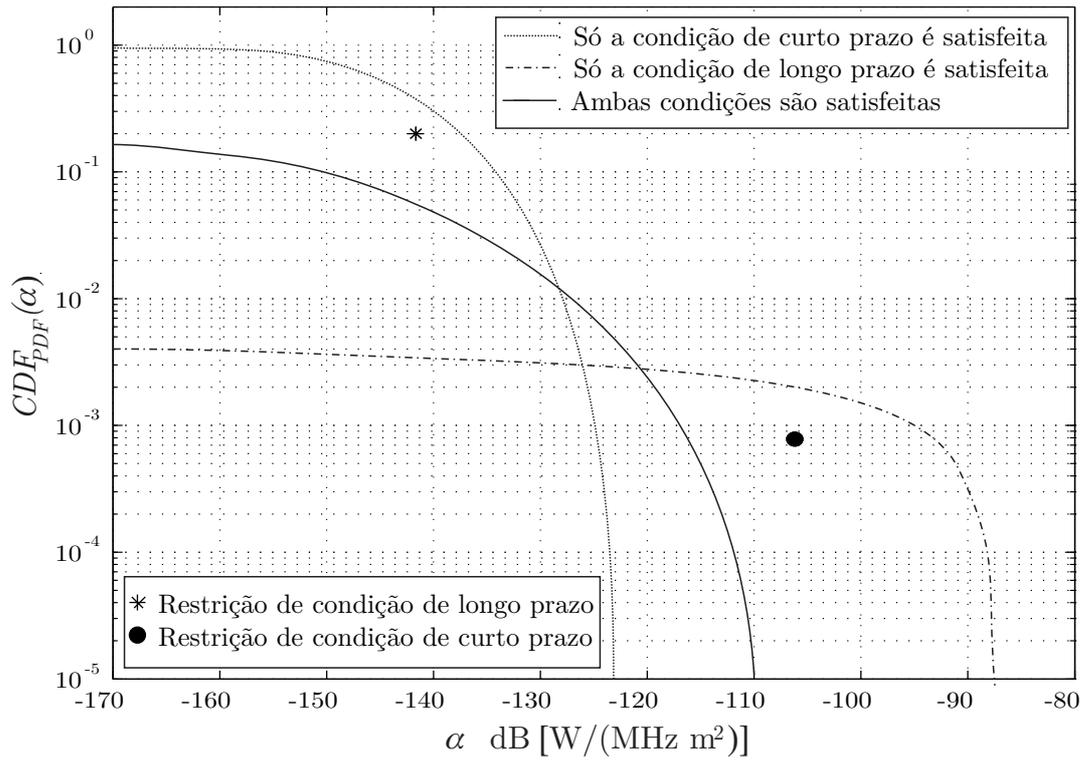


Figura 3.17: Ilustração da condição (2-22) para dois valores de  $p$  (curto prazo  $p/100 = 0.000779$  e longo prazo  $p/100 = 0.02$ ) correspondentes ao caso de ESVs operando na Banda C.

## 3.2

**Distâncias mínimas para ESVs operando na Banda Ku (14-14,5 GHz)**

Nesta seção são apresentados os resultados correspondentes às *distâncias mínimas baseadas em pfd* ao longo da costa brasileira para ESVs operando na Banda Ku (14-14,5 GHz). Conforme ressaltado anteriormente, estas distâncias dependem, dentre outros parâmetros, da posição orbital do satélite utilizado pela ESV e do valor  $E$  da densidade de *e.i.r.p.* transmitida pela ESV em direção ao satélite. Os parâmetros básicos utilizados para sistemas operando nesta faixa de frequências são apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Parâmetros utilizados no cálculo da perda de propagação para Banda Ku

$f$ : frequência [GHz]	14,25
$d_{min}$ [km]	125
$d_{sep}$ [km]	50
$E_{h_{max}}$ [dB(W/MHz)]	12,5
Percentagem de tempo utilizada no cálculo da perda de propagação $L_p$ (curto prazo)	0.0779
Percentagem de tempo utilizada no cálculo da perda de propagação $L_p$ (longo prazo)	20
$h_{rg}$ : altura sobre o nível do mar dos receptores FS [m]	120
Diâmetro da antena transmissora da ESV [m]	1,2
$h_{tg}$ : altura sobre o nível do mar da ESV [m]	40

Inicialmente, foram executados os passos 1 a 5 descritos no início do Capítulo 3, resultando na posição orbital 104,95°W para o satélite, na posição geográfica (34,827°W;7,986°S) para o receptor FS (Ponto *B*) e na posição geográfica (33,694°W;8,043°S) para a ESV (Ponto *C*). Note que a posição orbital difere daquela utilizada inicialmente na análise da Banda C. Isto ocorre porque a fronteira determinada no Passo 1 para ESVs operando na Banda Ku difere daquela correspondente às ESVs operando na Banda C. Os passos 6 a 8 foram executados considerando-se tanto as perdas de propagação de curto prazo ( $p = 0,0779\%$ ) quanto para as de longo prazo ( $p = 20,0\%$ ). Os resultados correspondentes são apresentados nas seções 3.2.1 e 3.2.2.

### 3.2.1

#### Análise de curto prazo ( $p=0,0779\%$ )

No caso da Banda Ku e de perdas de propagação de curto prazo, os passos 6 a 7 descritos no início do Capítulo 3 resultaram nos valores  $47,7 \text{ dB[W/MHz]}$  e  $-98,52 \text{ dB[W/(MHz m}^2\text{)]}$  para a densidade de *e.i.r.p.* ( $E$ ) transmitida pela ESV na direção do satélite e para o nível de referência da densidade de fluxo de potência interferente atingindo o receptor FS ( $PDF_{ref}$ ).

O Passo 8 conduziu à determinação das *distâncias mínimas baseadas em pfd*, ou seja, a distância mínima da costa brasileira que uma ESV, que transmita uma densidade de *e.i.r.p.*  $47,7 \text{ dB[W/MHz]}$  na direção de um satélite na posição orbital  $104,95^\circ\text{W}$ , pode operar sem que o valor  $PDF_p$  da densidade de fluxo de potência que é excedido com probabilidade  $0,000779$  seja superior a  $-98,52 \text{ dB[W/(MHz m}^2\text{)]}$ .

Como no caso da Banda C, observe que ESVs que transmitem uma densidade de *e.i.r.p.* menor do que  $47,7 \text{ dB[W/MHz]}$  podem chegar mais perto da costa sem violar a condição  $PDF_p \leq -98,52 \text{ dB[W/(MHz m}^2\text{)]}$ . Assim, foram também calculadas as *distâncias mínimas baseadas em pfd* para estas ESVs. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 3.18.

De novo, considerou-se interessante determinar as *distâncias mínimas baseadas em pfd* para satélites operando em posições orbitais mais a este de  $104,95^\circ\text{W}$  (vistas pela ESV com ângulos de elevação maiores que  $10^\circ$ ). Assim, as figuras 3.19, 3.20 e 3.21 apresentam curvas análogas àquelas da Figura 3.18, para as posições orbitais  $90^\circ\text{W}$ ,  $73^\circ\text{W}$  e  $50^\circ\text{W}$ , respectivamente.

Na Figura 3.22 avalia-se o comportamento das *distâncias mínimas baseadas em pfd* com a variação da posição orbital do satélite utilizado pela ESV. O cenário apresentado corresponde a uma ESV transmitindo uma densidade de *e.i.r.p.*  $E=47,7 \text{ dB[W/MHz]}$  na direção de satélites com posições orbitais ( $104,95^\circ\text{W}$ ), ( $90^\circ\text{W}$ ), ( $73^\circ\text{W}$ ) e ( $50^\circ\text{W}$ ).

Mais uma vez é possível inferir que as *distâncias mínimas baseadas em pfd* para satélites operando em posições orbitais mais a este do que  $73^\circ\text{W}$ , não variam. Curvas análogas às da Figura 3.22 são apresentadas nas figuras 3.23 e 3.24 para diferentes valores de  $E$ .

O conjunto de resultados obtidos nesta seção possibilita diferenciar o quão próximo do litoral brasileiro uma ESV transmitindo uma determinada densidade de *e.i.r.p.* na direção de um satélite operando em uma dada posição orbital, pode chegar sem que gere uma interferência prejudicial, isto é, o valor da densidade de fluxo de potência atingindo um receptor FS localizado na costa (valor de pfd excedido durante  $p = 0,0779\%$  do tempo) seja superior ao valor de referência  $PDF_{ref}$ .

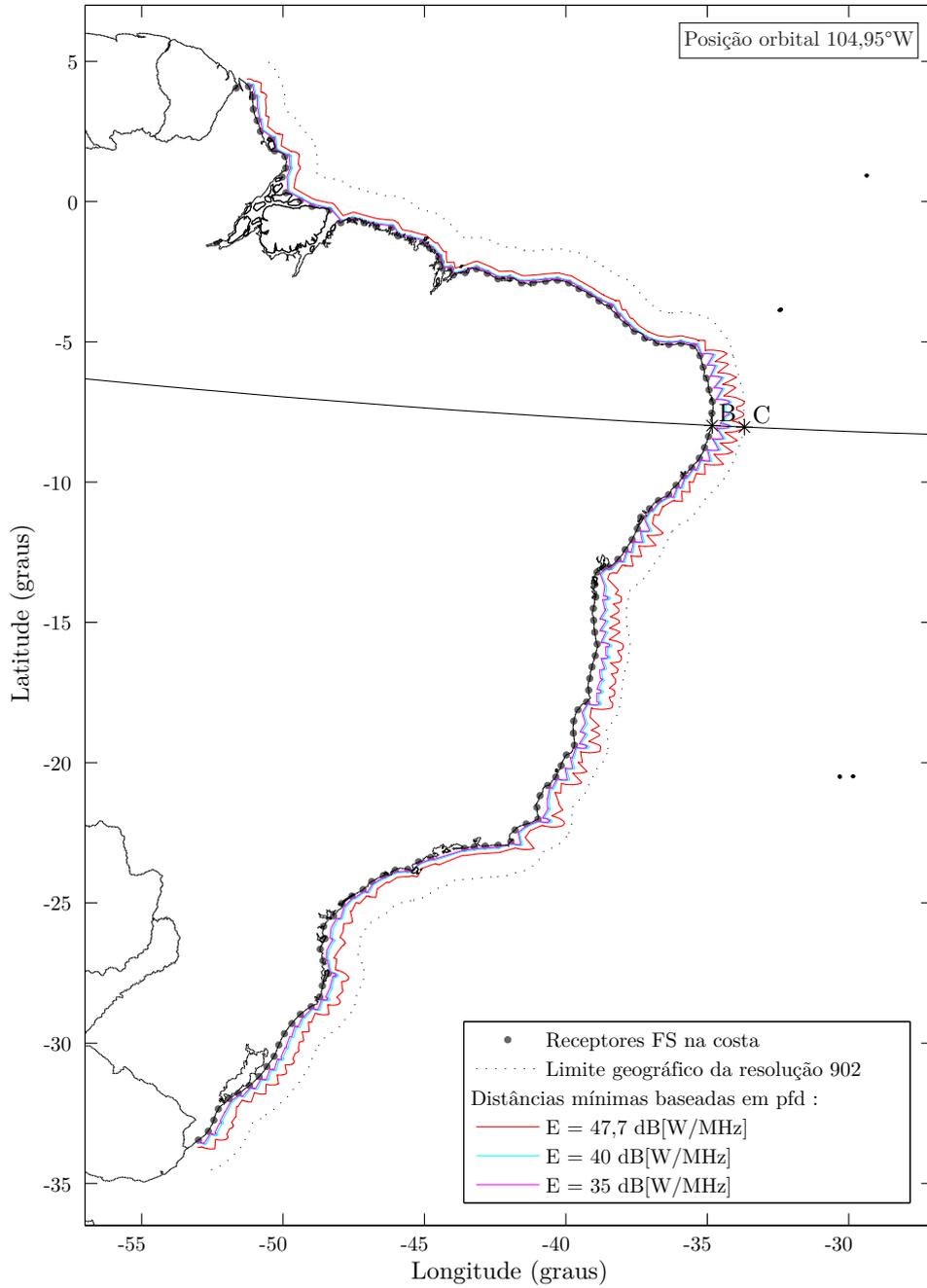


Figura 3.18: Limite geográfico baseado em pfd correspondente a perda de propagação de curto prazo. Posição orbital: 104,95°W, Ponto B: (34,827°W;7,986°S), Ponto C: (33,694°W;8,043°S).

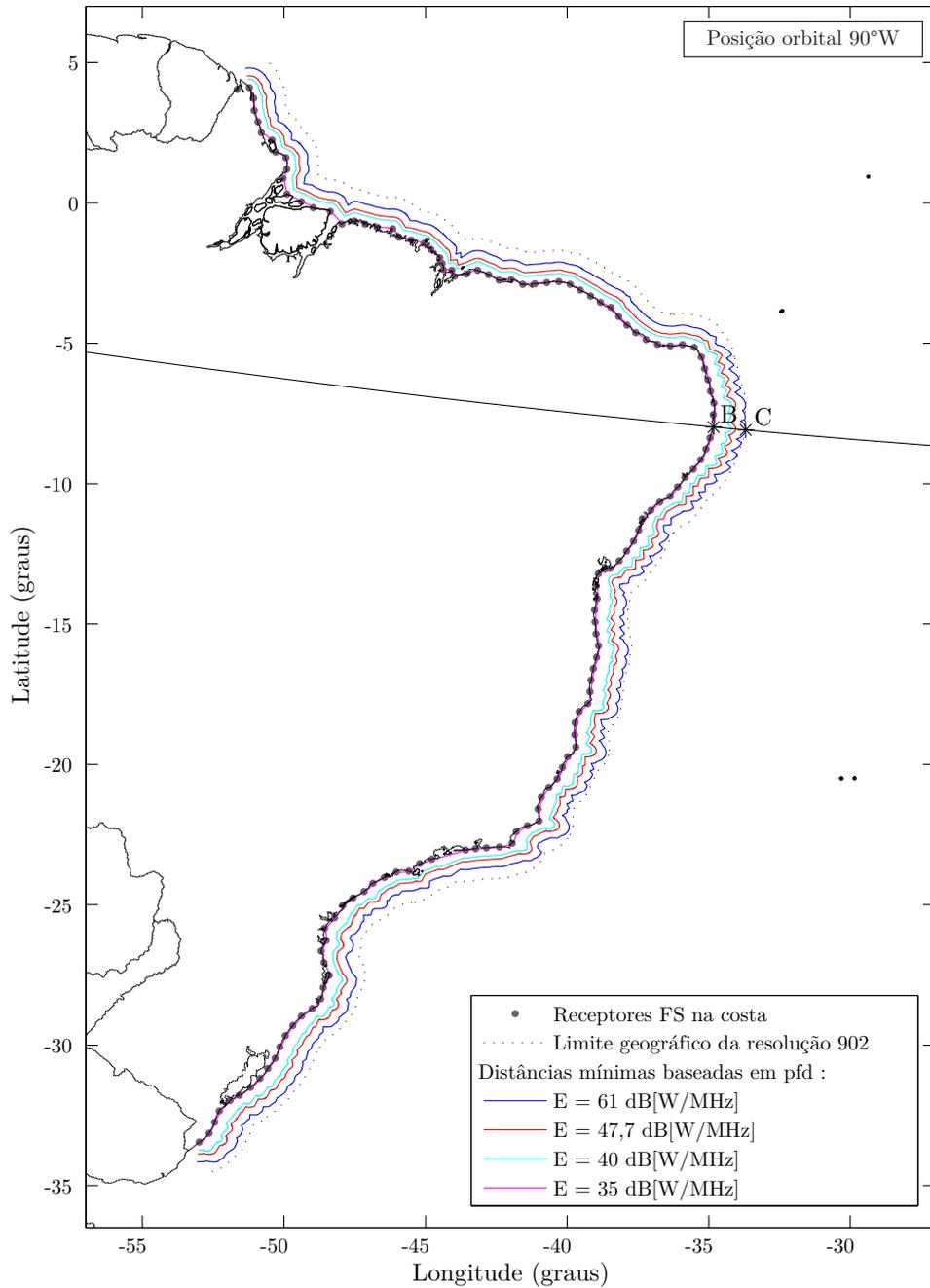


Figura 3.19: Limite geográfico baseado em pfd correspondente a perda de propagação de curto prazo. Posição orbital: 90°W, Ponto B: (34, 827°W;7, 986°S), Ponto C: (33, 697°W;8, 092°S).

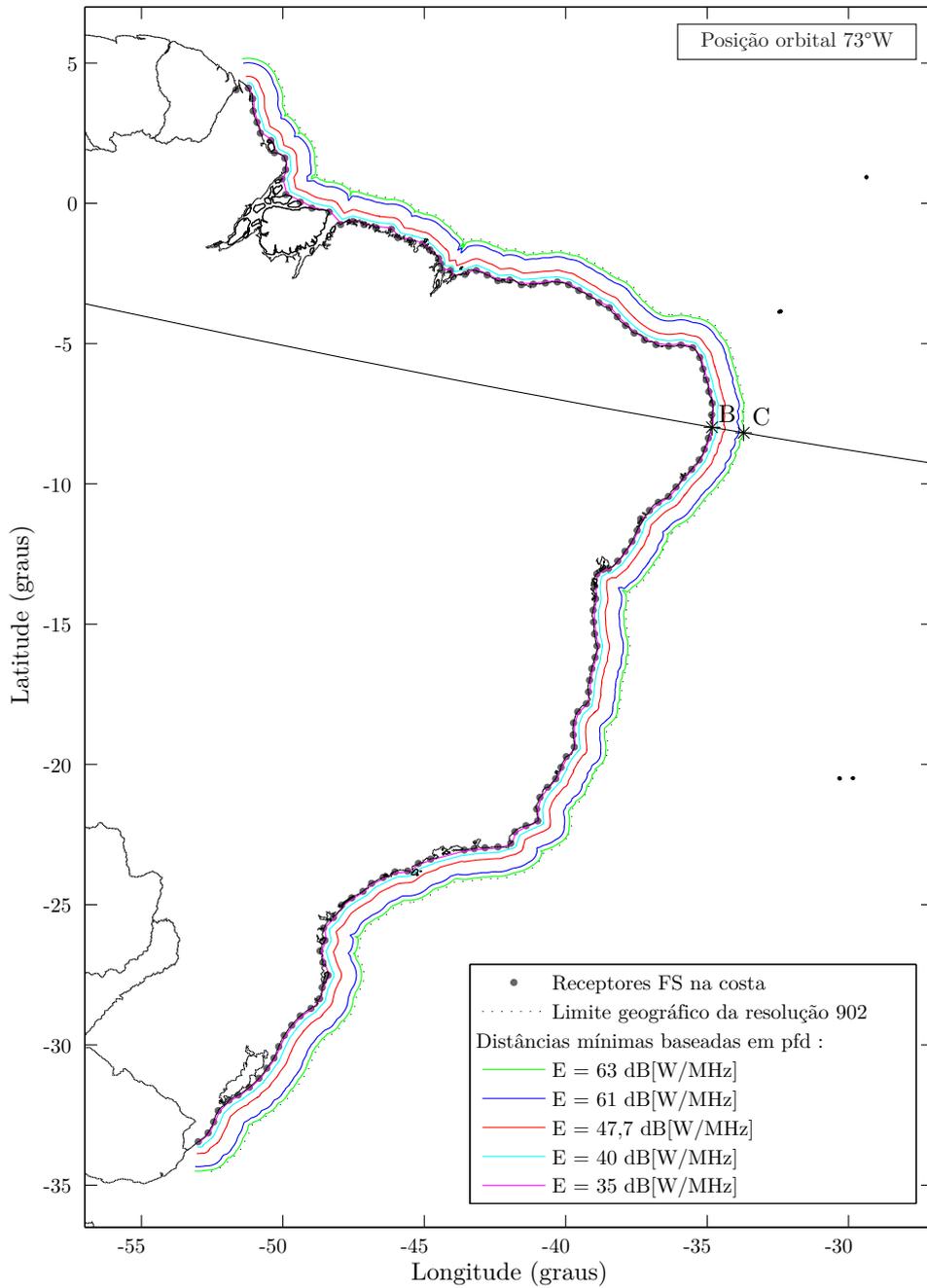


Figura 3.20: Limite geográfico baseado em pfd correspondente a perda de propagação de curto prazo. Posição orbital: 73°W, Ponto B: (34,827°W;7,986°S), Ponto C: (33,709°W;8,179°S).

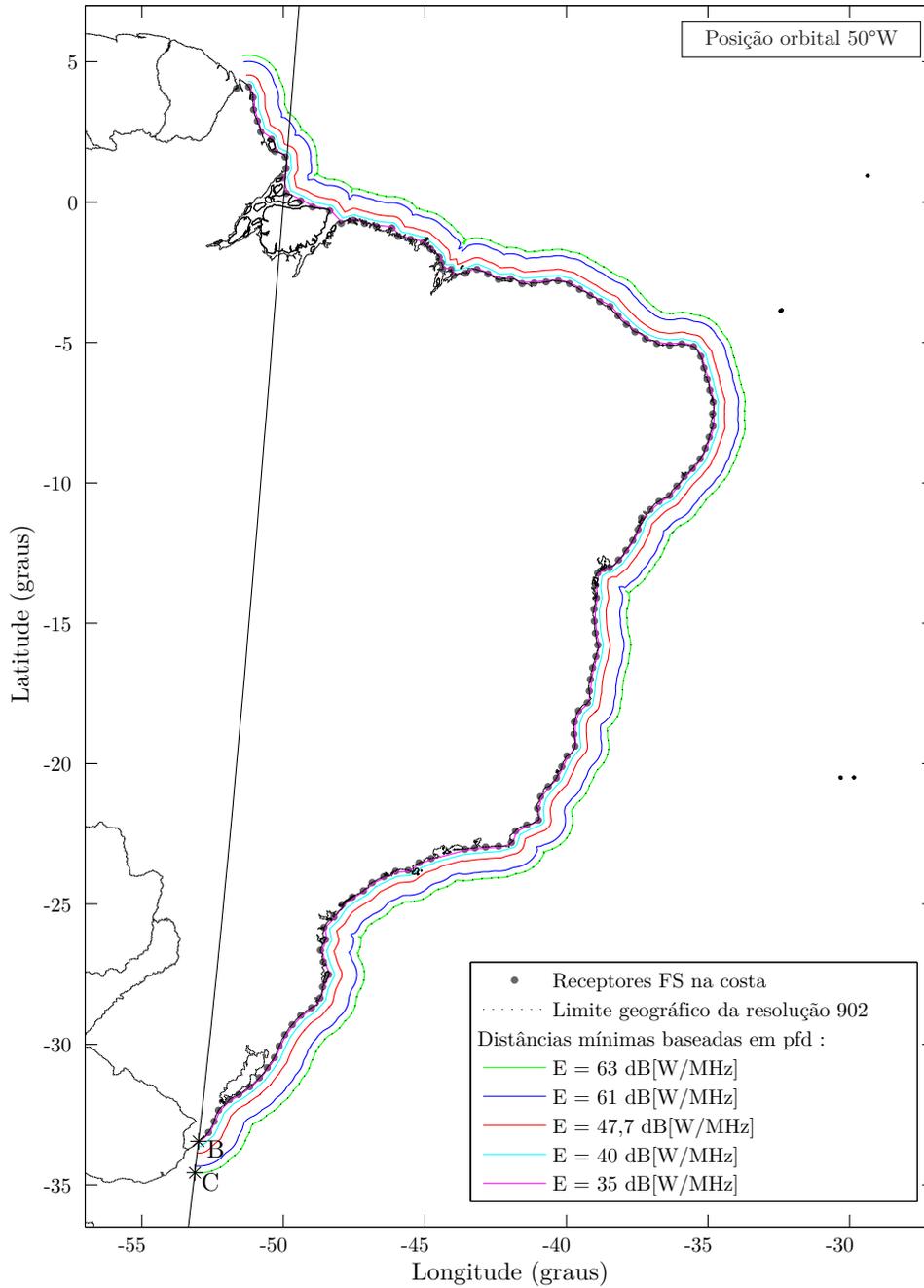


Figura 3.21: Limite geográfico baseado em pfd correspondente a perda de propagação de curto prazo. Posição orbital: 50°W, Ponto B: (52,997°W;33,455°S), Ponto C: (53,128°W;34,574°S).

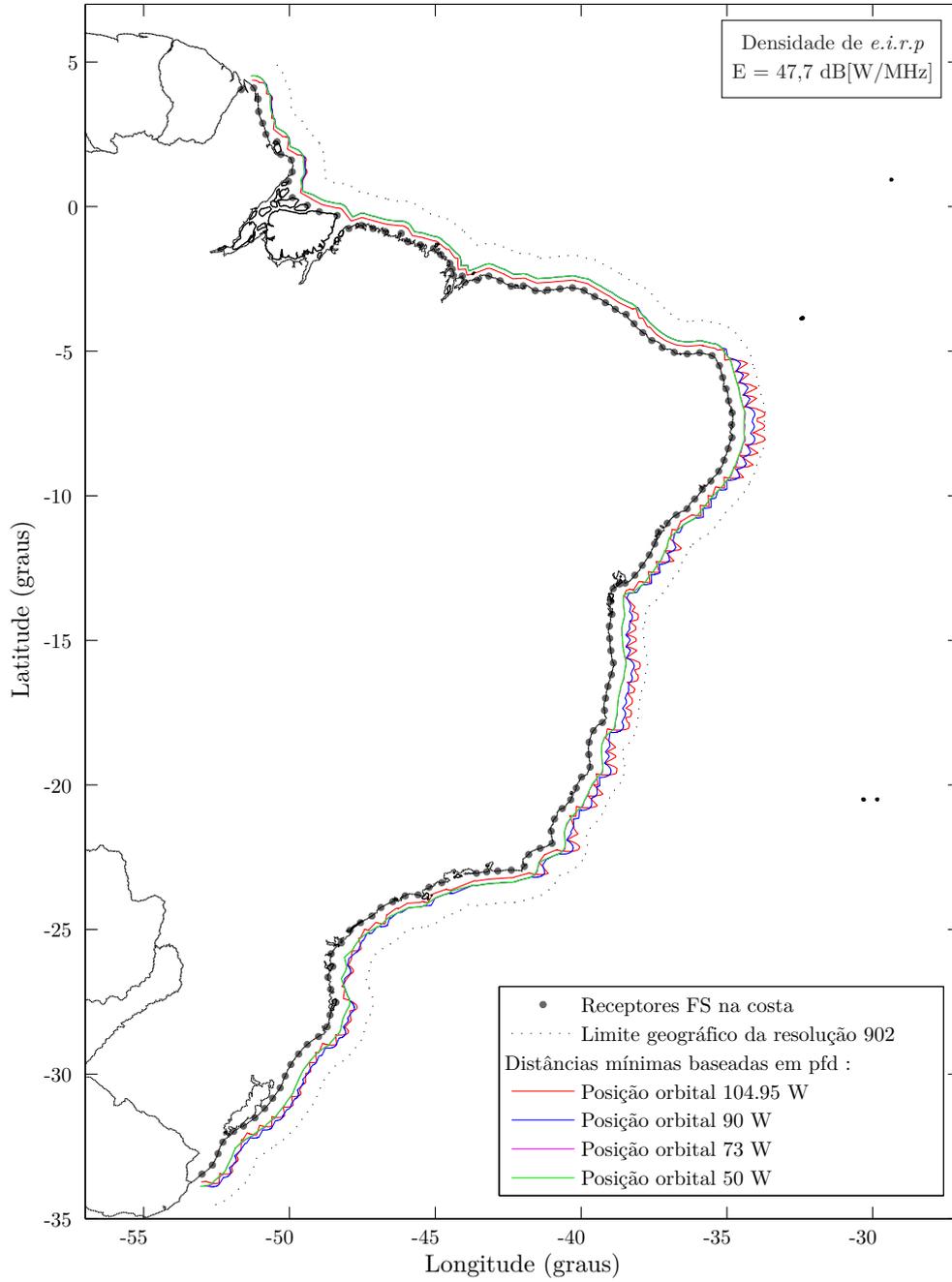


Figura 3.22: Limites geográficos baseados em pfd correspondentes a perdas de propagação de curto prazo. Densidade de *e.i.r.p* = 47,7 dB[W/MHz]

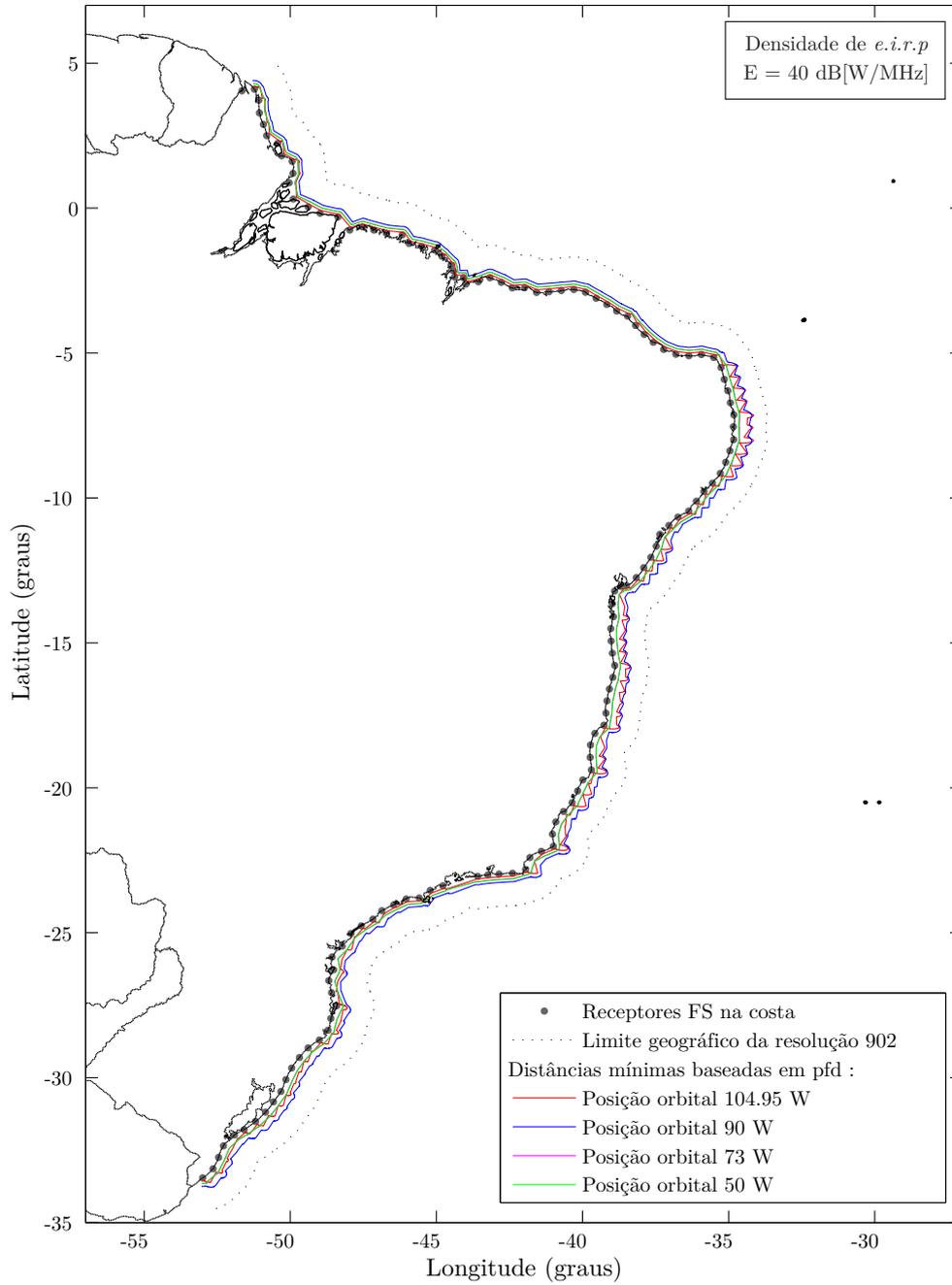


Figura 3.23: Limites geográficos baseados em pfd correspondentes a perdas de propagação de curto prazo. Densidade de *e.i.r.p* = 45 dB[W/MHz]

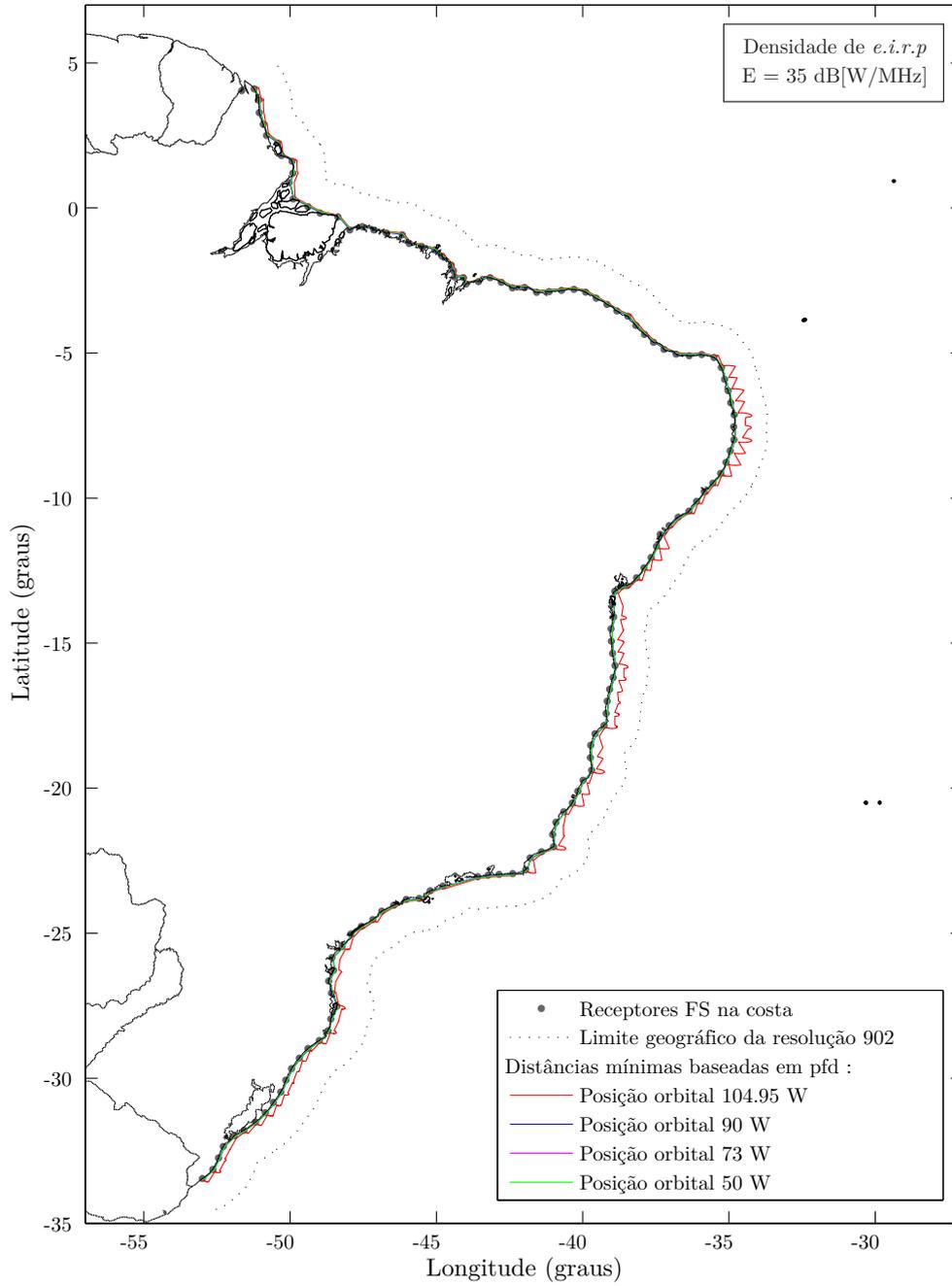


Figura 3.24: Limites geográficos baseados em pfd correspondentes a perdas de propagação de curto prazo. Densidade de *e.i.r.p* = 35 dB[W/MHz]

### 3.2.2

#### Análise de longo prazo ( $p=20,0\%$ )

No caso da Banda Ku e de perdas de propagação de longo prazo, os passos 6 a 7 descritos no início do Capítulo 3 resultaram nos valores 47,7 dB[W/MHz] e  $-112.02$  dB[W/(MHz m<sup>2</sup>)] para a densidade de *e.i.r.p.* ( $E$ ) transmitida pela ESV na direção do satélite e para o nível de referência da densidade de fluxo de potência interferente atingindo o receptor FS ( $PFDR_{ref}$ ).

O Passo 8 conduziu à determinação das *distâncias mínimas baseadas em pfd*, ou seja, a distância mínima da costa brasileira que uma ESV, que transmita uma densidade de *e.i.r.p.* de 47,7 dB[W/MHz] na direção de um satélite na posição orbital 104,95°W, pode operar sem que o valor  $PFDP_p$  da densidade de fluxo de potência que é excedido com probabilidade 0,2 seja superior a  $-112.02$  dB[W/(MHz m<sup>2</sup>)].

Como no caso da Banda C, observe que ESVs que transmitem uma densidade de *e.i.r.p.* menor do que 47,7 dB[W/MHz] podem chegar mais perto da costa sem violar a condição  $PFDP_p \leq -112.02$  dB[W/(MHz m<sup>2</sup>)]. Assim, foram também calculadas as *distâncias mínimas baseadas em pfd* para estas ESVs. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 3.25.

De novo, considerou-se interessante determinar as *distâncias mínimas baseadas em pfd* para satélites operando em posições orbitais mais a este de 104,95°W (vistas pela ESV com ângulos de elevação maiores que 10°). Assim, as figuras 3.26, 3.27 e 3.28 apresentam curvas análogas àquelas da Figura 3.25, para as posições orbitais 90°W, 73°W e 50°W, respectivamente.

O comportamento das *distâncias mínimas baseadas em pfd* com a variação da posição orbital do satélite utilizado pela ESV pode ser avaliado analisando-se as curvas da Figura 3.29. Nesta figura são apresentadas as curvas correspondentes a estas distâncias, para uma ESV transmitindo uma densidade de *e.i.r.p.*  $E=47,7$  dB[W/MHz] na direção de satélites com posições orbitais (104,95°W), (90°W), (73°W) e (50°W). Note que, como no caso de perdas de curto prazo, para satélites em posições orbitais mais a este do que 73°W, as *distâncias mínimas baseadas em pfd* não variam (as curvas correspondentes às posições orbitais 73°W e 50°W são praticamente as mesmas). Novamente, isto ocorre porque para ESVs utilizando satélites nestas posições, o ângulo  $\phi$  entre a direção do satélite e a direção do receptor FS é sempre maior do que 48° e, neste caso, o ganho da antena transmissora da ESV na direção do receptor FS é sempre igual a  $-10$  dBi (ver Recomendação ITU-R S.465 [12]). Curvas análogas às da Figura 3.29 são apresentadas nas figuras 3.30 e 3.31 para valores de densidade de *e.i.r.p.* de  $E=40$  dB[W/MHz] e  $E=35$  dB[W/MHz] respectivamente.

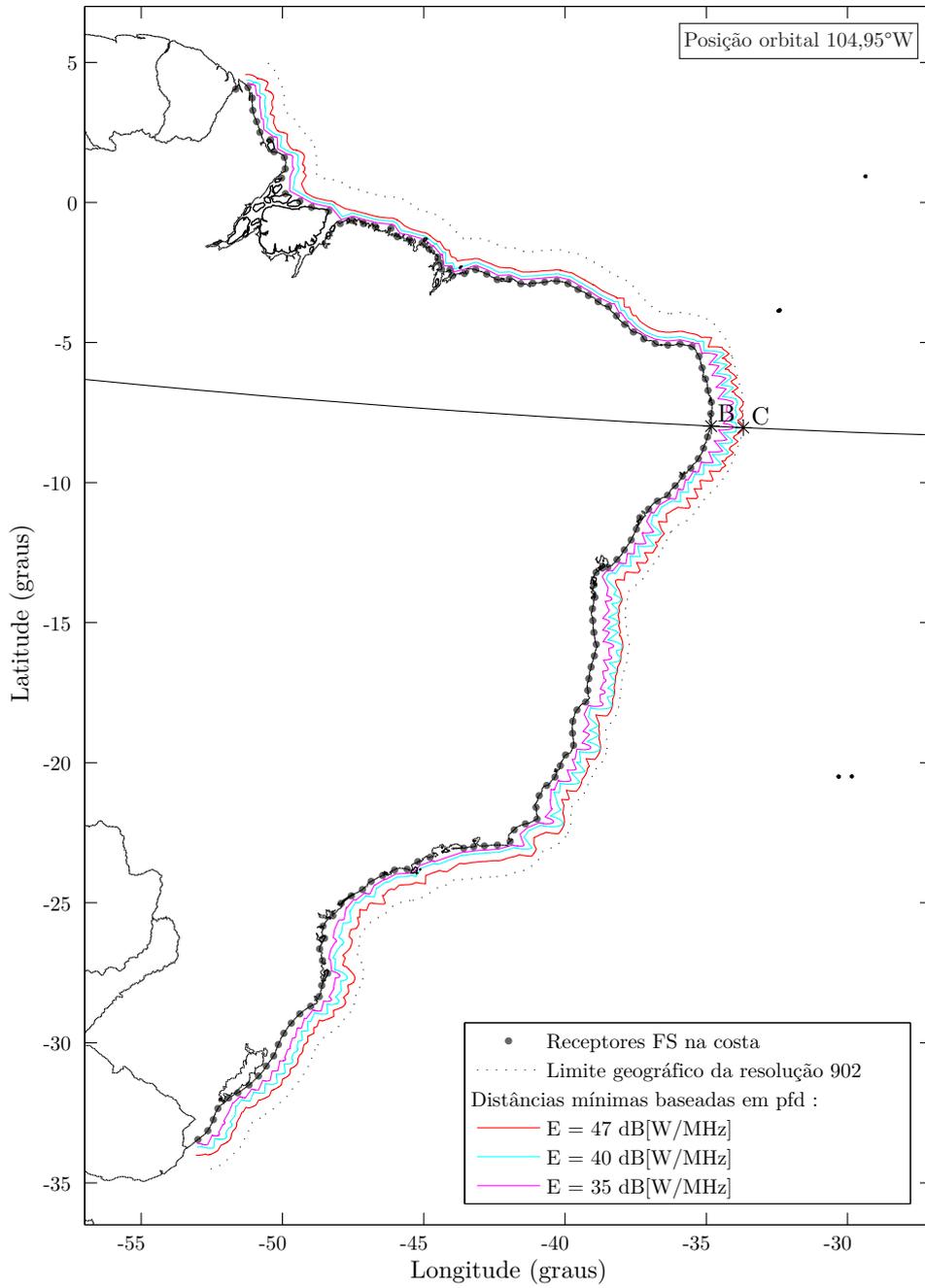


Figura 3.25: Limite geográfico baseado em pfd correspondente a perda de propagação de longo prazo. Posição orbital: 104,95°W, Ponto B: (34,827°W;7,986°S), Ponto C: (33,694°W;8,043°S).

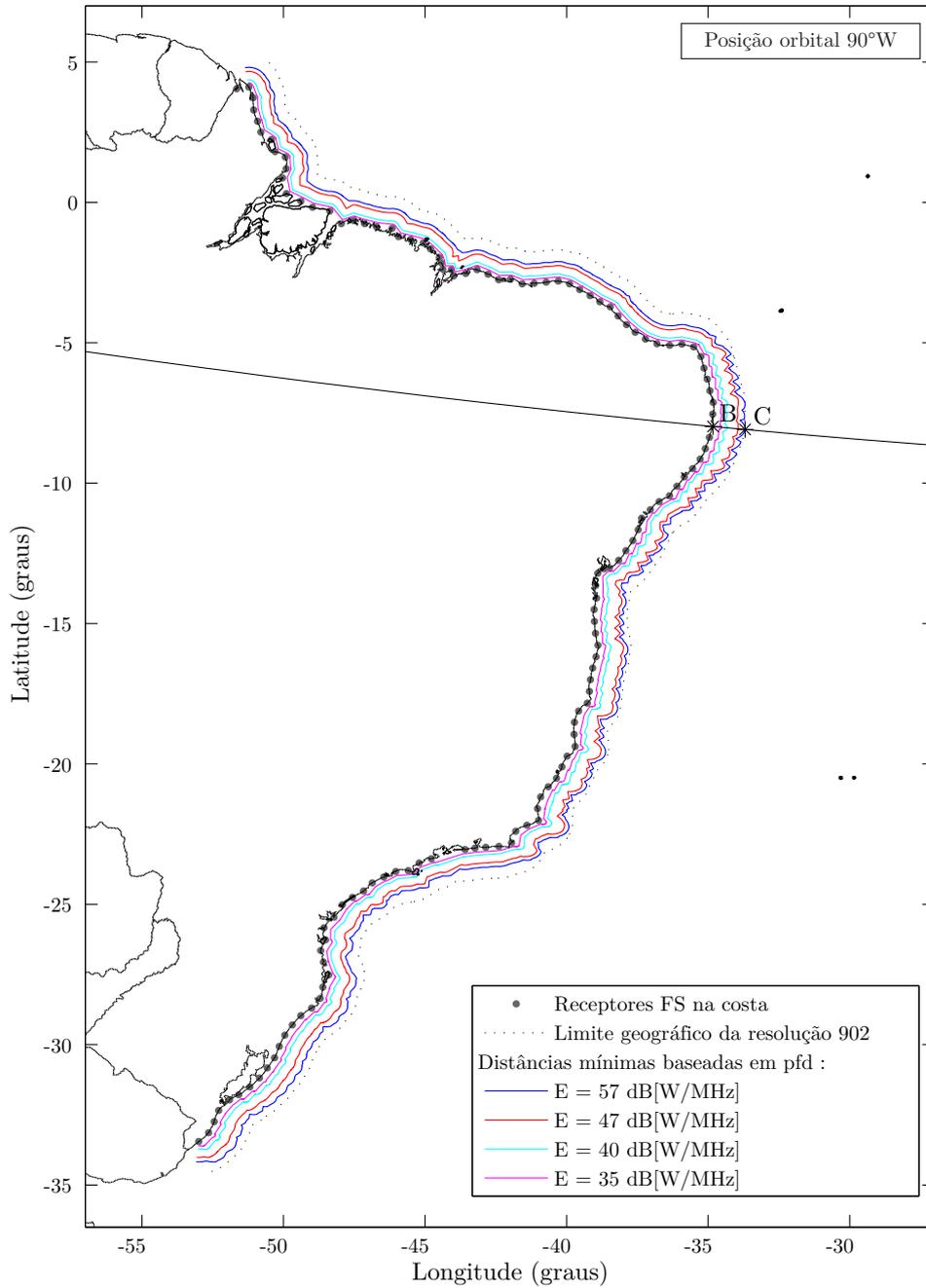


Figura 3.26: Limite geográfico baseado em pfd correspondente a perda de propagação de longo prazo. Posição orbital: 90°W, Ponto B: (34, 827°W;7, 986°S), Ponto C: (33, 697°W;8, 092°S).

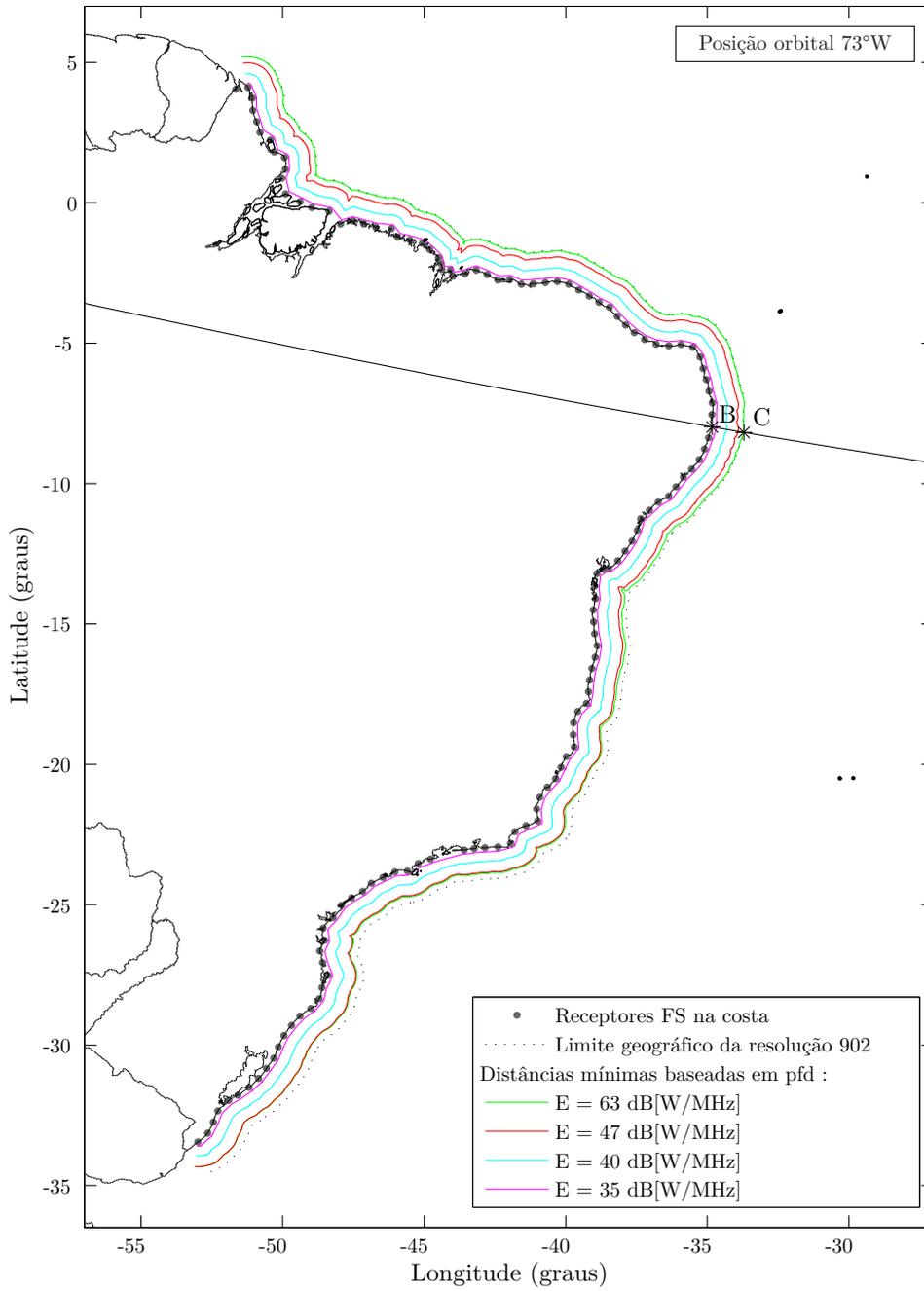


Figura 3.27: Limite geográfico baseado em pfd correspondente a perda de propagação de longo prazo. Posição orbital: 73°W, Ponto B: (34,827°W;7,986°S), Ponto C: (33,709°W;8,179°S).

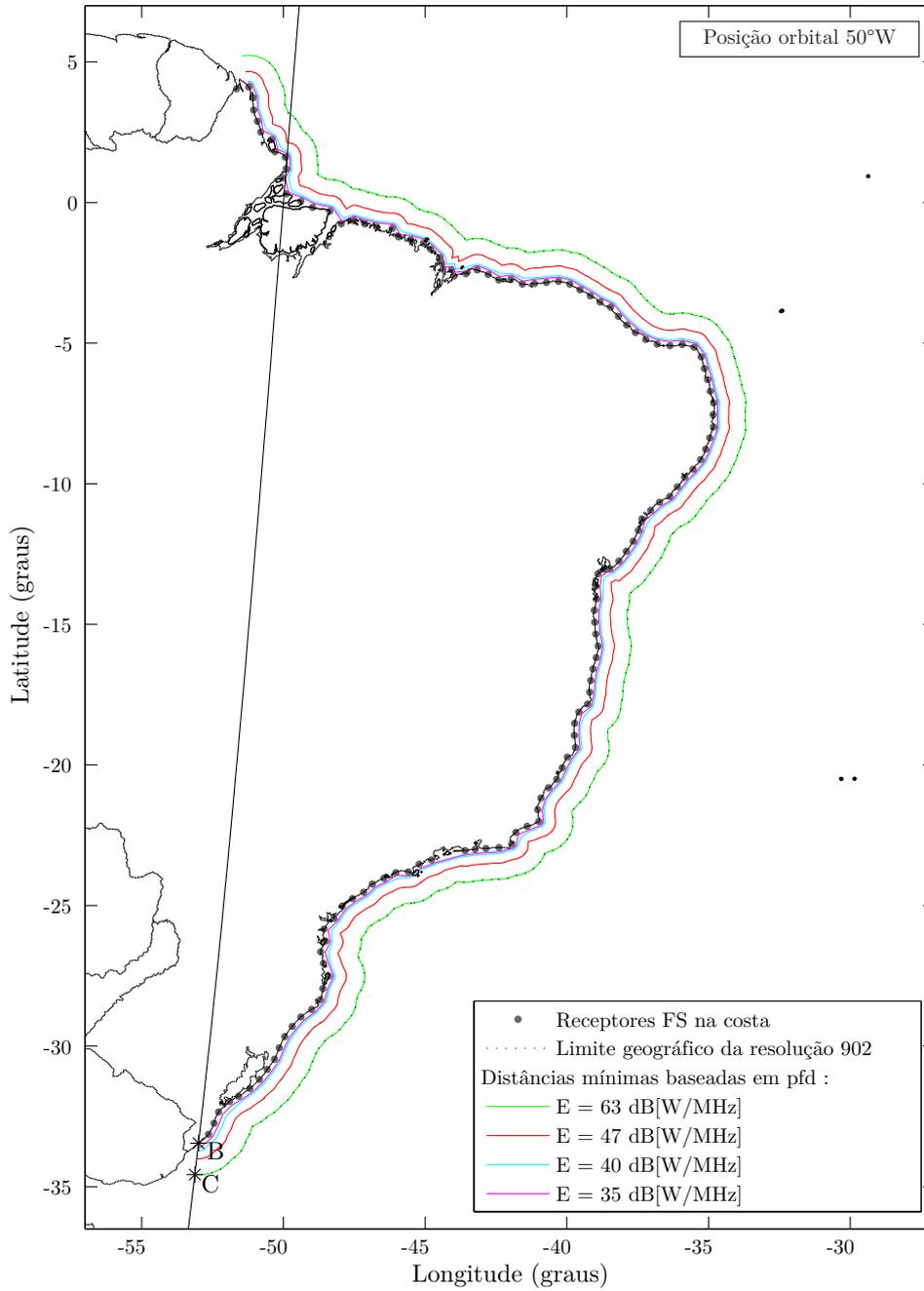


Figura 3.28: Limite geográfico baseado em pfd correspondente a perda de propagação de longo prazo. Posição orbital: 50°W, Ponto B: (52, 997°W; 33, 455°S), Ponto C: (53, 127°W; -34, 574°S).

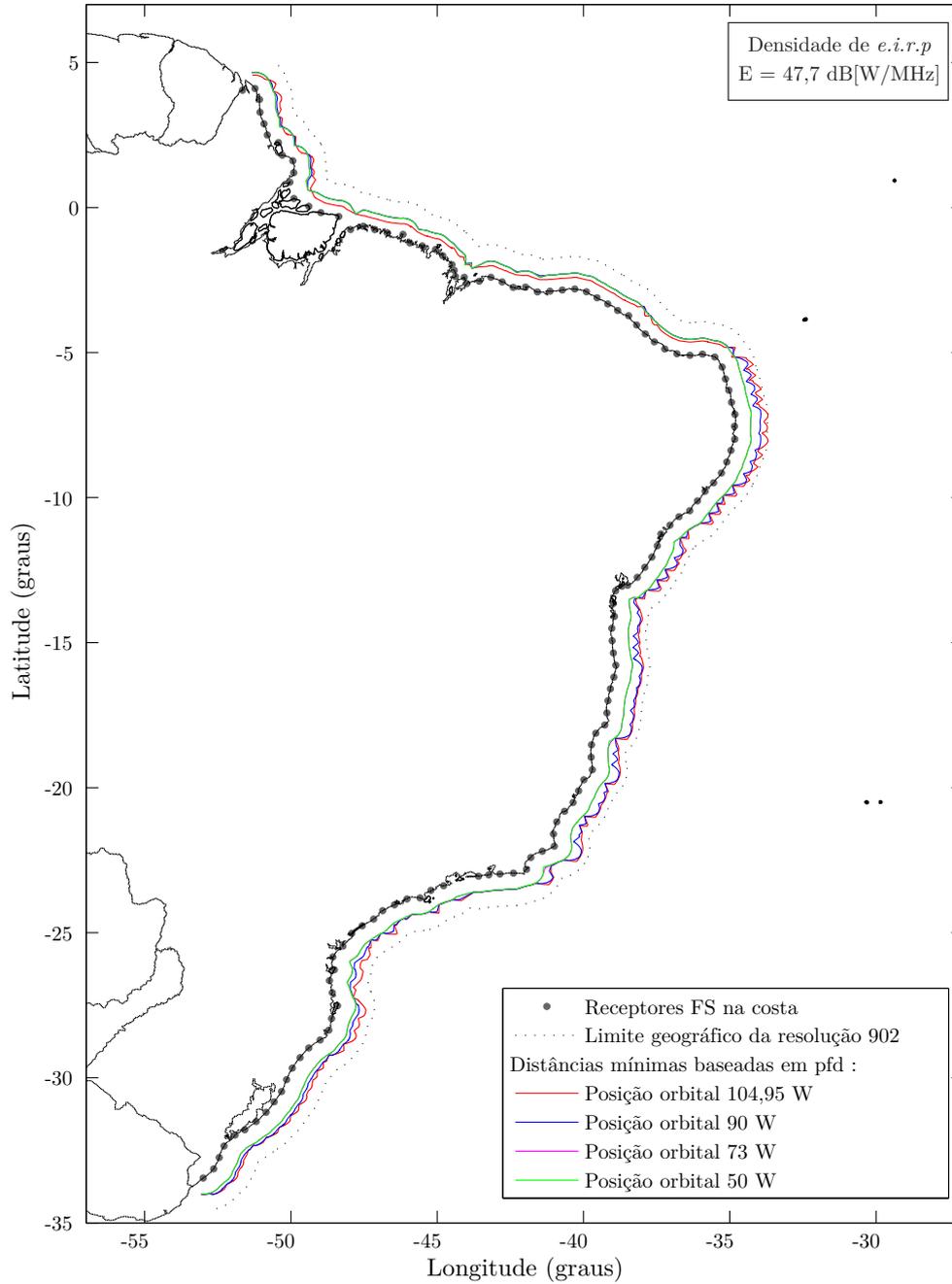


Figura 3.29: Limites geográficos baseados em pfd correspondentes a perdas de propagação de longo prazo. Densidade de *e.i.r.p* = 47,7 dB[W/MHz]

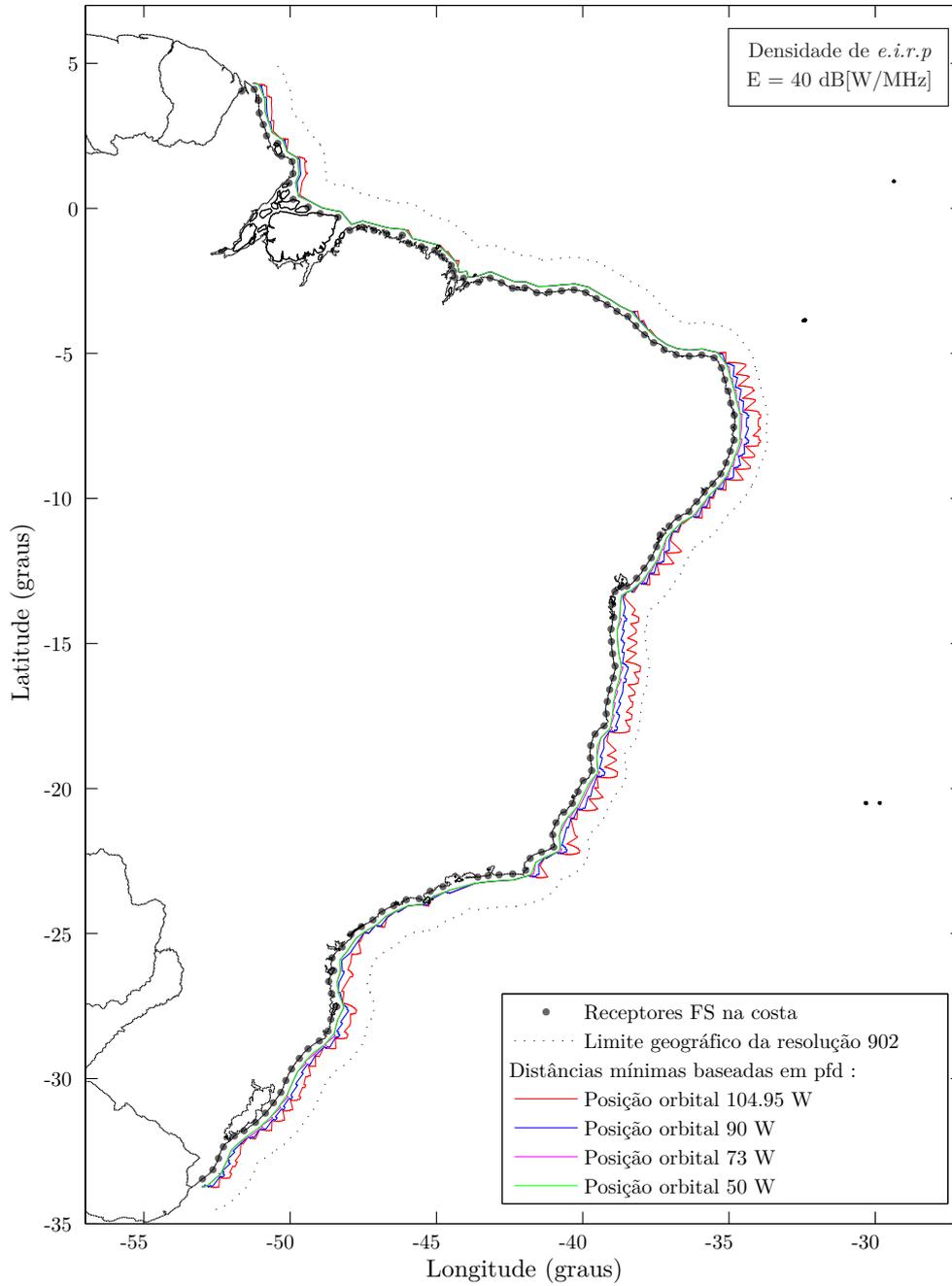


Figura 3.30: Limites geográficos baseados em pfd correspondentes a perdas de propagação de longo prazo. Densidade de *e.i.r.p* = 40 dB[W/MHz]

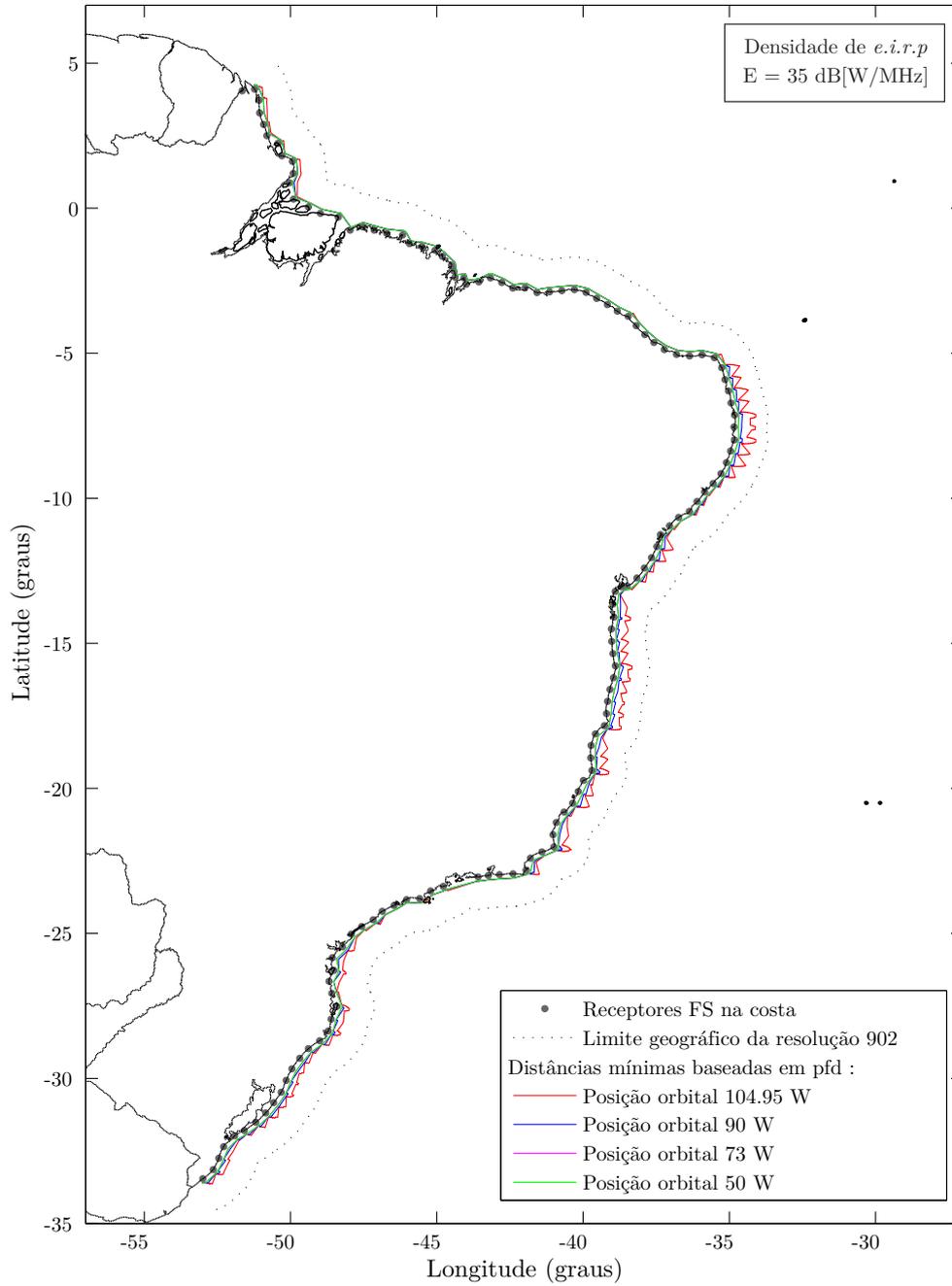


Figura 3.31: Limites geográficos baseados em pfd correspondentes a perdas de propagação de longo prazo. Densidade de *e.i.r.p* = 35 dB[W/MHz]

O conjunto de resultados obtidos nesta seção possibilita diferenciar o quão próximo do litoral brasileiro uma ESV transmitindo na Banda Ku, uma determinada densidade de *e.i.r.p.* na direção de um satélite operando em uma dada posição orbital, pode chegar sem que gere uma interferência prejudicial, isto é, o valor da densidade de fluxo de potência atingindo um receptor FS localizado na costa (valor de pfd excedido durante  $p = 20\%$  do tempo) seja superior ao valor de referência  $PDF_{ref}$ .