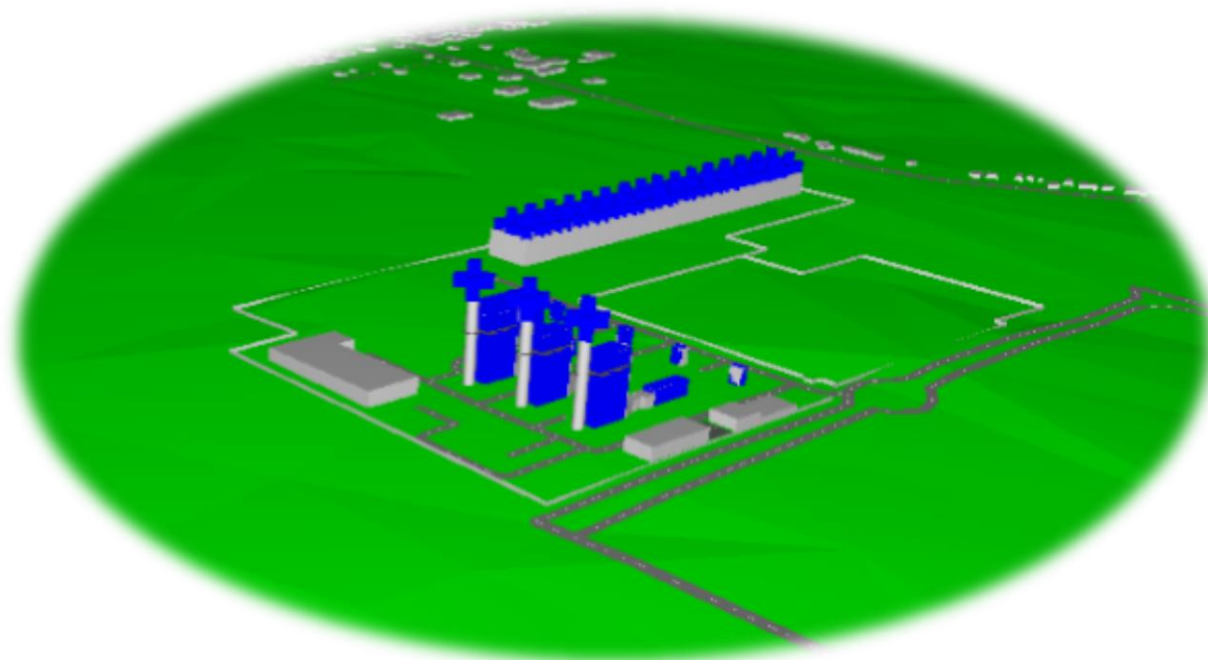


Relatório de Simulação Computacional de Ruído
CELSE – Centrais Elétricas de Sergipe S/A
UTE's Porto Sergipe I
Laranjeiras I
Governador Marcelo Deda



São Paulo, SP

SUMÁRIO

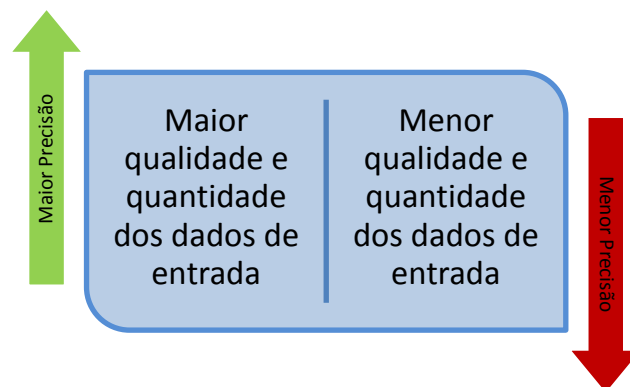
1.	Introdução	3
2.	Software de Simulação – CadnaA - versão 4.3.143	5
3.	Simulação Computacional.....	6
3.1	Modelo Computacional.....	6
3.2	Dados de entrada para o programa	7
3.2.1	Fontes de ruído atual	8
3.2.2	Fontes de ruído futuras.....	11
3.2.2.1	Caldeira de Recuperação de Calor	11
3.2.2.1	Turbina a gás	13
3.2.2.1	Transformador.....	14
3.2.2.1	Turbina a vapor	15
3.2.2.1	Torre de resfriamento e chaminés	17
3.2.2.2	Aerogerador na situação de Cutout.....	18
3.2.2.3	Modelagem da situação futura.....	19
4.	Resultados.....	21
4.1	Simulação.....	21
4.1.1	MAPA DE RUÍDO – SITUAÇÃO ACÚSTICA ATUAL (MEDIDO) – DIURNO	21
4.1.2	IMAGEM GOOGLE EARTH – SITUAÇÃO ACÚSTICA ATUAL (MEDIDO) – DIURNO	22
4.1.3	MAPA DE RUÍDO – SITUAÇÃO ACÚSTICA ATUAL – NOTURNO	23
4.1.4	IMAGEM GOOGLE EARTH – SITUAÇÃO ACÚSTICA ATUAL (MEDIDO) – NOTURNO	24
4.1.5	MAPA DE RUÍDO – SITUAÇÃO DE CUTOUT DOS AEROGERADORES – DIURNO	25
4.1.6	IMAGEM GOOGLE EARTH – SITUAÇÃO DE CUTOUT DOS AEROGERADORES – DIURNO.....	26
4.1.7	MAPA DE RUÍDO – SITUAÇÃO CUTOUT DOS AEROGERADORES – NOTURNO	27
4.1.8	IMAGEM GOOGLE EARTH – SITUAÇÃO CUTOUT DOS AEROGERADORES – NOTURNO	28
4.1.9	MAPA DE RUÍDO – SITUAÇÃO MEDIDA E OPERAÇÃO DAS UTE’s PORTO SERGIPE I, LARANJEIRAS I e GOVERNADOR MARCELO DEDA – DIURNO 29	
4.1.10	IMAGEM GOOGLE EARTH – SITUAÇÃO MEDIDA OPERAÇÃO DAS UTE’s PORTO SERGIPE I, LARANJEIRAS I e GOVERNADOR MARCELO DEDA – DIURNO	30
4.1.11	MAPA DE RUÍDO – SITUAÇÃO MEDIDA OPERAÇÃO DAS UTE’s PORTO SERGIPE I, LARANJEIRAS I e GOVERNADOR MARCELO DEDA – NOTURNO 31	
4.1.12	IMAGEM GOOGLE EARTH – SITUAÇÃO MEDIDA OPERAÇÃO DAS UTE’s PORTO SERGIPE I, LARANJEIRAS I e GOVERNADOR MARCELO DEDA – NOTURNO.....	32
4.1.13	MAPA DE RUÍDO – SITUAÇÃO DE CUTOUT DOS AEROGERADORES OPERAÇÃO DAS UTE’s PORTO SERGIPE I, LARANJEIRAS I e GOVERNADOR MARCELO DEDA – DIURNO	33
4.1.14	IMAGEM GOOGLE – SITUAÇÃO DE CUTOUT DOS AEROGERADORES OPERAÇÃO DAS UTE’s PORTO SERGIPE I, LARANJEIRAS I e GOVERNADOR MARCELO DEDA – DIURNO	34
4.1.15	MAPA DE RUÍDO – SITUAÇÃO DE CUTOUT DOS AEROGERADORES OPERAÇÃO DAS UTE’s PORTO SERGIPE I, LARANJEIRAS I e GOVERNADOR MARCELO DEDA – NOTURNO	35
4.1.16	IMAGEM GOOGLE EARTH – SITUAÇÃO DE CUTOUT DOS AEROGERADORES OPERAÇÃO DAS UTE’s PORTO SERGIPE I, LARANJEIRAS I e GOVERNADOR MARCELO DEDA – NOTURNO.....	36
4.2	Análises	37
5.	Conclusão.....	40
6.	Referências	41
7.	ANEXO I.....	41

1. Introdução

Este relatório contempla a comparação entre a situação acústica atual e uma simulação computacional da situação futura do ruído com a operação das UTE's Porto Sergipe I, Laranjeiras I e Governador Marcelo Deda. Na simulação computacional estão inseridos os entornos dos futuros empreendimentos de termelétrica com vizinhança de residências à beira mar e próximas de parque eólico e ainda longo de rodovia estadual SE 100.

A simulação computacional de ruído trata-se de um cálculo de ruído realizado por computador onde é possível fazer uma previsão, qualitativa e quantitativa, das curvas de ruído oriundas de diversas fontes sonoras atuando em conjunto. Neste cálculo são levados em consideração parâmetros como a topografia local, reflexões devido a obstáculos geométricos, absorção do solo, dentre muitos outros parâmetros que podem ser configurados.

É válido ressaltar que a simulação computacional se trata de um modelo computacional feito a partir de dados de entradas, dados esses que irão ditar a qualidade e fidelidade das curvas de ruído. Quanto maior a qualidade e precisão dos dados de entrada para o modelo computacional maior a precisão obtida na simulação computacional.



Outra relação importante está entre a quantidade de dados inseridos no modelo e o tempo necessário para a simulação. Em geral pode-se dizer que quanto maior a quantidade de dados (variáveis a serem levadas em conta no processamento do cálculo) maior o tempo de cálculo da simulação computacional de ruído.

O software utilizado na simulação computacional de ruído e dimensionamento de solução desse projeto foi o **CadnaA versão 4.3.143**, desenvolvido pela empresa alemã Datakustik desde 1986. O software realiza seus cálculos através de métodos de cálculo padronizados e especificados por normas e ISO's, como por exemplo, a ISO 9613 e a RLS 90 para ruído de tráfego.

Todas as normas e ISO's incorporadas ao software foram validadas tecnicamente tanto no campo teórico quanto no campo prático da propagação do ruído, através de testes de casos que comprovam a eficácia dos cálculos realizados.

A simulação computacional contempla os empreendimentos de futuras usinas termelétricas – UTE's Porto Sergipe I, Laranjeiras I e Governador Marcelo Deda da CELSE – Centrais Elétricas de Sergipe, parque eólico, rodovia estadual e seu entorno geográfico. Mais especificamente a simulação é feita a partir do cruzamento entre a rodovia SE-100 com a rodovia SE-240 até o fim do parque eólico, englobando toda a região abaixo com sentido a praia, obtendo-se assim uma área de simulação de aproximadamente 10.273.000 m². A figura 1 abaixo mostra a região da simulação, descrita acima, com suas fronteiras delimitadas em amarelo.

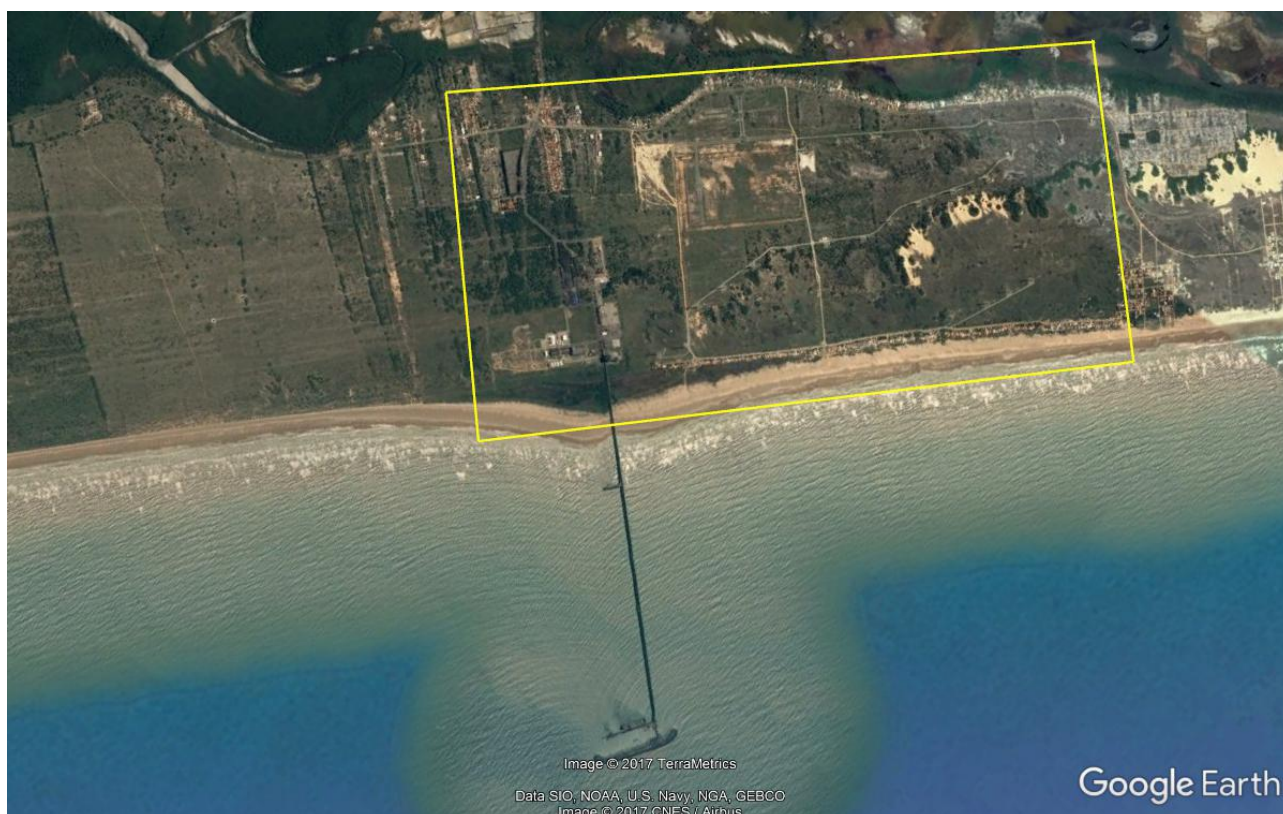


Figura 1 – Área da simulação computacional de ruído da CELSE, imagem obtida via Google Earth.

2. Software de Simulação – CadnaA - versão 4.3.143

O CadnaA é o software para o cálculo, apresentação, avaliação e previsão de ruído ambiente. Este software pode ser utilizado de forma eficiente para alguns receptores individuais em um bairro ou ainda em projetos de mapeamento de ruído de países inteiros. O software CadnaA da DATAKUSTIK permite gerir a emissão de ruído, em conformidade com as regulamentações nacionais e internacionais.

Com o uso de software CadnaA DATAKUSTIK, pode-se modelar todos os tipos de emissores acústicos (indústria, tráfego rodoviário e ferroviário, etc.), sendo uma ferramenta essencial para projetos urbanos e estudos de impacto ambiental (EIA). Além disso, permite a realização de mapas estratégicos de ruído para populações de acordo com as exigências da Lei do Ruído Ambiental.

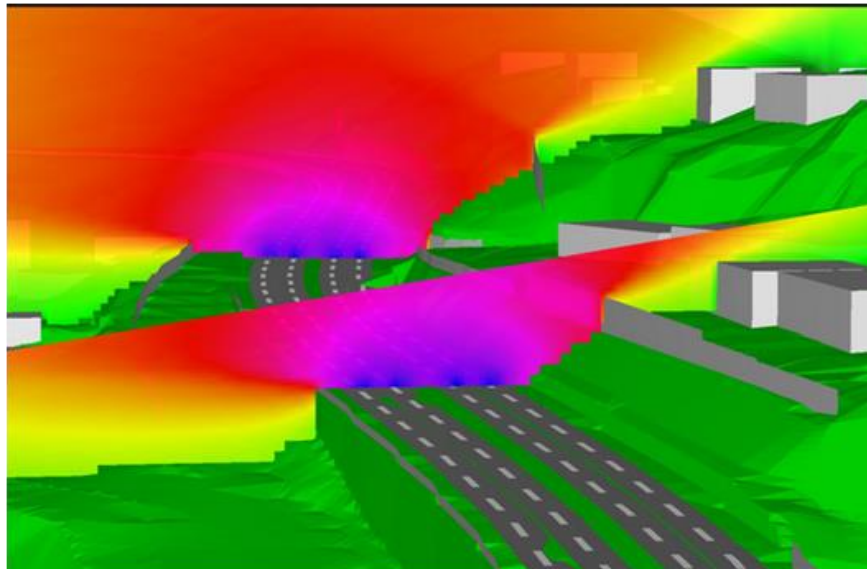


Figura 2 – Demonstrativo de utilização do Software CadnaA – Malhas verticais [2].

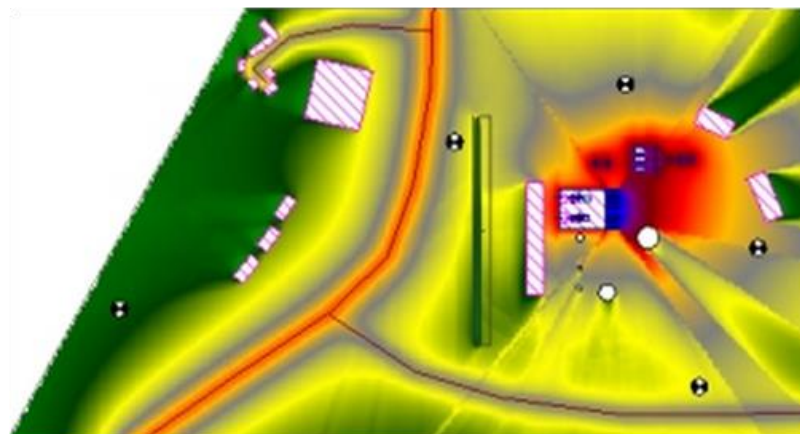


Figura 3 – Demonstrativo de utilização do Software CadnaA – Barreira acústica [2].

3. Simulação Computacional

3.1 Modelo Computacional

O modelo computacional de ruído tem como dados de entrada a topografia da região de interesse, as fontes de ruído local pertencentes à região – rodovias, parque eólico e mar – as fontes de ruído pertencentes a CELSE, a saber, usinas termoelétricas a serem implementadas futuramente, obstáculos geométricos característicos da região como residências, informações coletadas com respeito a umidade relativa, temperatura, característica do vento tais como direção e velocidade.

Para a topografia foram inseridas no modelo computacional os pontos de altura da região, apresentada na Figura 1, com valores de altura que variam de - 3 m (abaixo do nível do mar) a 22 m de altura. Foram alocados 587 obstáculos geométricos (basicamente residências ou conglomerados de residências). Em termos de informações do ambiente a temperatura foi estabelecida como padrão de 25°C, umidade relativa de 75% e dois casos de velocidades de vento no sentido praia-continente foram consideradas no estudo (3 m/s e 10 m/s) . Observe-se que a garantia oferecida pelo fornecedor dos equipamentos está vinculada à velocidade de 3m/s.

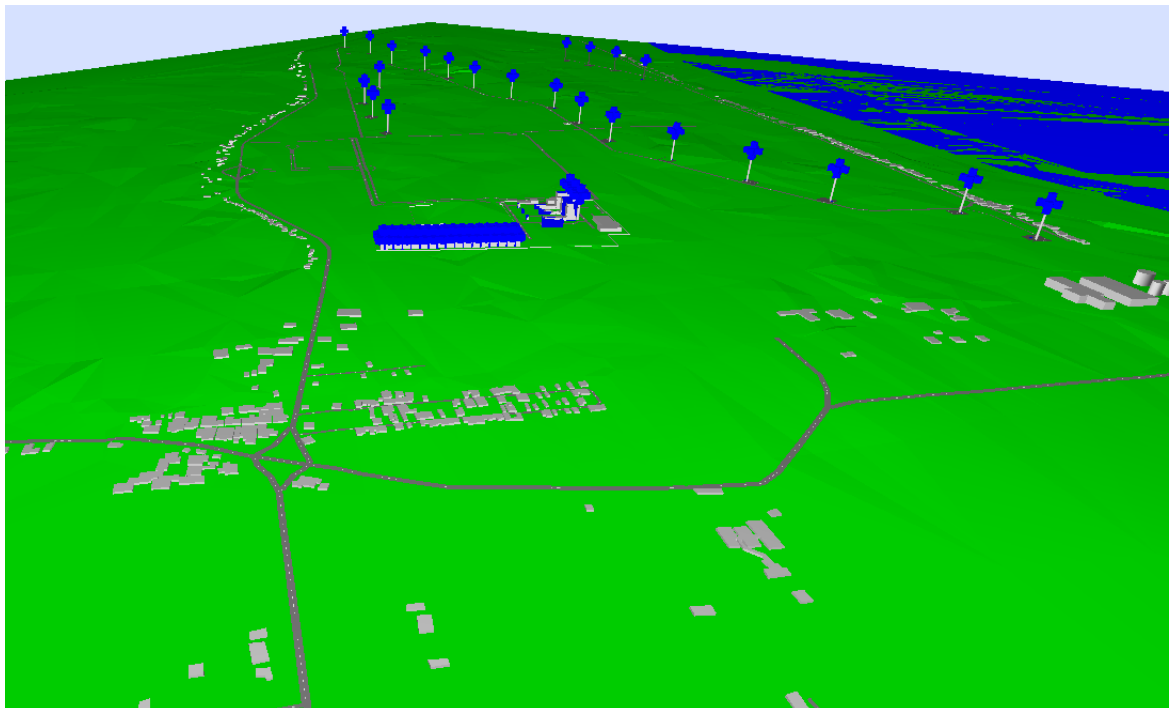


Figura 4 – Pequena visualização da modelagem realizada no software.

3.2 Dados de entrada para o programa

A tabela a seguir mostra os dados de entrada juntamente com as especificações e procedência dos dados que foram utilizados no modelo computacional.

Tabela 1–Procedência dos dados de entrada utilizados no modelo computacional

DADOS DE ENTRADA	ESPECIFICAÇÃO	PROCEDÊNCIA
CURVAS DE NÍVEL	Pontos de Altura (elevação)	Google Earth
DESENHO ESQUEMATICO DOS MÁQUINÁRIOS	Desenhos/Layouts Cad Exemplo: SGP_00_E_001b--- 003_GA_001-C_en-Site Layout.pdf	Fornecimento Cliente
MAPAS DE SITUAÇÃO DAS UTE's DE GOVERNADOR MARCELO DEDA E LARANJEIRAS I		Fornecimento Cliente
POSCIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS DA TERMOELÉTRICA	Dimensões	Fornecimento Cliente
CONSTRUÇÕES DA REGIÃO	Aglomerado de casas e construções	Imagem Google Earth
VENTO	Velocidade	3 m/s – Medido na situação local (durante a campanha de medições de ruído) 10 m/s – Situação de Cutout dos aerogeradores

Devido à região predominantemente de areia, com presença de vegetação e a pouca extensão de asfaltos, cimentos e demais materiais refletivos o coeficiente de absorção do terreno foi configurado para 0.7. Além disso, foram utilizadas no cálculo o número de 2 reflexões da onda sonora. Com respeito às fontes sonoras consideradas no estudo temos dois casos: as fontes sonoras atuais e as fontes sonoras futuras. Para cada caso foi utilizada uma abordagem diferente, descrita em detalhes a seguir:

3.2.1 Fontes de ruído atual

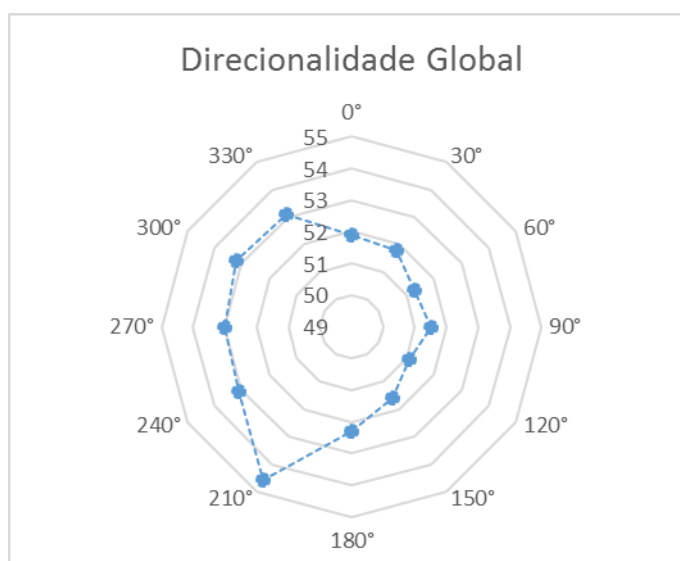
As fontes sonoras atuais foram medidas in loco, de acordo com a condição do dia de operação, e serviram de dados de entrada para simulação do mapa de ruído da situação atual. Foram medidos 6 pontos de interesse – apresentados na Tabela 2 abaixo - que serviram para a recuperação do ruído da região no modelo computacional.

Tabela 2– Pontos receptores medidos [1].

NOMENCLATURA	COORDENADAS (UTM)		DIURNO LAeq (dBA)	NOTURNO LAeq (dBA)
Ponto 1	24724570	8803176	42,9	43,1
Ponto 2	24724841	8803630	57,4	49,3
Ponto 3	24725087	8804207	54,6	54,6
Ponto 4	24725367	8804487	53,4	46,3
Ponto 5	24726531	8803055	49	48,1
Ponto 6	24726024	8802501	50,7	51,4

Além da informação sonora recolhida nos pontos receptores, foram realizadas medidas no entorno de aerogerador para mensurar o ruído produzido pelo mesmo. Ao todo foram feitas 12 medidas espaçadas de 30° em um raio de 13 m no entorno do aerogerador. Essas medidas buscam visualizar a direcionalidade global do aerogerador de modo a retratar a fonte mais fielmente no modelo computacional.

Aerogerador	
Posição Angular (°)	LAeq (dBA)
0	51,9
90	51,5
180	52,3
270	53
30	51,8
60	51,3
120	51,1
150	51,6
210	54,6
240	53,1
300	53,2
330	53,1



A posição angular de 0° é referente a uma visualização das pás do aerogerador pela frente, já a 180° estar-se-ia na parte de trás do aerogerador, juntamente com a cabine elétrica primária. Pode-se notar uma direcionalidade do ruído gerado pelo aerogerador para os ângulos traseiros (90° a 270°) em comparação aos ângulos dianteiros (270° a 90°). Esta informação foi inserida no modelo através da calibração de pontos receptores no entorno do aerogerador buscando atingir valores próximos aos encontrados em campo, em especial maiores na região traseira das pás do aerogerador.

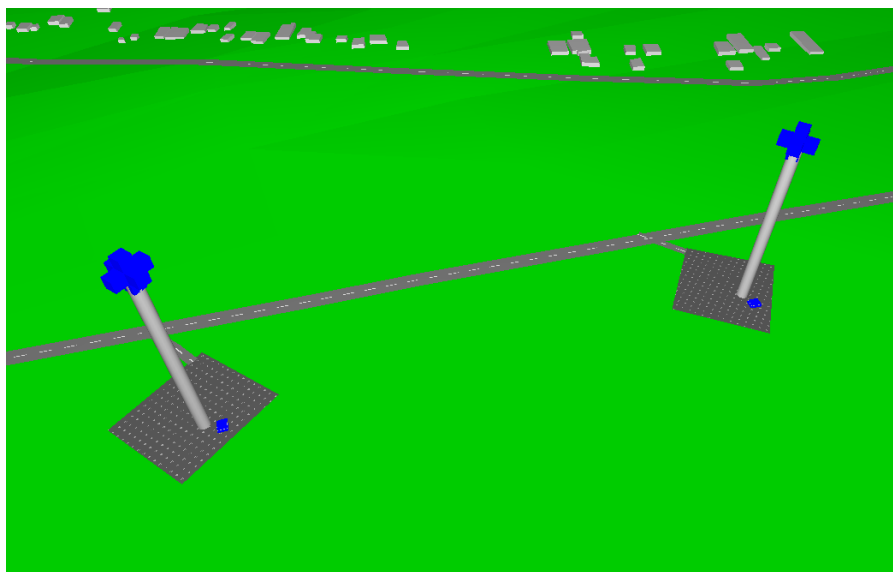


Figura 5a – Visualização da modelagem dos aerogeradores e entorno.



Figura 6b – Visualização dos aerogeradores e receptores eleitos.

Com os aerogeradores alocados na simulação computacional juntamente com as vias de tráfego de veículos e o mar, buscou-se recuperar os níveis sonoros nos receptores. A relevância acústica maior para as vias de tráfego está concentrada na rodovia SE-100, que cruza todo o mapa de ruído, sendo a via mais importante do entorno. Esta fonte sonora foi modelada a partir de medições específicas realizadas a 15 m do eixo da rodovia, e considerado o volume de tráfego de veículos atual. Muitas das vias adjacentes da SE-100 possuem como característica o baixo tráfego de veículos e sazonalidade temporal expressiva, sendo, portanto, de menor relevância acústica.

Para o mar utilizou-se uma medição acústica de calibração feita nas suas imediações, a qual não continha influência acústica notável de nenhum dos outros pontos. A Tabela 3 abaixo compara os níveis medidos e os níveis recuperados via simulação computacional nesses pontos.

Tabela 3 – Medições para abastecer o modelo computacional

Níveis medidos			Níveis obtidos na calibração da modelagem	
Denominação	Período Diurno	Período Noturno	Período Diurno	Período Noturno
Ponto 1	42,9	43,1	43,8	43,3
Ponto 2	57,4	49,3	57,7	49,4
Ponto 3	54,6	54,6	54,4	54,2
Ponto 4	53,4	46,3	53,5	46,4
Ponto 5	49	48,1	48,9	48,1
Ponto 6	50,7	51,4	51,6	51,6

Como se pode constatar na Tabela 3, a calibração dos pontos levou a valores muito próximos aos obtidos in loco, com discrepância máxima de 0,9 dB. Levando-se em considerando que existem flutuações nas medidas de pressão sonora em campo e erros de aproximação computacionais, pode-se considerar este um valor adequado para a calibração do modelo. Esta condição foi calculada com um vento orientado no sentido predominante mar→continente de 3 m/s.

3.2.2 Fontes de ruído futuras

Foram elencadas pelo cliente as fontes acústicas mais relevantes das termoeletricas, e, portanto, de interesse à simulação computacional: caldeira de recuperação de calor, turbina a gás, transformador, turbina a vapor, torre de resfriamento e chaminé. Também foram considerados os dados das garantias a serem contempladas neste estudo obtidas junto ao fornecedor – General Electric Company [4]:

- 1) Garantia de 70 dBA a altura de 1,5 m do solo a 1 m de distância do limite da planta para o período que inicia às 9 da manhã até as 21:59 e 60 dBA das 22 h às 8:59 para a UTE Porto Sergipe I e proporcionalmente à quantidade de equipamentos a serem instalados nas UTE's Laranjeiras I e Governador Marcelo Deda até o limite da referida garantia de 70 dBA/ 60 dBA.
- 2) Garantia de 85 dBA da média das medidas tomadas a 1 m dos envelopes das fontes sonoras.

Note-se que o horário estipulado para a definição dos períodos diurno e noturno não é aquele indicado na NBR 10.151/2000. Dessa forma foi necessário recalcular os limites, uma vez que os mapas aqui terão como período base a normalização brasileira.

As informações que dizem respeito à diminuição do nível de ruído do período diurno para o noturno indicam que deverá ocorrer menor solicitação de energia e ritmo diferenciado de operação da UTE Porto Sergipe I. Este dado também é levado em consideração no modelo através de uma correção nas fontes sonoras para o período noturno.

Ressalte-se ainda que com base nas duas garantias especificadas pelo fabricante podem-se obter diversas combinações de potência sonora e espectro sonoro possíveis das fontes sonoras no interior da planta que resultem nos limites indicados. Na ausência de dados de entrada específicos para os modelos fez-se necessário buscar a literatura para a modelagem das fontes e estimar valores para potencia e espectro sonoro obedecendo os critérios de garantias mencionados.

3.2.2.1 Caldeira de Recuperação de Calor

A caldeira de recuperação da UTE foi envelopada em um paralelepípedo de tamanho 25 m de largura x 33,2 m de comprimento x 40 m de altura, segundo medidas indicadas pelo cliente. Na

literatura encontra-se que para caldeiras do tipo industriais o nível de potência sonora total pode ser estimado por [3]

$$L_{w_{caldeira}} = 15 \log_{10}[MW] + 95 \text{ dB}$$

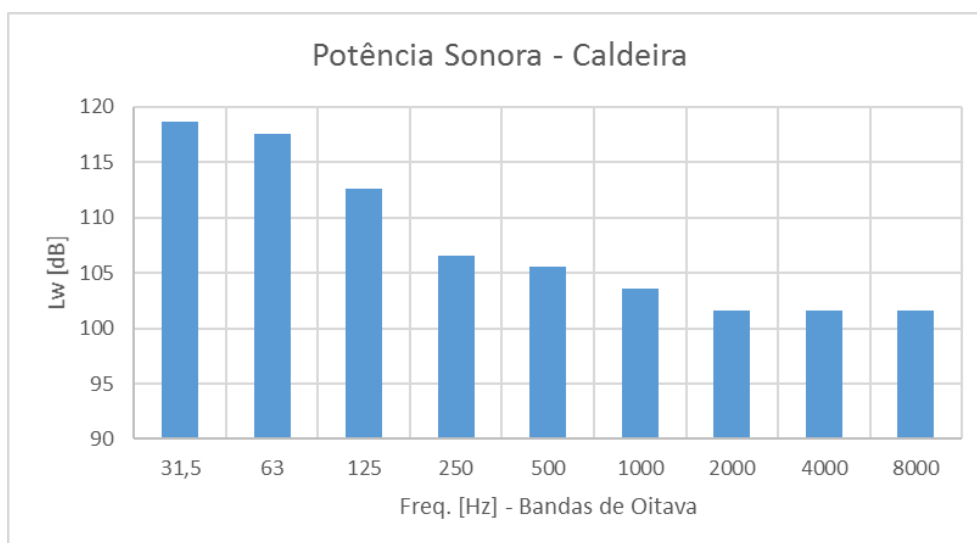
Com base nessa potência sonora total pode-se aplicar uma correção em bandas de oitava buscando a potência sonora por bandas. A correção encontra-se especificada na Tabela 4.

Tabela 4 – Correções de nível de potência sonora total da caldeira de recuperação de calor

Frequência central da banda de oitava	Correção (dB) Caldeiras industriais grandes
31,5	-4
63	-5
125	-10
250	-16
500	-17
1.000	-19
2.000	-21
4.000	-21
8.000	-21

Fonte: Edison Electric Institute (1978), Electric power plant environmental noise guide. Reproduzido por Bistafa, S. R. [3]

Logo o valor de potência sonora deve ser diminuída desses valores para cada banda e posteriormente passado para dB(A). Um valor de aproximadamente 70 MW para a caldeira geraria uma potência sonora de 122 dB, ou em medida ponderada para a audição humana de 110 dBA. O espectro de potência sonora seria o apresentado abaixo.



3.2.2.1 Turbina a gás

A turbina a UTE foi envelopada em um paralelepípedo de tamanho 8,5 m de largura x 25 m de comprimento x 9,5m de altura, conforme medidas indicadas pelo cliente. Na literatura encontra-se que o ruído para turbinas a gás pode ser dividido no ruído de carcaça, ruído de admissão e ruído de exaustão e sua potência sonora total pode ser estimado por [3]

$$L_{w_{carcaça}} = 5 \log_{10}[MW] + 120 \text{ dB}$$

$$L_{w_{admissão}} = 15 \log_{10}[MW] + 127 \text{ dB}$$

$$L_{w_{exaustão}} = 10 \log_{10}[MW] + 13 \text{ dB}$$

Com base nessa potência sonora total pode-se aplicar uma correção em bandas de oitava buscando a potência sonora por bandas. A correção encontra-se especificada na Tabela 5.

Tabela 5 – Correções de nível de potência sonora total das partes da Turbina a gás

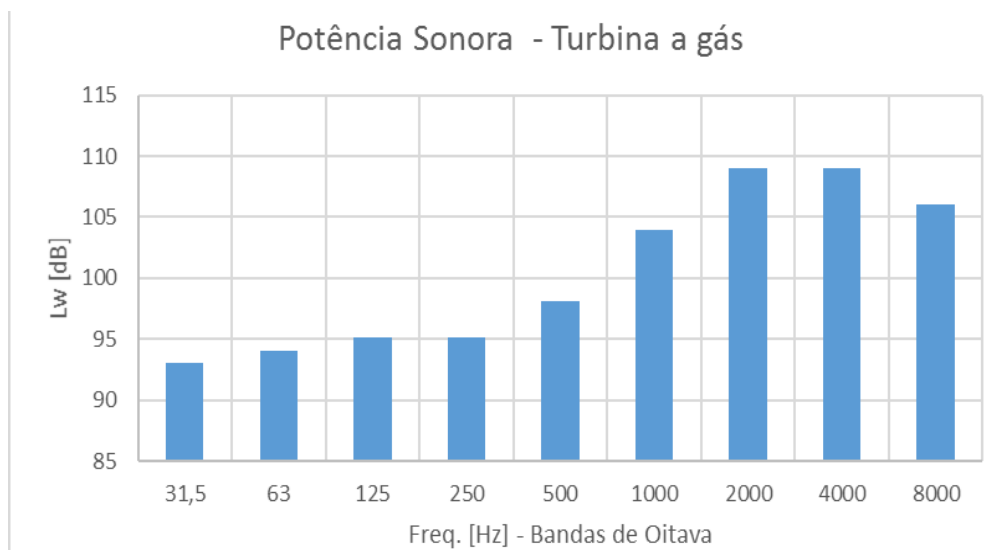
Frequência central da banda de oitava	Carcaça Correção (dB)	Admissão Correção (dB)	Exaustão Correção (dB)
31,5	-10	-19	-12
63	-7	-18	-8
125	-5	-17	-6
250	-4	-17	-6
500	-4	-14	-7
1.000	-4	-8	-9
2.000	-4	-3	-11
4.000	-4	-3	-15
8.000	-4	-6	-21

Fonte: Exército, Força Aérea e Marinha dos Estados Unidos (1983), Noise and vibration control for mechanical equipment. Reproduzido por Bistafa, S. R. [3]

Logo o valor de potência sonora deve ser diminuído destes valores para cada banda e posteriormente passado para dB(A). Entretanto, neste caso deve-se somar os valores obtidos a fim de calcular a potência sonora irradiada pelo conjunto, o que pode ser feito da seguinte forma para cada banda de oitava.

$$L_{w_{conjunto}} = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{L_{w_{carcaça}}}{10}} + 10^{\frac{L_{w_{admissão}}}{10}} + 10^{\frac{L_{w_{exaustão}}}{10}} \right)$$

Este equipamento foi calibrado a fim de ter nível de potência sonora total em aproximadamente 115 dBA. O espectro de potência sonora utilizado para o conjunto é o apresentado abaixo.



3.2.2.1 Transformador

O transformador elétrico da UTE foi envelopado em um paralelepípedo de tamanho 8,2 m de largura x 4,8 m de comprimento x 10,6 m de altura, segundo medidas indicadas pelo cliente. Na literatura encontra-se que para transformadores o nível de potência sonora total pode ser estimado por [3]

$$L_{w\text{Transformador}} = N_R + 10 \log_{10} S + C \text{ dB}$$

onde N_R é a média da pressão sonora a 0.35 m no entorno do transformador, S é soma das quatro áreas laterais do transformador e C é uma correção que depende da localização do transformador (neste caso foi escolhida a classificação: “internamente a salas pequenas, ou em salas grandes com pequeno número de equipamentos”).

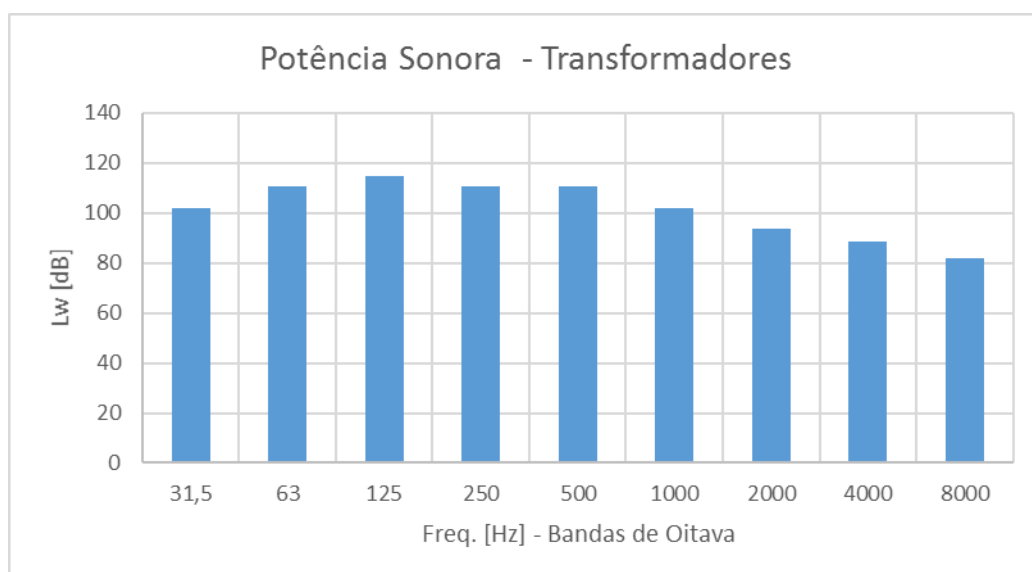
Para este caso de medidas o fator S resulta em aproximadamente 24,5 e um N_R típico para transformadores grandes é de 78 dB. Com base nessa potência sonora parcial pode-se aplicar uma correção em bandas de oitava buscando a potência sonora total por bandas. A correção encontra-se especificada na Tabela 6.

Tabela 6 – Correções de nível de potência sonora total da caldeira de recuperação de calor

Frequência central da banda de oitava	Transformadores Correção C (dB) Local 2
31,5	-1
63	8
125	12
250	8
500	8
1.000	-1
2.000	-9
4.000	-14
8.000	-21

Fonte: Exército, Força Aérea e Marinha dos Estados Unidos (1983), Noise and vibration control for mechanical equipment. Reproduzido por Bistafa, S. R. [3]

Logo o espectro de potência sonora seria o apresentado abaixo. Este espectro nos fornece uma potência sonora total de 118 dB ou corrigido de 110 dBA



3.2.2.1 Turbina a vapor

A Turbina a vapor da UTE foi envelopada em um paralelepípedo de tamanho 16 m de largura x 45 m de comprimento x 23 m de altura, segundo medidas indicadas pelo cliente. Na literatura encontra-se que para turbinas a vapor o nível de potência sonora total pode ser estimado por [3]

$$L_{w \text{ turbina a vapor}} = 4 \log_{10}[kW] + 93 \text{ dB}$$

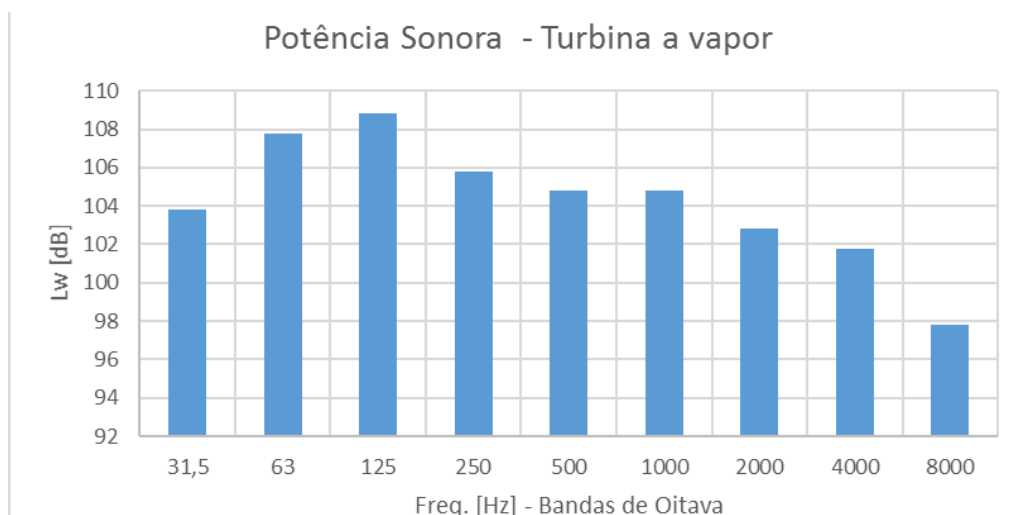
Com base nessa potência sonora total pode-se aplicar uma correção em bandas de oitava buscando a potência sonora por bandas. A correção encontra-se especificada na Tabela 7.

Tabela 7 – Correções de nível de potência sonora total da turbina a vapor

Frequência central da banda de oitava	Correção (dB) Turbinas a vapor
31,5	-11
63	-7
125	-6
250	-9
500	-10
1.000	-10
2.000	-12
4.000	-13
8.000	-17

Fonte: Exército, Força Aérea e Marinha dos Estados Unidos (1983), Noise and vibration control for mechanical equipment. Reproduzido por Bistafa, S. R. [3]

Logo o valor de potência sonora deve ser diminuída desses valores para cada banda e posteriormente passado para dB(A). Um valor de aproximadamente 3 MW para uma turbina a vapor geraria uma potência sonora de 115 dB, ou em medida ponderada para a audição humana de 110 dBA. O espectro de potência sonora seria o apresentado abaixo.



3.2.2.1 Torre de resfriamento e chaminés

A Torre de resfriamento e as chaminés foram modeladas como fontes pontuais. Ao todo existem 32 fontes pontuais representando as saídas da torre de resfriamento e 3 fontes pontuais representando as chaminés. No caso da torre de resfriamento as fontes pontuais estão alocadas na parte mais alta da torre de resfriamento - cerca de 21 m - e na literatura encontra-se que para torres de resfriamento do tipo hélice com potência dos ventiladores superior a 2000 kW o nível de potência sonora total pode ser estimado por [3]

$$L_{w_{torre\ de\ resfriamento}} = 10 \log_{10}[kW] + 96\ dB$$

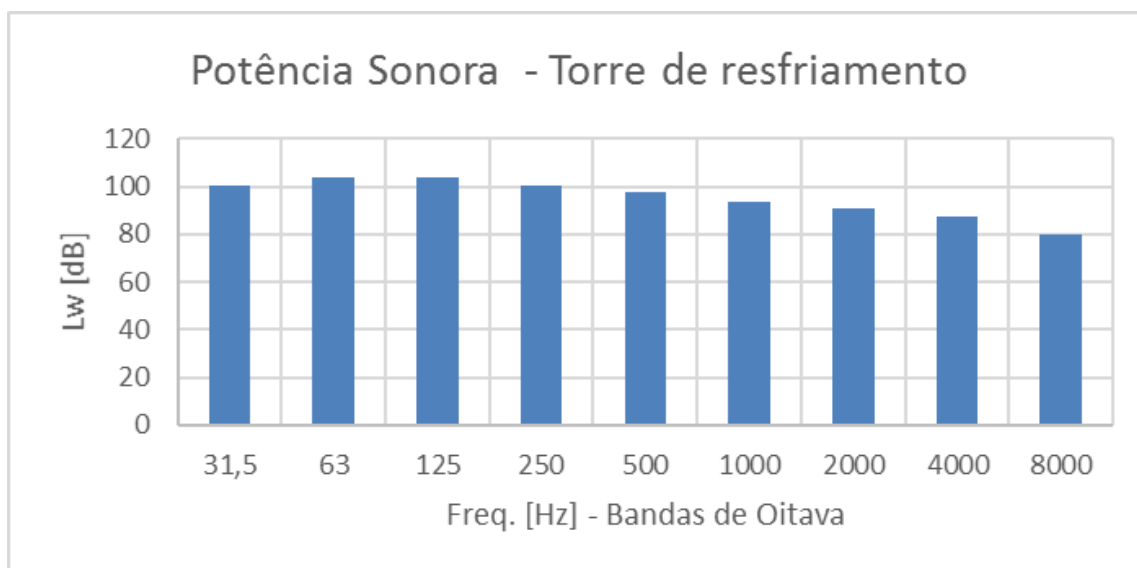
Com base nessa potência sonora total pode-se aplicar uma correção em bandas de oitava buscando a potência sonora por bandas. A correção encontra-se especificada na Tabela 8.

Tabela 8 – Correções de nível de potência sonora total da torre de resfriamento

Frequência central da banda de oitava	Correção (dB) Turbinas a vapor
31,5	-8
63	-5
125	-5
250	-8
500	-11
1.000	-15
2.000	-18
4.000	-21
8.000	-29

Fonte: Exército, Força Aérea e Marinha dos Estados Unidos (1983), Noise and vibration control for mechanical equipment. Reproduzido por Bistafa, S. R. [3]

Logo o valor de potência sonora deve ser diminuída desses valores para cada banda e posteriormente passado para dB(A). Um valor de aproximadamente 2 MW para um ventilador geraria uma potência sonora de 110 dB, ou em medida ponderada para a audição humana de 100 dBA. O espectro de potência sonora seria o apresentado abaixo.



As chaminés foram modeladas como emitindo a mesma quantidade de ruído para cada banda (100 dBA), e foram alocadas na altura de 60 m. Foi adicionada uma direcionalidade para essa fonte com base na velocidade de exaustão dos gases de 17 m/s, conforme informado pelo cliente.

3.2.2.2 Aerogerador na situação de Cutout

Para os aerogeradores em situação de operação de Cutout foi utilizada a potência sonora informada pelo fabricante e fornecida pela contratante [Anexo I]. A Tabela 9 informa os valores de potência sonora aparente.

Tabela 9 – Potência sonora total dos equipamentos utilizados na simulação [Anexo I]

Frequência	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	A	lin
Lw (dB)	80.4	90.3	95.6	97.6	100.3	102.7	99.4	89.9	72.6	105.7	107.0

3.2.2.3 Modelagem da situação futura

As configurações das fontes sonoras descritas acima foram inseridas como dados de entrada do modelo de simulação computacional de ruído da UTE Porto de Sergipe I. A Tabela 10 sintetiza as informações de potência sonora total com as correções espectrais de cada uma das fontes sonoras que foi alocada no modelo.

Tabela 10 – Potência sonora total dos equipamentos utilizados na simulação

Equipamento	Potência Sonora (dBA)
Turbina a gás	115
Turbina a vapor	110
Caldeira	110
Transformador	110
Chaminé	110
Aerogerador CutOut	106
Torre de resfriamento	100

Observadas as locações das fontes sonoras na futura planta de processo, a dimensão e as configurações descritas, e excetuada a influencia do parque eólico, obteve-se um arranjo das fontes sonoras com os espectros sonoros estimados nas seções anteriores.

Foram também observados os termos da garantia do fornecedor, ou seja, a 1 m de distância do limite da propriedade a 1.5 m de altura os valores de 69.6 dBA para o período diurno e de 60.2 para o período noturno (valores ajustados para a modelagem para adequação à NBR 10151/2000).

É válido salientar que essa calibração foi feita desconsiderando-se o muro existente no entorno da área da futura planta de processo, uma vez que tais superfícies causam sobras acústicas. Se uma calibração fosse realizada em região próxima ao muro da UTE, a sombra acústica propiciaria níveis recebidos a 1 m de distância do muro mais baixos, mas certamente a distâncias fora da sombra acústica os níveis seriam maiores. Dessa forma optou-se por realizar a calibração em situação livre de sombra acústica obedecendo as garantias de valores em dBA a 1 m do limite da planta de processo.

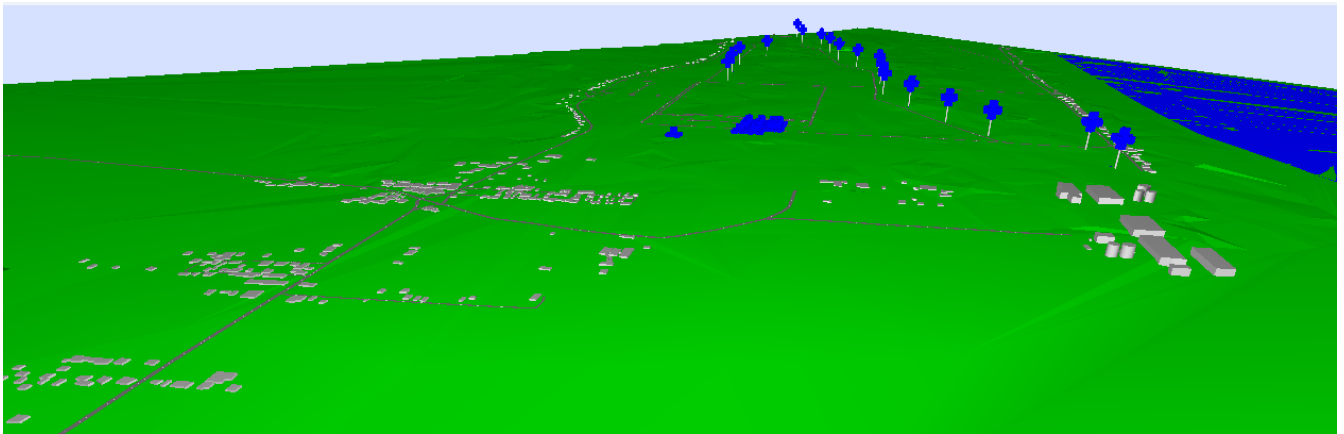


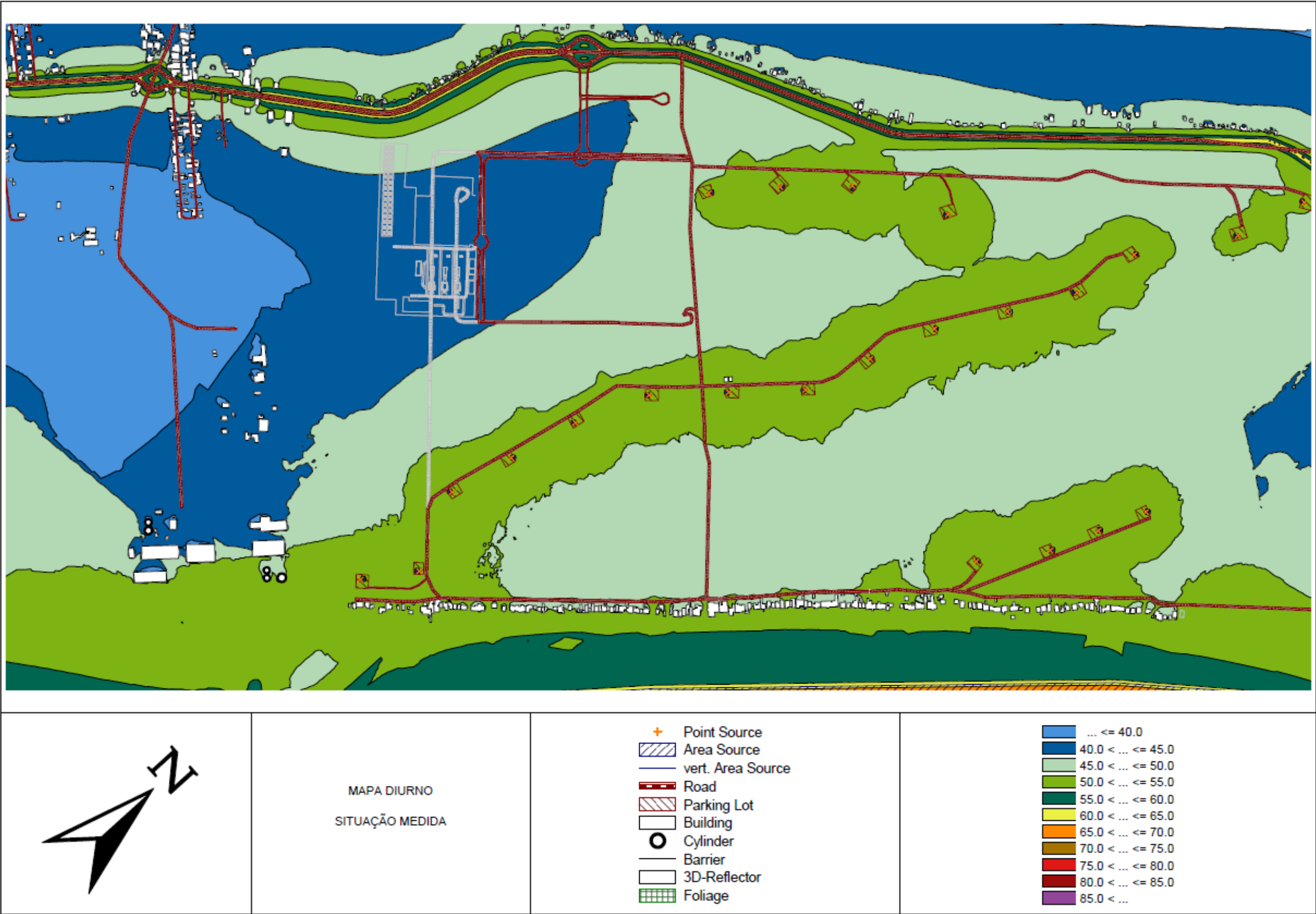
Figura 7 – Layout da modelagem computacional de ruído das fontes de ruído (em azul) consideradas.

Para a obtenção de nível de ruído inferior no período noturno, a fim de atender ao valor de garantia de 60 dBA para este período, todas as fontes tiveram uma correção de atenuação de 10 dBA. Ou seja, seus níveis foram diminuídos em cada banda de oitava por esse valor resultando então no valor de 60.2 dBA no limite inferior da planta.

4. Resultados

4.1 Simulação

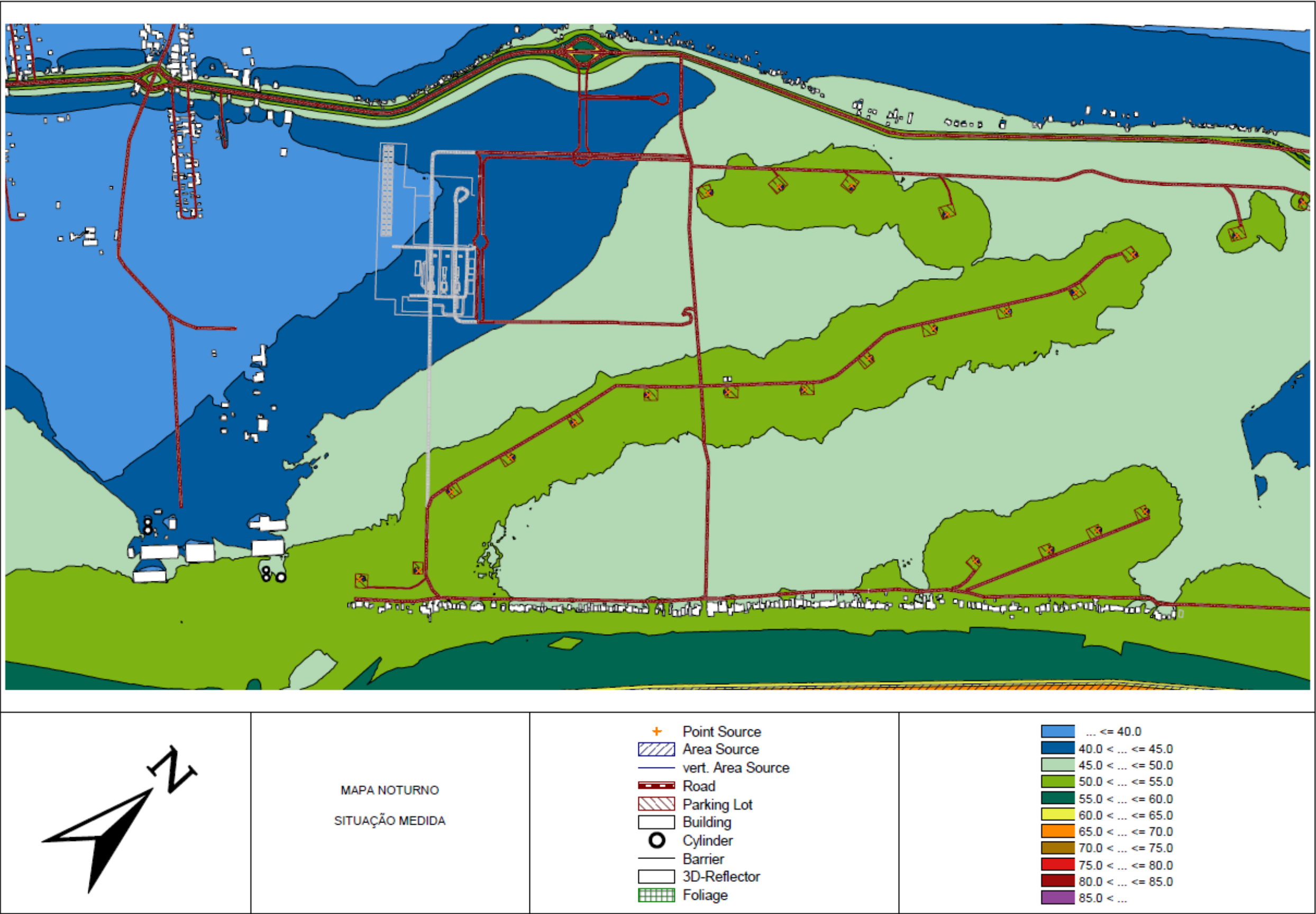
4.1.1 MAPA DE RUÍDO – SITUAÇÃO ACÚSTICA ATUAL (MEDIDO) – DIURNO



4.1.2 IMAGEM GOOGLE EARTH – SITUAÇÃO ACÚSTICA ATUAL (MEDIDO) – DIURNO



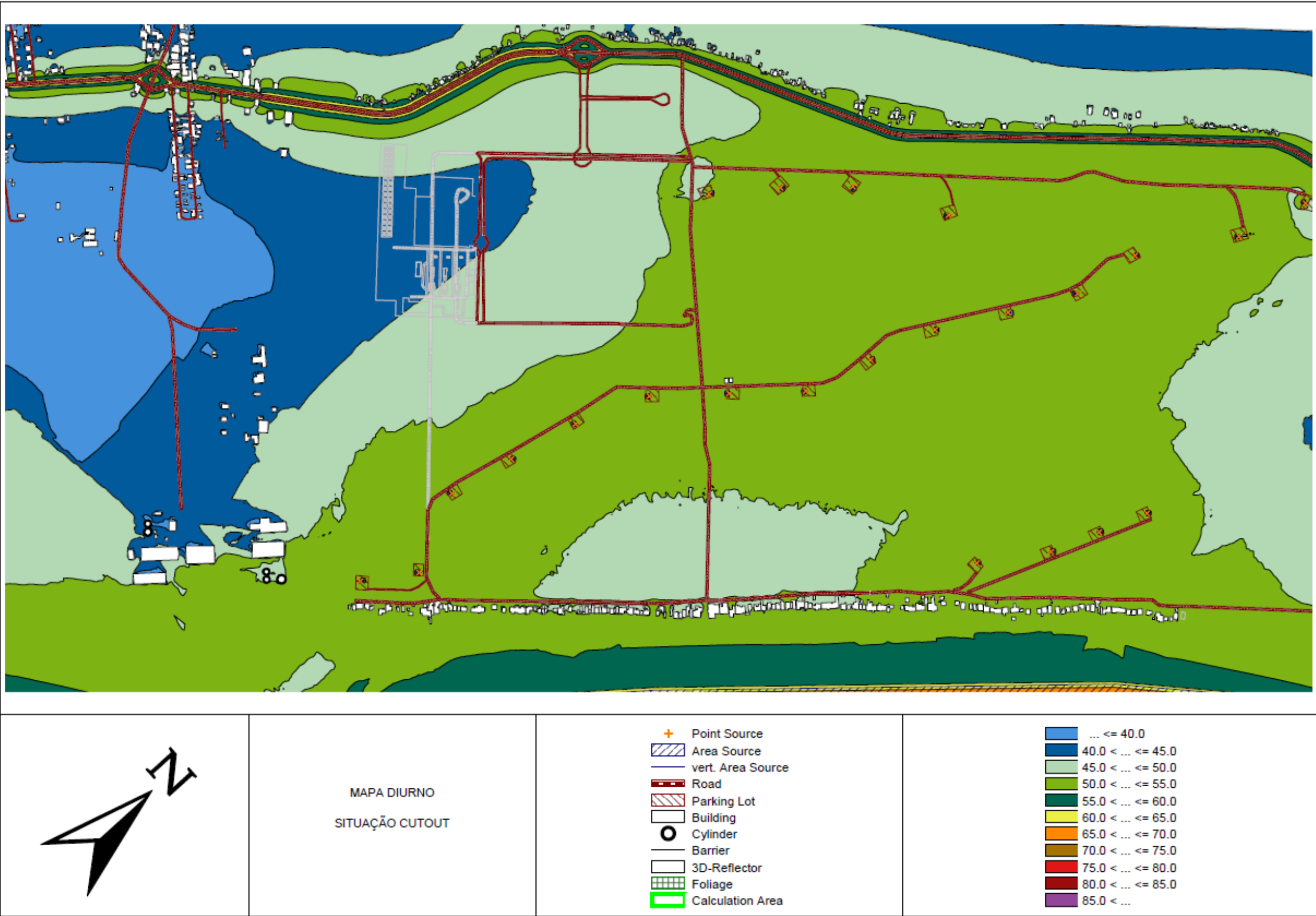
4.1.3 MAPA DE RUÍDO – SITUAÇÃO ACÚSTICA ATUAL – NOTURNO



4.1.4 IMAGEM GOOGLE EARTH – SITUAÇÃO ACÚSTICA ATUAL (MEDIDO) – NOTURNO



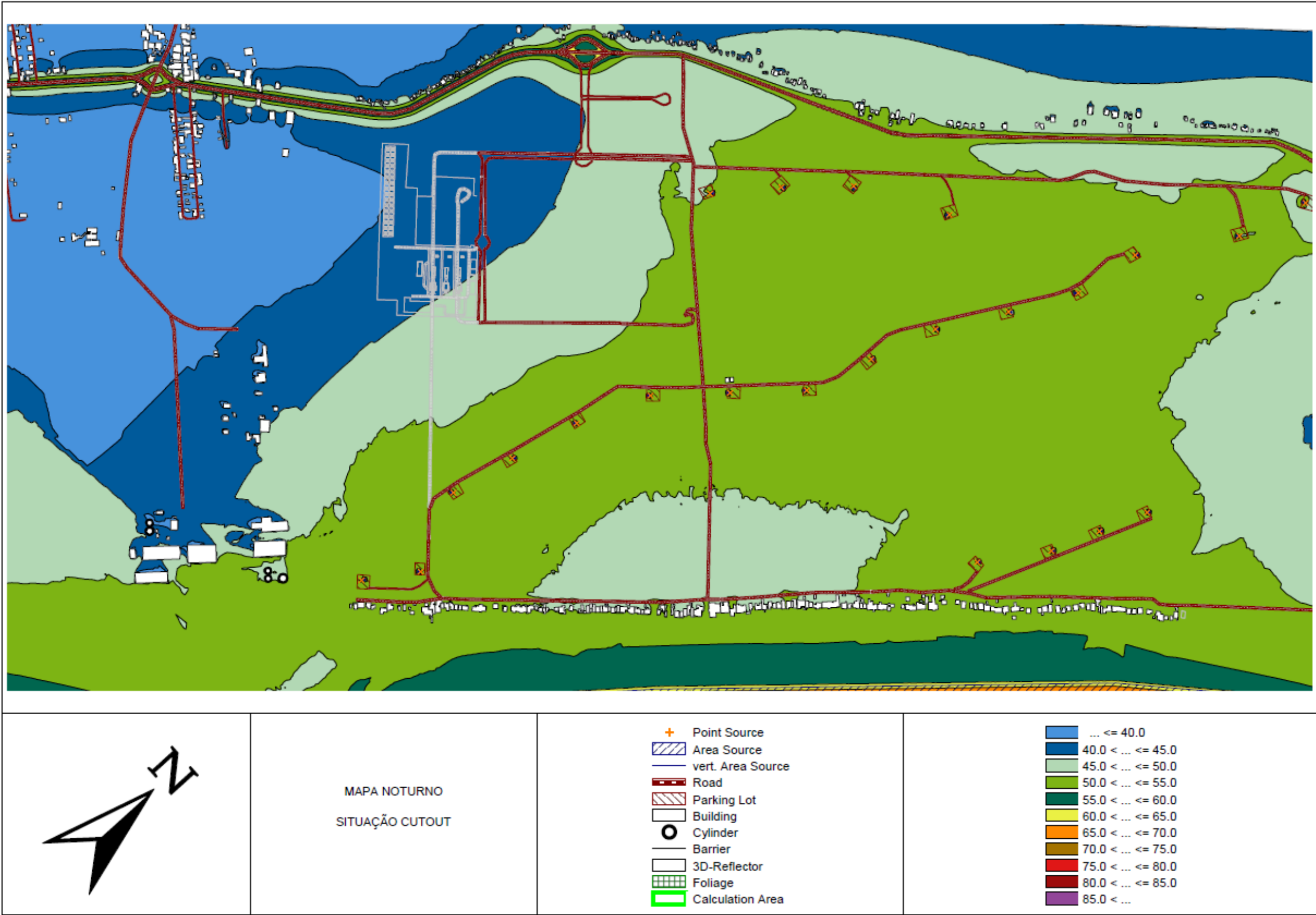
4.1.5 MAPA DE RUÍDO – SITUAÇÃO DE CUTOUT DOS AEROGERADORES – DIURNO



4.1.6 IMAGEM GOOGLE EARTH – SITUAÇÃO DE CUTOUT DOS AEROGERADORES – DIURNO



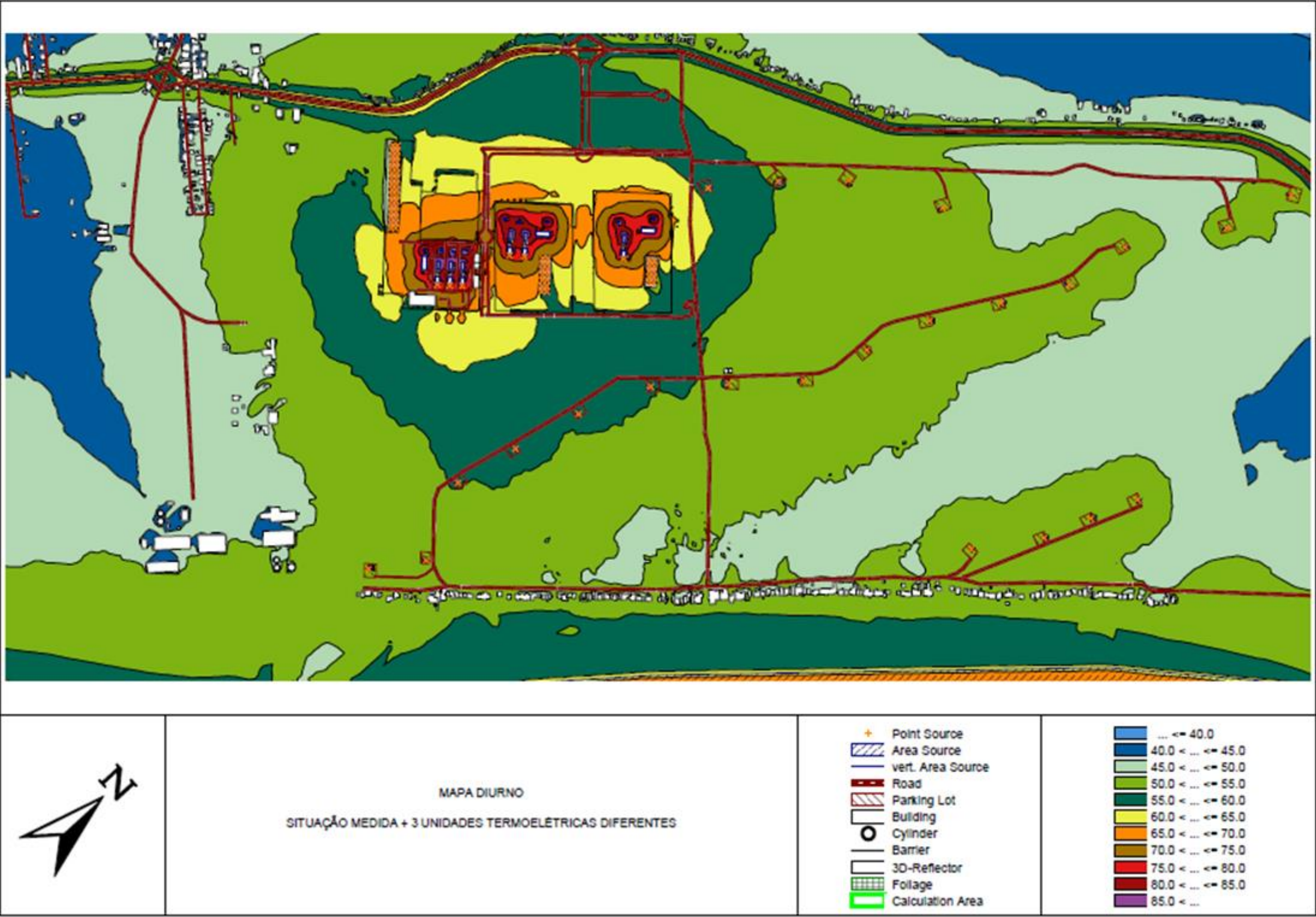
4.1.7 MAPA DE RUÍDO – SITUAÇÃO CUTOUT DOS AEROGERADORES – NOTURNO



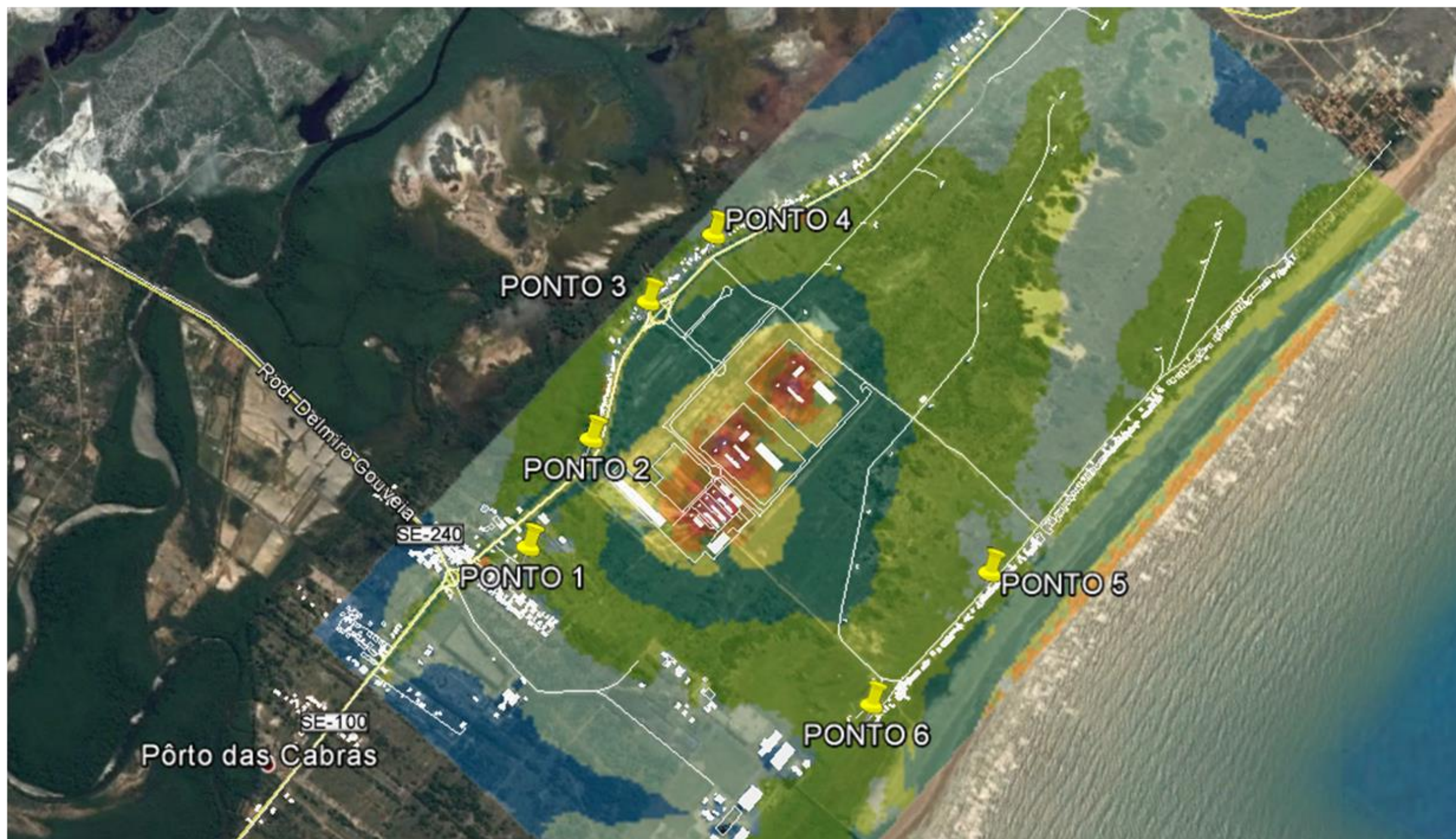
4.1.8 IMAGEM GOOGLE EARTH – SITUAÇÃO CUTOUT DOS AEROGERADORES – NOTURNO



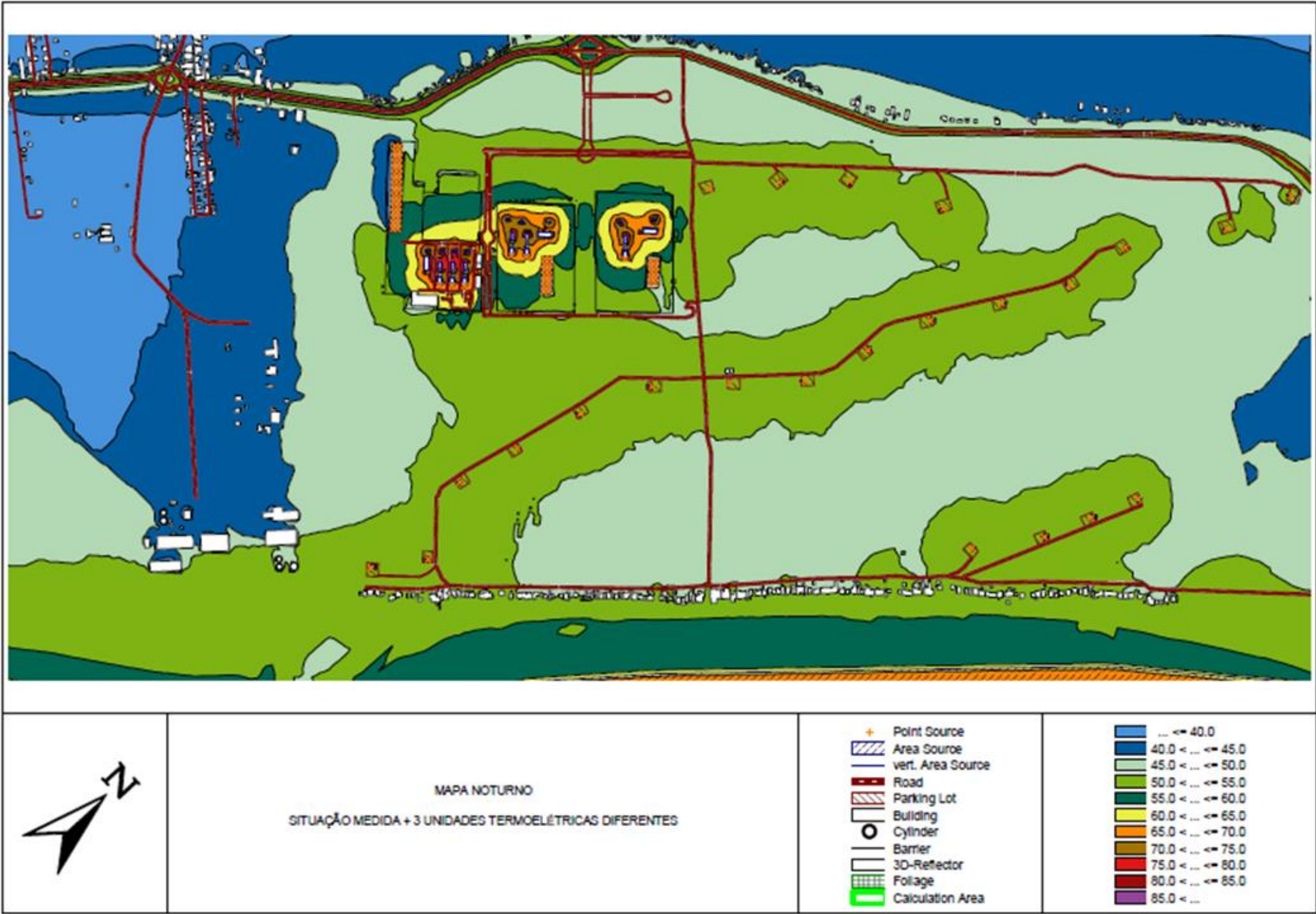
4.1.9 MAPA DE RUÍDO – SITUAÇÃO MEDIDA E OPERAÇÃO DAS UTE’s PORTO SERGIPE I, LARANJEIRAS I e GOVERNADOR MARCELO DEDA – DIURNO



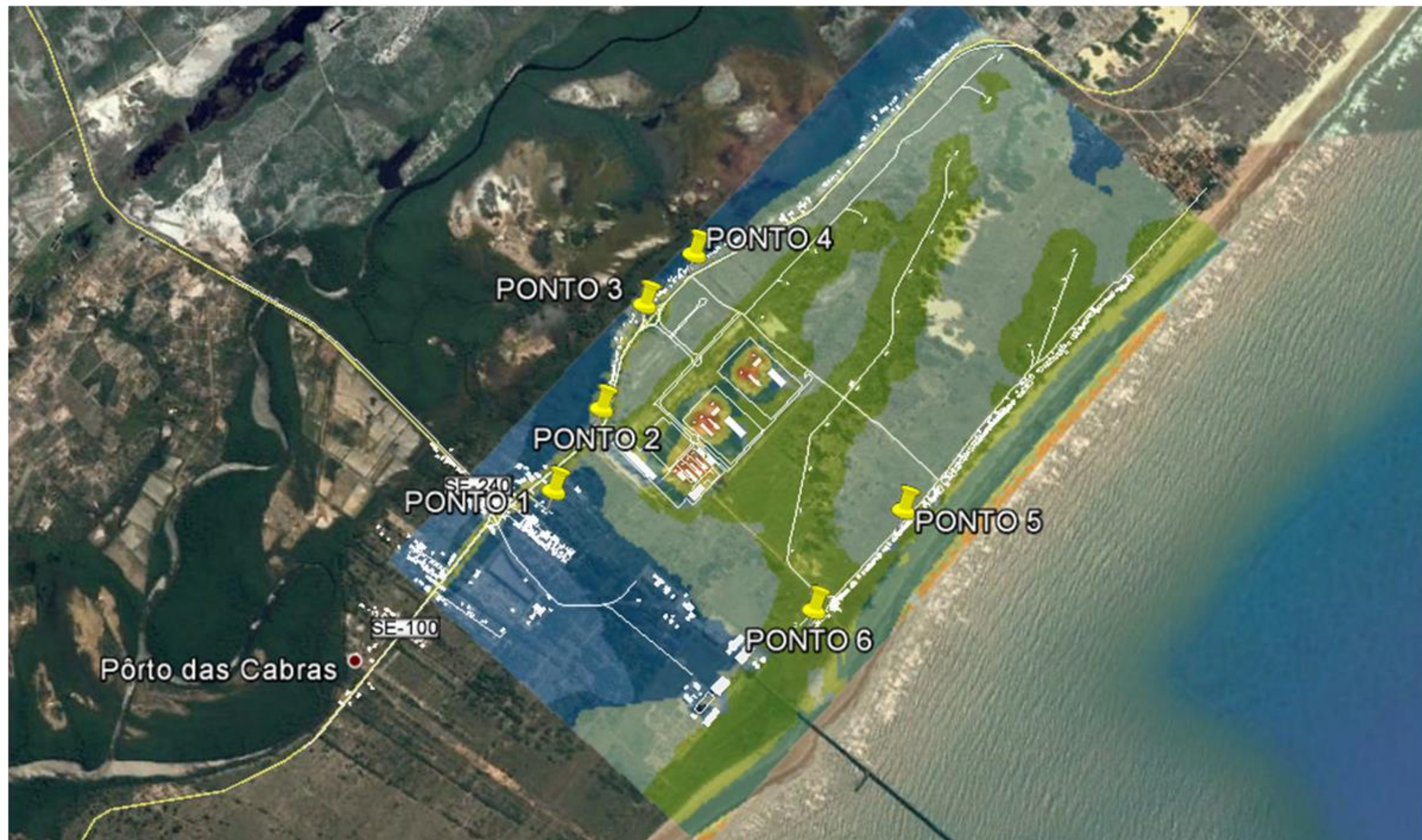
4.1.10 IMAGEM GOOGLE EARTH – SITUAÇÃO MEDIDA OPERAÇÃO DAS UTE's PORTO SERGIPE I, LARANJEIRAS I e GOVERNADOR MARCELO DEDA – DIURNO



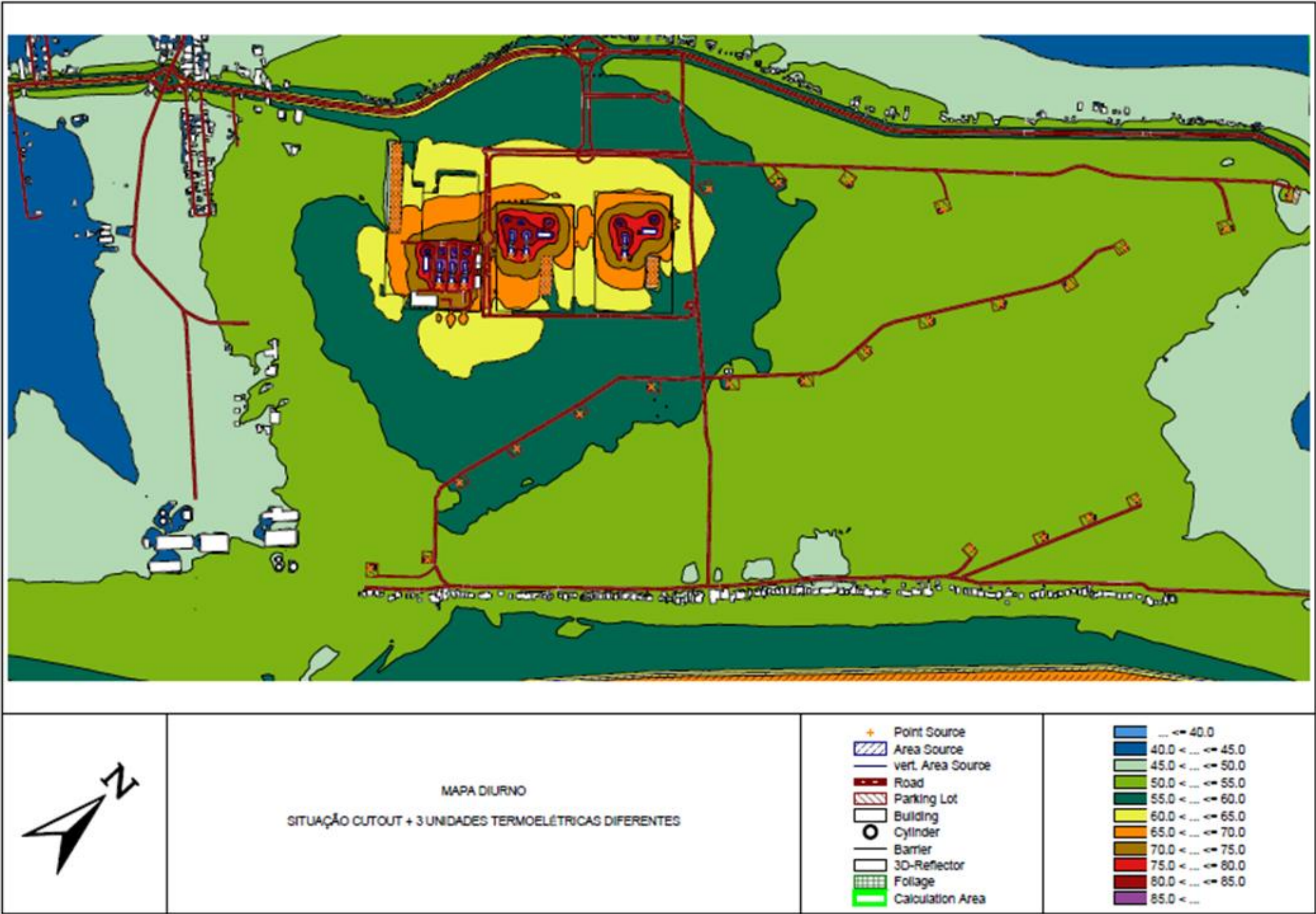
4.1.11 MAPA DE RUÍDO – SITUAÇÃO MEDIDA OPERAÇÃO DAS UTE’s PORTO SERGIPE I, LARANJEIRAS I e GOVERNADOR MARCELO DEDA – NOTURNO



4.1.12 IMAGEM GOOGLE EARTH – SITUAÇÃO MEDIDA OPERAÇÃO DAS UTE's PORTO SERGIPE I, LARANJEIRAS I e GOVERNADOR MARCELO DEDA – NOTURNO



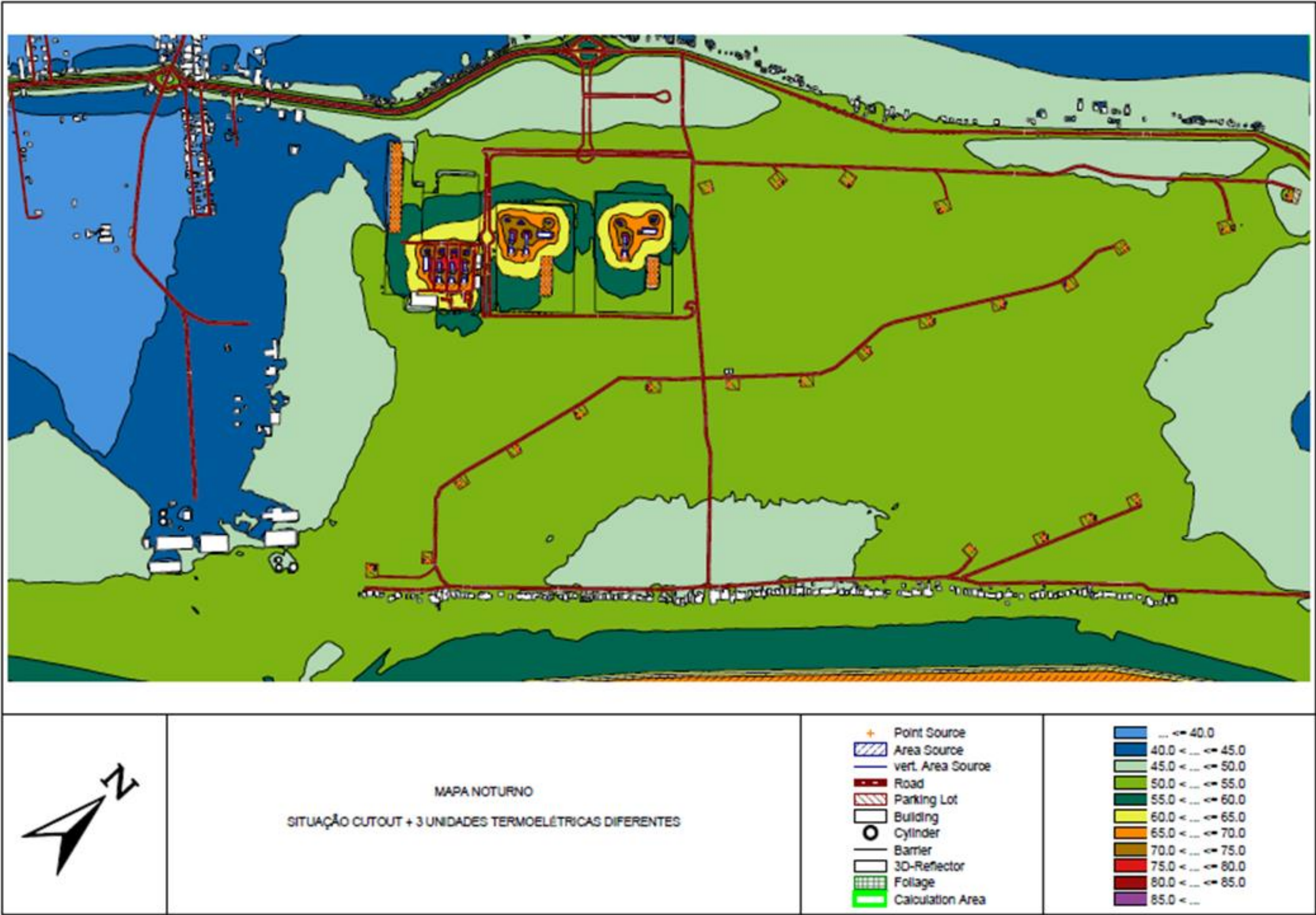
4.1.13 MAPA DE RUÍDO – SITUAÇÃO DE CUTOUT DOS AEROGERADORES OPERAÇÃO DAS UTE’s PORTO SERGIPE I, LARANJEIRAS I e GOVERNADOR MARCELO DEDA – DIURNO



4.1.14 IMAGEM GOOGLE – SITUAÇÃO DE CUTOUT DOS AEROGERADORES OPERAÇÃO DAS UTE's PORTO SERGIPE I, LARANJEIRAS I e GOVERNADOR MARCELO DEDA – DIURNO



4.1.15 MAPA DE RUÍDO – SITUAÇÃO DE CUTOUT DOS AEROGERADORES OPERAÇÃO DAS UTE’s PORTO SERGIPE I, LARANJEIRAS I e GOVERNADOR MARCELO DEDA – NOTURNO



4.1.16 IMAGEM GOOGLE EARTH – SITUAÇÃO DE CUTOUT DOS AEROGERADORES OPERAÇÃO DAS UTE's PORTO SERGIPE I, LARANJEIRAS I e GOVERNADOR MARCELO DEDA – NOTURNO



4.2 Análises

Nessa seção serão realizadas as análises dos resultados apresentados na seção anterior levando-se em consideração o escopo requisitado pela contratante. Os pontos de medição que representam os receptores críticos de interesse à análise deste estudo de previsão de níveis de ruído são os Pontos 1 a 6, o Ponto 7 encontra-se a distancia considerável das plantas de processo das UTE's Porto de Sergipe I, Laranjeiras I E Governador Marcelo Deda.

Todos os pontos já foram classificados a partir de micro análise realizada por ocasião da campanha de medições de ruídos, cujas classificações de área com base na NBR 10151/2000 constam do relatório "RELATÓRIO AMBIENTAL de AVALIAÇÃO DE RUÍDO CELSE Centrais Elétricas de Sergipe S.A." como área de sítios e fazendas.

Na referida campanha de medições constatou-se que os níveis de ruído ambiente existentes nas localidades dos receptores dos Pontos 1 a 6 se encontravam acima do estabelecido pela NBR 10.151/2000 para ambos os períodos, assumidos os valores existentes conforme preconizado no item 6.2.4 da referida norma para a análise de impacto sonoro.

Dessa forma será discutido no relatório o aumento do ruído nesses pontos com respeito exclusivamente à modificação de operação da usina eólica na situação de "cutout" dos aerogeradores, na situação de operação medida a velocidade de vento de 3m/s com a implantação estimada das UTE's Porto Sergipe I, Laranjeiras I e Governador Marcelo Deda, e também a situação mais crítica com o parque eólico operando em "cutout" e as três UTE's em operação. Para mensurarmos o impacto nos pontos de receptores eleitos recuperou-se a pressão sonora diretamente nos pontos especificados através do software utilizado, a Tabela 11 mostra esse resultado.

Os níveis sonoros/resultados obtidos assinalados em verde significam pouco aumento em relação à situação atual (até 1 dBA) os níveis assinalados em amarelo significam um aumento de 2 dBA a 3 dBA e os aqueles assinalados em vermelho um aumento relevante (maior que 3 dBA) em relação a condição atual/medida.

Tabela 11 – Comparação entre situação atual, situação futura e norma

Pontos	Ruído ambiente medido Situação atual/norma**		Níveis obtidos na calibração da modelagem		Cutout de aerogeradores		Situação medida/calibrada + UTE's Porto Sergipe I, Laranjeiras I e Gov. Marcelo Deda **		Cutout de aerogeradores + UTE's Porto Sergipe I, Laranjeiras I e Gov. Marcelo Deda	
	Diurno	Noturno	Diurno	Noturno	Diurno	Noturno	Diurno	Noturno	Diurno	Noturno
Ponto 1	43	43	44	43	44	43	50	45	50	45
Ponto 2	59	56	58	49	58	49	60	51	60	51
Ponto 3	51	50	54	54	54	54	57	55	57	55
Ponto 4	53	52	54	46	54	48	55	47	55	48
Ponto 5	48	47	49	48	50	49	51	49	51	50
Ponto 6	51	51	52	52	52	52	53	52	53	52

Nota:

** Com velocidade vento de 3m/s indicada também na garantia do fornecedor dos equipamentos /planta de processo.

A condição de “cutout” altera de forma considerável uma boa região do mapa entre os aerogeradores, como mostra o mapa de ruído 4.1.5. – SITUAÇÃO DE CUTOUT DOS AEROGERADORES – DIURNO, entretanto o aumento do ruído não chega a alterar de forma relevante os receptores eleitos. Isto se deve ao fato de a maioria dos receptores encontram-se afastados dos aerogeradores. Como pode ser avaliado pela simulação, o aumento de ruído ocorre nos receptores dos Pontos 4 e 5 mais próximos dos aerogeradores.

Quando considerada a operação conjunta das UTE's Porto Sergipe I, Laranjeiras I e Governador Marcelo Deda, observadas as hipóteses e premissas adotadas para estimativa da situação futura, verificou-se a ocorrência de impacto sonoro na região. A implantação das UTE's implicará em alteração da paisagem acústica dessas localidades. Tal situação pode ser observada comparando o mapa 4.1.1 – SITUAÇÃO ACÚSTICA ATUAL (MEDIDO) – DIURNO e o mapa 4.1.9 – SITUAÇÃO MEDIDA E OPERAÇÃO DAS UTE's PORTO SERGIPE I, LARANJEIRAS I e GOVERNADOR MARCELO DEDA – DIURNO.

A área de residências mais afetada situa-se a oeste da planta de processo (Pontos 1 e 3). A região do Ponto 1 encontra-se suficientemente distante da rodovia SE-100 e dos aerogeradores com baixos níveis de ruído medido e projetado, no Ponto 2 não deverão ocorrer acréscimos expressivos devido aos níveis existentes/medidos que se apresentarem próximos daqueles projetados, da mesma maneira no Ponto 3 também distante dos aerogeradores e próximo da

rodovia SE-100 com níveis existentes mais expressivos por conta do tráfego de veículos da referida rodovia.

A localidade do Ponto receptor 1 deverá ser afetada com uma previsão de aumento do nível de ruído existente /medido de 7 dBA no período diurno. Entretanto, o valor neste ponto não ultrapassa 50 dBA no período diurno, e no período noturno não há previsão de acréscimo significativo, sendo previsto 2 dBA. Para o Ponto 3 é esperado impacto sonoro nos períodos diurno e noturno com incrementos ao ruído ambiente existente de 6 dBA e 5 dBA, sendo que os níveis obtidos excedem ao parâmetro da NBR 10151/2000 em 2 dBA e 5 dBA respectivamente aos períodos diurno e noturno. A região dos Pontos 2, 4, 5 e 6 também devem sofrer impacto sonoro, porém de baixa intensidade.

Na situação mais crítica, com os aerogeradores do parque eólico em “cutout” conjuntamente com a operação das UTE’s, os impactos sonoros deverão ser leves na região dos pontos 1, 2, 3, e 6; nos Pontos 4 e 5 o impacto é levemente maior. Considere-se, no entanto, que esta situação não deverá alterar de forma considerável o ruído nos receptores eleitos, embora os mapas acústicos indiquem uma mudança da situação acústica da região, em especial ao oeste das UTE’s.

Observe-se ainda que o ruído projetado nos pontos de receptores eleitos encontram-se no “borderline” do valor de 55 dBA para o período diurno e de 50 dBA para o período noturno, níveis de critério (NCA’s) da NBR 10151/2000 para áreas mistas com predominância residencial. Somente no Ponto 3 e período noturno é que o valor projetado excede mais significativamente o parâmetro da Norma/nível medido em 5 dBA, e para o Ponto 2 pode-se considerar na análise o valor medido – $L_{ra} = 59$ dBA.

Esta perspectiva é muito interessante à análise de impacto sonoro no contexto da localidade, pois a implantação de empreendimentos como as UTE’s Porto Sergipe I, Laranjeiras I e Governador Marcelo Deda propicia alteração da característica de ocupação e uso de solo no seu entorno, atraindo comércios, prestadores de serviços.

5. Conclusão

A simulação computacional indicou uma alteração acústica da região para todas as situações testadas. O ruído nos pontos receptores deverão ser sutilmente modificados pela operação do parque eólico na situação de “cutout” dos aerogeradores, entretanto na proximidade do parque eólico os mapas indiquem mudanças da situação acústica. Espera-se também um impacto de ruído por conta da operação das UTE’s Porto Sergipe I, Laranjeiras I e Governador Marcelo Deda em especial na região oeste do complexo das plantas de processo.

São Paulo, 7 de agosto de 2017.



Eng^a Eliane Reis Charro Quirino
CREA 5061554792
IBAPE 1432

6. Referências

- [1]RELATÓRIO AMBIENTAL de AVALIAÇÃO DE RUÍDO CELSE Centrais Elétricas de Sergipe S.A., Eliane Reis Charro Quirino.
- [2] Site:<http://www.datakustik.com/en/applications/traffic-noise/> - Acessado em 04/02/2014.
- [3]Acústica Aplicada ao controle do ruído, Sylvio R. Bistafa (Capítulos 8 e 9).
- [4] Tópico de Proposta de Ruído (Guarantees), fornecido pelo cliente. Presente na seção “3.3 Noise Emissions” (páginas 9 a 11)

7. ANEXO I

1.7-103 - Normal Operation									
Standard wind speed at 10 m [m/s]		5	5.5	6	6.5	7	8	9	10-Cutout
Hub height wind speed at 80 m [m/s]		7.0	7.7	8.4	9.1	9.7	11.1	12.5	14-Cutout
Frequency (Hz)	32	73.9	75.9	77.8	79.5	80.6	80.7	80.6	80.4
	63	83.4	85.5	87.5	89.3	90.5	90.5	90.5	90.3
	125	88.7	90.9	92.9	94.7	95.5	95.7	95.7	95.6
	250	92.7	95.0	97.1	99.0	98.1	97.7	97.7	97.6
	500	94.9	97.6	100.0	102.2	101.5	100.3	100.3	100.3
	1000	93.8	96.2	98.5	100.8	101.7	102.4	102.6	102.7
	2000	92.5	94.5	96.4	98.1	98.9	99.6	99.6	99.4
	4000	86.7	89.2	91.3	93.2	92.8	91.4	90.5	89.9
	8000	68.8	72.1	74.9	77.1	75.2	74.1	73.3	72.6
16000	31.2	33.4	35.4	37.6	37.9	35.9	35.6	35.9	
Total apparent sound power level $L_{WA,k}$ [dB]		100.3	102.6	104.9	106.9	107.0	107.0	107.0	107.0

Table 1: Normal Operation Calculated Apparent Sound Power Level, 1.7-103 with 80 m hub height as a function of 10 m wind speed ($z_{0ref} = 0.05$ m), the octave band spectra are for information only