MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CARTOGRÁFICA

1º Ten EDUARDO FERNANDES SOARES CORRÊA
1º Ten DANIEL LIMA SANTANELLI

MODELOS DIGITAIS DE SUPERFÍCIE PARA LOCALIZAÇÃO DE EMISSOR DE RADIOFREQUÊNCIA

Rio de Janeiro
2018

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

1º Ten EDUARDO FERNANDES SOARES CORRÊA
1º Ten DANIEL LIMA SANTANELLI

MODELOS DIGITAIS DE SUPERFÍCIE PARA LOCALIZAÇÃO DE EMISSOR DE RADIOFREQUÊNCIA

Projeto de Fim de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Cartógrafo.

Orientador: Ivanildo Barbosa - D.Sc.

Rio de Janeiro
2018

c2018

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
Praça General Tibúrcio, 80 - Praia Vermelha
Rio de Janeiro - RJ CEP 22290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmar ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do(s) autor(es) e do(s) orientador(es).

004.69 Corrêa, Eduardo Fernandes Soares
S586e Modelos Digitais de Superfície para localização de emissor de radiofrequência / Eduardo Fernandes Soares Corrêa, Daniel Lima Santanelli, orientado por Ivanildo Barbosa - Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2018.

37p.: il.

Projeto de Fim de Curso (graduação) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2018.

1. Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica - projeto de fim de curso. 1. Localização. 2. TDoA. 3. Ray tracing. 4. Multilateração. I. Barbosa, Ivanildo . II. Título. III. Instituto Militar de Engenharia.

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

1º Ten EDUARDO FERNANDES SOARES CORRÊA
1º Ten DANIEL LIMA SANTANELLI

MODELOS DIGITAIS DE SUPERFÍCIE PARA LOCALIZAÇÃO DE EMISSOR DE RADIOFREQUÊNCIA

Projeto de Fim de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Cartográfica do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção de grau na Verificação Final (VF).

Orientador: Ivanildo Barbosa - D.Sc.

Aprovado em 8 de Outubro de 2018 pela seguinte Banca Examinadora:

Ivanildo Barbosa - D.Sc. do Instituto Militar de Engenharia

Luciano Augusto Terra Brito - D.Sc. do Instituto Militar de Engenharia

---

Marcos de Meneses Rocha - D.Sc. do Instituto Militar de Engenharia

Rio de Janeiro
2018

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES 5

LISTA DE TABELAS 6

LISTA DE SIGLAS 7

1 INTRODUÇÃO 10
1.1 TDoA 10
1.2 Motivação 10
1.3 Objetivo 11
1.4 Justificativa 11

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 12
2.1 TDoA 12
2.2 Ray tracing 13
2.3 Distância de Mahalanobis 13
2.4 Distribuição F de Fisher-Snedecor 13
2.4.1 Raytracing 14
2.4.2 Como executar o *script* 15
2.4.3 Descrição dos parâmetros de entrada 15
2.4.4 Outputs 17

3 METODOLOGIA 18
3.1 Cenário 18
3.2 Conversão de Arquivos 19
3.3 Simulação *Ray Tracing* 20
3.4 Construção de Modelo Digital 22
3.5 Cálculo da Posição 23

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 30
4.1 Ponto 1 30
4.2 Ponto 2 30
4.3 Ponto 3 31
4.4 Ponto 4 31
4.5 Ponto 5 32

4.6 Conclusão 33

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 37

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIG.2.1 Distribuição F de Snedecor com parâmetros m = 2 e n = 3 14
FIG.2.2 Matriz que exemplifica um arquivo de terreno 16

FIG.3.1 Construções e antenas dispostas na Urca 18
FIG.3.2 Diagrama de conversão de arquivos 19
FIG.3.3 Modelo tridimensional das construções 20
FIG.3.4 Tempo de simulação com 1 sensor ou 100 sensores 21
FIG.3.5 Transmissor na posição do sensor S1 e sensores dispostos no terreno 22
FIG.3.6 Transmissor na posição do sensor S2 e sensores dispostos no terreno 23
FIG.3.7 Transmissor na posição do sensor S3 e sensores dispostos no terreno 24
FIG.3.8 Transmissor na posição do sensor S4 e sensores dispostos no terreno 25
FIG.3.9 Linhas iniciais da matriz M 26
FIG.3.10 MDS da matriz M21 26
FIG.3.11 MDS da matriz M31 26
FIG.3.12 MDS da matriz M41 27
FIG.3.13 MDS da matriz M32 27
FIG.3.14 MDS da matriz M42 27
FIG.3.15 MDS da matriz M43 28
FIG.3.16 Pontos a serem localizados 28
FIG.3.17 Resultados com outlier 29
FIG.3.18 Resultado final para o ponto P5 29

FIG.4.1 Saída do script para Ponto 1 30
FIG.4.2 Saída do programa para Ponto 2 com Outliers 31
FIG.4.3 Saída do script para Ponto 2 32
FIG.4.4 Saída do programa para Ponto 3 com Outliers 33
FIG.4.5 Saída do programa para Ponto 3 34
FIG.4.6 Saída do programa para Ponto 4 35
FIG.4.7 Resultados com outlier 36
FIG.4.8 Resultado final para o ponto P5 36

LISTA DE TABELAS

TAB.3.1 Coordenadas dos sensores 19
TAB.3.2 Colunas da Matriz M 22
TAB.3.3 Colunas da Matriz Mij 23
TAB.3.4 Pontos 24

LISTA DE SIGLAS

GPS	Global Positioning System
TDoA	Time Difference of Arrival
AoA	Angle of Arrival
FDoA	Frequency Difference of Arrival
IME	Instituto Militar de Engenharia
NLoS	Non-line of sight

RESUMO

A constante necessidade do homem de localizar pontos no espaço faz com que técnicas e pesquisas sejam desenvolvidas na área de localização. A tecnologia avança no sentido de rastrear infratores da lei e outros elementos suspeitos. Muitas vezes, estes comunicam-se através de rádios e, a partir das ondas emitidas, é possível determinar a posição provável do emissor. Foram extraídos dados das construções da região da Praia Vermelha, na cidade do Rio de Janeiro, e simuladas quatro antenas do tipo *TDoA (Time Difference of Arrival)*, é feita uma simulação desse cenário em MATLAB, de onde são extraídas as diferenças de tempo necessárias para a localização através de multilateração. O resultado é um polígono de região com maior probabilidade de conter o emissor. A validação do resultado é feita comparando os resultados obtidos a pontos que geraram os valores de TDoA simulados.

ABSTRACT

Man's constant need to locate himself in the universe makes this techniques and research development in localization happen. This not only seeks to locate itself as the other, mainly for security reasons. However, law offenders and other suspicious elements choose to hide their location. These often communicate through radios and, thus, one has the technology in favor of justice. Currently, using TDoA sensors, it is possible to determine the probable position of the emitter. Using Urca district, in Rio de Janeiro, and four TDoA antennas, to simulate this scenario in a controlled environment. The validation of the result will be made comparing the results obtained to the emitter that originated the TDoA simulation results.

1 INTRODUÇÃO

A geolocalização é uma área que pode ser amplamente explorada. Esse tipo de pesquisa é útil especialmente por questões de segurança, como proteger áreas importantes ou localizar veículos de contrabando.A precisão na localização de um móvel depende do método que é utilizado.

1.1 TDOA

TDoA (Time Difference of Arrival) é uma técnica bem estabelecida para a geolocalização de emissores de rádio frequência. Utilizando três ou mais receptores, os algoritmos do TDoA localizam uma fonte de sinal através dos diferentes tempos de chegada nos receptores. Para uma localização 3D, é necessário um mínimo de quatro sensores, móveis ou fixos, que são controlados por uma estação central.

Para realizar a simulação, é utilizado o algoritmo do Ray Tracing, que prevê o caminho dos raios que partem do emissor, sofrem reflexões em superfícies, como construções, e chegam até os receptores. Sempre que um emissor entra em uma situação de *NLoS* (*Non-line-of-sight*, ou fora do campo de visão), os valores de diferença de tempo entre o emissor e os sensores (*TDoA*) variam e sua precisão diminui. Para melhorar essa precisão, um mapa de diferenças de tempo entre os sensores na região de interesse, criado a partir da simulação Ray Tracing, é usado para melhorar o sistema TDoA no cenário em questão. Então, os pontos, para determinados valores de TDoA, são plotados em um mapa, de forma que a interseção entre os pontos para cada TDoA é a região provável do emissor. A partir de um script em MATLAB, extraímos as informações de simulação de uma área real, contendo informações geométricas, eletromagnéticas e de tempo.

1.2 MOTIVAÇÃO

A insegurança em que vivemos hoje exige o surgimento de estratégias de combate ao crime. Duas situações que motivaram o desenvolvimento do trabalho foram: o grande estado de violência em que se encontra o Rio de Janeiro, registrando o maior número de assaltos de sua história em 2017; uso no SISFRON para o monitoramento das fronteiras, reduzindo por exemplo a entrada ilegal de pessoas, drogas e armas no Brasil. A violência e evolução do crime organizado fazem necessárias novas estratégias de combate ao mesmo.

Predizer sua localização a tempo hábil de intervenção é prioridade no contexto social do país.

1.3 OBJETIVO

O objetivo do trabalho é, através de scripts em MATLAB, gerar as coordenadas da posição mais provável de um emissor de ondas tendo como parâmetros de entrada diferenças de tempo entre o emissor e sensores. .

1.4 JUSTIFICATIVA

Simulações *Ray Tracing* têm como saída os dados sobre a trajetória das ondas eletromagnéticas emitidas, carecendo de pós-processamento para visualização.
A escolha de sensores TDoA se dá pela boa performance dos mesmos em situações de multicaminho, situação onde outros tipos de sensor, como os de frequência(FDoA) e diferença angular (AoA), são mais afetados pela situação e apresentação precisão menor nos resultados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 TDOA

Um sistema de multilateração, utilizado para aplicações civis e militares de navegação e monitoramento, é constituído de várias antenas que recebem o mesmo sinal de rádio de 3 ou mais estações, fixas ou móveis, e de uma unidade central de processamento, que calcula a posição de um emissor através da medição da diferença do tempo da chegada do sinal nas diferentes antenas.

(COMPAGNONI et al., 2014) O objetivo de um sistema TDoA é a localização de emissores de rádio. Para uma localização em três dimensõs, é necessário um mínimo de 4 sensores, móveis ou fixos. Os sensores são controlados por uma estação central. Assim, para um cenário padrão, temos $S_i = (x_i, y_i)$, com $i = 1, 2, 3, 4$ para as posições dos sensores e a posição do emissor é dada por $S = (x, y)$. T_{i1} é a diferença do tempo de chegada da onda eletromagnética entre o sensor i e o sensor 1. r_{i1} é a distância entre o emissor e o sensor 1.$r_{i1} = r_i - r_1$. Os valores de r_i podem ser obtidos multiplicando os valores de T_{i1} pela velocidade da luz (c). Assim, temos:

$$
\begin{aligned}
(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 &= r_1^2 \\
(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 &= r_2^2 = (r_1 + r_{21})^2 = (r_1 + T_{21}c)^2 \\
(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 &= r_3^2 = (r_1 + r_{31})^2 = (r_1 + T_{31}c)^2 \\
(x - x_4)^2 + (y - y_4)^2 + (z - z_4)^2 &= r_3^4 = (r_1 + r_{41})^2 = (r_1 + T_{41}c)^2
\end{aligned}
\tag{2.1}
$$

Dispondo das quatro equações, é possível solucionar o sistema e encontrar as quatro incógnitas (x, y, z, r_1) e, assim, o alvo num espaço tridimensional. As posições dos sensores são frequentemente obtidas do GPS em coordenadas WGS84. Para solucionar o sistema, as coordenadas devem ser convertidas num sistema de coordenadas cartesiano (longitude, latitude e altitude).

2.2 RAY TRACING

Ray tracing é um algoritmo de computação gráfica usado para síntese de imagens tridimensionais.

(GLASSNER, 1989) Os raios de luz são emitidos a partir de uma fonte, e percorrem uma linha reta até encontrar um objeto. Quando o atingem, são refratados ou refletidos, de acordo com as características daquele objeto: cor, textura e transparência, por exemplo. Alteram, assim, sua trajetória e fazem com que a minoria dos raios que partem da fonte de luz atinja os olhos do observador.

O algoritmo *Ray Tracing* simula o caminho inverso realizado pela luz visível; ou seja, o receptor se torna a fonte de luz, que atinge os outros objetos da imagem, determinando o que está mais perto ou mais distante dele. Para definir o trajeto percorrido pela luz (reflexão e refração), utiliza informações do cenário, como altura das construções e material das superfícies refletoras.

2.3 DISTÂNCIA DE MAHALANOBIS

(MANLY; MANLY, 2005) A distância de Mahalanobis é baseada nas correlações entre variáveis com as quais padrões distintos podem ser identificados e analisados. É uma estatística útil para determinar a similaridade entre uma amostras distintas e, consequentemente, detectar *outliers*.

Essa distância explica a variância de cada variável e a covariância entre as variáveis. Geometricamente, ela transforma os dados obtidos em dados não correlacionados padronizados e calcula a distância euclidiana comum para esses dados transformados. A distância de Mahalanobis, então, proporciona uma maneira de medir distâncias que levam em conta a escala dos dados. Dessa forma, pontos que apresentam um desvio-padrão alto em relação à média são eliminados da lista de vértices do polígono final.

Matematicamente, a distância de Mahalanobis entre um grupo de valores com média $(\mu_1, \mu_2, ..., \mu_p)^T$ e matriz covariância S para um vetor $\left(x_1, x_2, ..., x_p\right)^T$ é definida por:

$$D_M(x) = \sqrt{(x-\mu)^T S^{-1}(x-\mu)}. \tag{2.2}$$

2.4 DISTRIBUIÇÃO F DE FISHER-SNEDECOR

(JOHNSON et al., 1995) Uma variável aleatória contínua X tem distribuição F de Snedecor com n graus de liberdade no numerador e m graus de liberdade no denominador

se sua função densidade de probabilidade é definida por:

$$f(x) = \frac{\Gamma\left[\frac{m+n}{2}\right]\left(\frac{m}{n}\right)^{\frac{n}{2}} x^{\frac{m}{n}-1}}{\Gamma\left[\frac{m}{2}\right]\Gamma\left[\frac{n}{2}\right]\left[\left(\frac{m}{n}\right)x+1\right]^{\frac{m+n}{2}}}$$

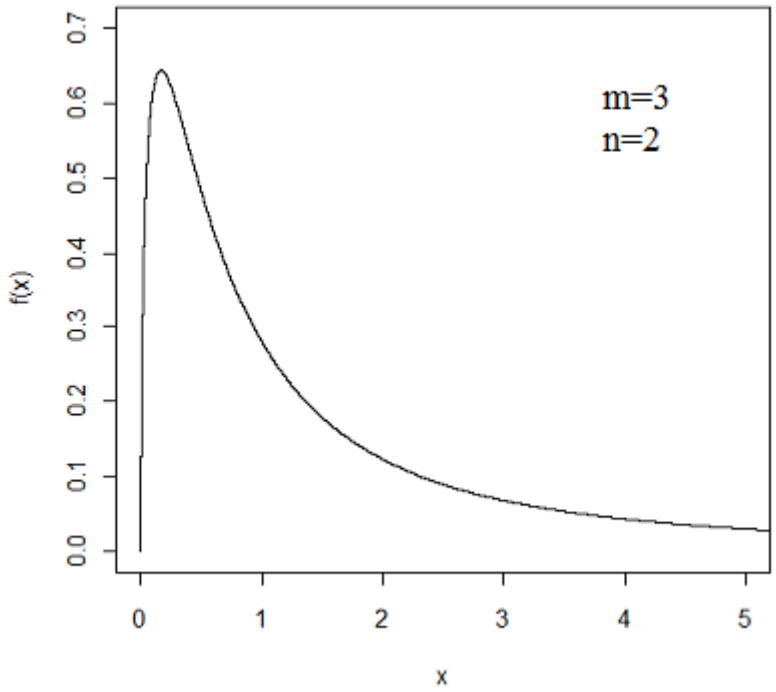

FIG. 2.1: Distribuição F de Snedecor com parâmetros m = 2 e n = 3

2.4.1 RAYTRACING

(RAPPAPORT et al., 1996) O programa que realiza cálculos do *Ray Tracing* faz a predição de propagação determinística baseado em Óptica Geométrica e na Teoria Uniforme da Difração.

A entrada deste programa inclui uma descrição geométrica e eletromagnética precisa do ambiente de propagação e as posições e padrões de radiação da antena das antenas de transmissão (Tx) e recepção (Rx). O programa opera em duas etapas principais:

• Um passo geométrico, onde traça as trajetórias dos raios que conectam Tx e Rx através de múltiplas interações com o ambiente, como por exemplo: reflexões, difrações e espalhamento.

• Um passo eletromagnético, onde calcula a evolução do campo emitido pela antena Tx ao longo de cada um dos raios até que o Rx seja atingido e uma projeção na antena Rx seja feita.

Um uso correto do programa implica o conhecimento do formato dos parâmetros de entrada, parâmetros de simulação e resultados de saída. Este documento destina-se a ajudar

o usuário a dar os primeiros passos no uso do script.

2.4.2 COMO EXECUTAR O *SCRIPT*

O script pode ser executado classicamente a partir da interface de linha de comando, chamando o arquivo .exe seguido pelos parâmetros solicitados da seguinte maneira:
exexutable_name input.map tx_file.tx rx_file.rx param.dat output_name
Aqui temos uma breve descrição destes parâmetros:
• input.map é um arquivo que contém links para arquivos adicionais com informações sobre as propriedades geométricas e eletromagnéticas do ambiente de simulação.
• tx_file é um arquivo que contém informações sobre Tx, incluindo posição, potência de Tx e padrão de radiação da antena.
• rx_file é um arquivo que contém informações sobre Rx, incluindo posição e padrão de radiação da antena.
• param.dat é um arquivo onde os parâmetros de simulação são definidos.
• output_name é o nome sob o qual os arquivos de saída serão salvos.

2.4.3 DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS DE ENTRADA

O programa precisa de 3 arquivos principais de entrada para executar as simulações: um arquivo .map contendo os endereços de arquivos adicionais com informações geométricas e eletromagnéticas sobre o cenário, um arquivo .tx com informações sobre o transmissor e um arquivo .rx com informações sobre o receptor.

Arquivo .map

O arquivo .map contém os endereços dos arquivos com informações sobre o ambiente de simulação.

Arquivo .bld

O arquivo .bld contém as coordenadas dos vértices dos polígonos que constituem a descrição geométrica em 2D dos edifícios. Para cada bloco, as seguintes informações são necessárias: construções, tipo de superfície e número de vértices.

São utilizados os arquivos: ROOF_ABS.ATR, que contém as alturas absolutas das construções definidas no arquivo .bld; e ROOF_REL.ATR, que é similar ao primeiro, mas contém alturas relativas ao terreno.

Arquivo .elm

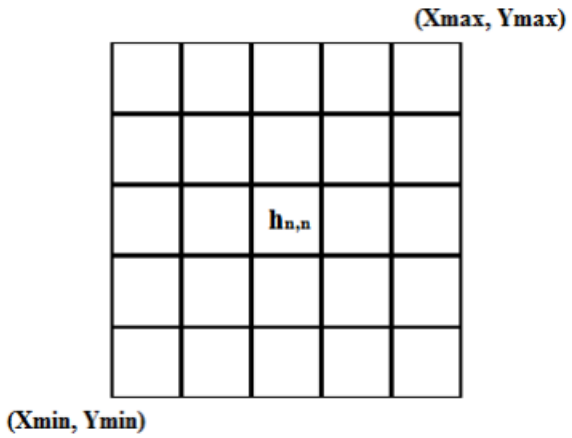

FIG. 2.2: Matriz que exemplifica um arquivo de terreno

Este arquivo contém as propriedades eletromagnéticas das superfícies do cenário em termos de permissividade relativa e condutividade. O tipo de interações ativadas para cada parede também é definido de acordo com um código (r = reflexão, d = difração, s = espalhamento, n = nenhum). Além disso, também é possível adicionar como parâmetros opcionais o coeficiente de espalhamento difuso S_R, a espessura da parede e o coeficiente de transmissão difusa S_T.

Arquivo de terreno

O terreno é descrito por um arquivo binário em que cada valor é um inteiro de 2 bytes representando a altura média do pixel fornecido. Os dados podem ser armazenados usando um formato big-endian (byte mais significativo vem primeiro) ou um little-endian (byte menos significativo vem primeiro). Esse arquivo é uma estrutura matricial de dados semelhante a um raster, onde cada pixel é a altura do solo. Os dois índices da matriz correspondem às coordenadas x e y do cenário. Juntamente com as informações de altura, a entrada inclui a resolução nas direções x e y e as coordenadas mínima e máxima para cada eixo. Evidentemente, o sistema de coordenadas tem de ser consistente com o utilizado para descrever os outros componentes do cenário de simulação, como os prédios por exemplo.

Outros arquivos utilizados

arquivo .tx: contém as informações sobre o transmissor em termos de posição, potência de Tx, frequência e características de radiação.

arquivo .rx: contém informações sobre os receptores em termos de número e localização das posições e características de radiação da antena.

arquivo .ant: para simular a propagação em um ambiente 3D, é importante usar a descrição 3D dos padrões de radiação da antena, incluindo informações de polarização. Infelizmente, nem sempre é possível ter um padrão de radiação 3D completo da antena.

Portanto, também é possível usar padrões clássicos nos dois cortes principais (E-plane e H-plane) e extrapolar a partir deles o padrão de radiação 3D. De acordo com isso, há dois possíveis formatos .ant para serem usados como entrada: E_H e 3D.

2.4.4 OUTPUTS

Existem 3 arquivos de saída principais produzidos pelo script *Ray Tracing*: output_name.rays, output_name.pdp e output_name.pow. Esses arquivos incluem informações geométricas, eletromagnéticas e globais sobre a simulação realizada. Um arquivo adicional, output_name.mr, pode ser gerado para salvar informações contido em .pdp em um formato matricial para ser facilmente exportável para o MATLAB.

Arquivo .rays

O *arquivo .rays* de saída contém principalmente informações geométricas sobre a trajetória dos raios por armazenamento iterativo dos pontos em termos de coordenadas (x, y, z), a partir do receptor. Para cada raio, o primeiro e o último pontos coincidem com os pontos Rx e Tx, respectivamente.

Arquivo .pdp

O *arquivo .pdp* contém, para cada raio, informação eletromagnética, atraso de chegada, ângulos de partida e de chegada, polarização, potência e campo complexo recebido.

Arquivo .pow

O *arquivo .pow* resume informações globais no canal para cada posição do receptor. Os resultados são expressos em termos de potência total recebida e campo recebido (quando disponível; ou seja, soma coerente de componentes).

3 METODOLOGIA

3.1 CENÁRIO

O cenário inicialmente escolhido pode ser descrito como uma rede de sensores composta por 4 antenas, arbitrariamente denominadas: S1, S2, S3 e S4, distribuídas arbitrariamente no bairro da Urca, no Rio de Janeiro. Além disso, um emissor de posição desconhecida localizado em área a ser determinada. As posições das antenas foram determinadas de maneira que cubram toda a região da Praia Vermelha, onde o emissor estará localizado.

Através do Portal de Dados Geográficos Abertos da Cidade do Rio de Janeiro, disponibilizado pela prefeitura, é obtido o *shapefile* das edificações do bairro da Urca, com suas respectivas alturas. O arquivo vetorial foi analisado e processado no software QGIS, versão 3.2.0-Bonn. Construções internas a outras foram manualmente retiradas, e foi considerado o menor polígono que abrange ambas as construções.

A figura 3.1 representa as construções consideradas para a simulação, assim como as antenas dispostas no terreno, em vermelho.

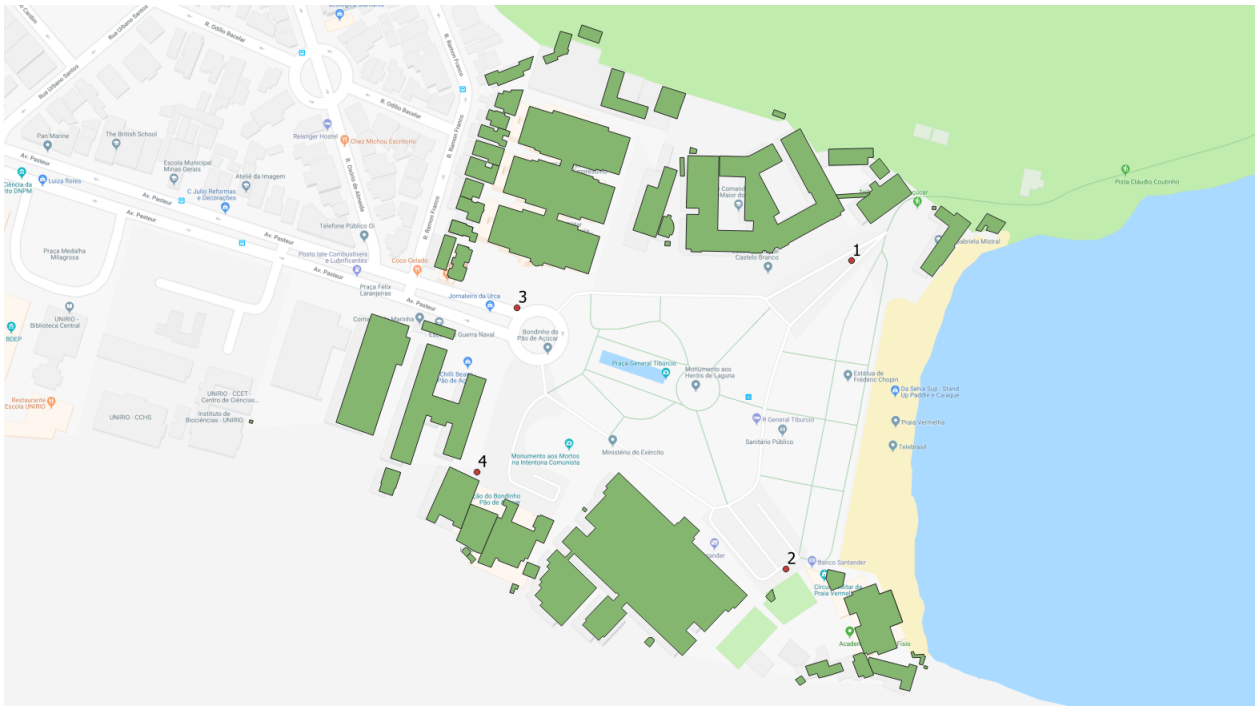

FIG. 3.1: Construções e antenas dispostas na Urca

As antenas são distribuídas de maneira arbitrária. As coordenadas das antenas estão dispostas na tabela 3.1.O sistema de referência de coordenadas utilizado no projeto foi o SAD 69/Zona UTM 23S, EPSG: 29193.

SENSOR	COORDENADA X	COORDENADA Y
S1	688187,768142961	7460415,84160714
S2	688145,910299042	7460230,89374008
S3	687985,097317991	7460390,19135414
S4	687959,478788625	7460291,54963343

TAB. 3.1: Coordenadas dos sensores

Essas feições são exportadas em formato *shapefile* e posteriormente utilizadas para a simulação.

3.2 CONVERSÃO DE ARQUIVOS

Os arquivos em formato *shapefile* obtidos na primeira etapa são, nesta, convertidos de forma a adequarem-se aos arquivos de entrada do simulador *Ray Tracing*. Para isso, foi desenvolvido um script em MATLAB R2017b.

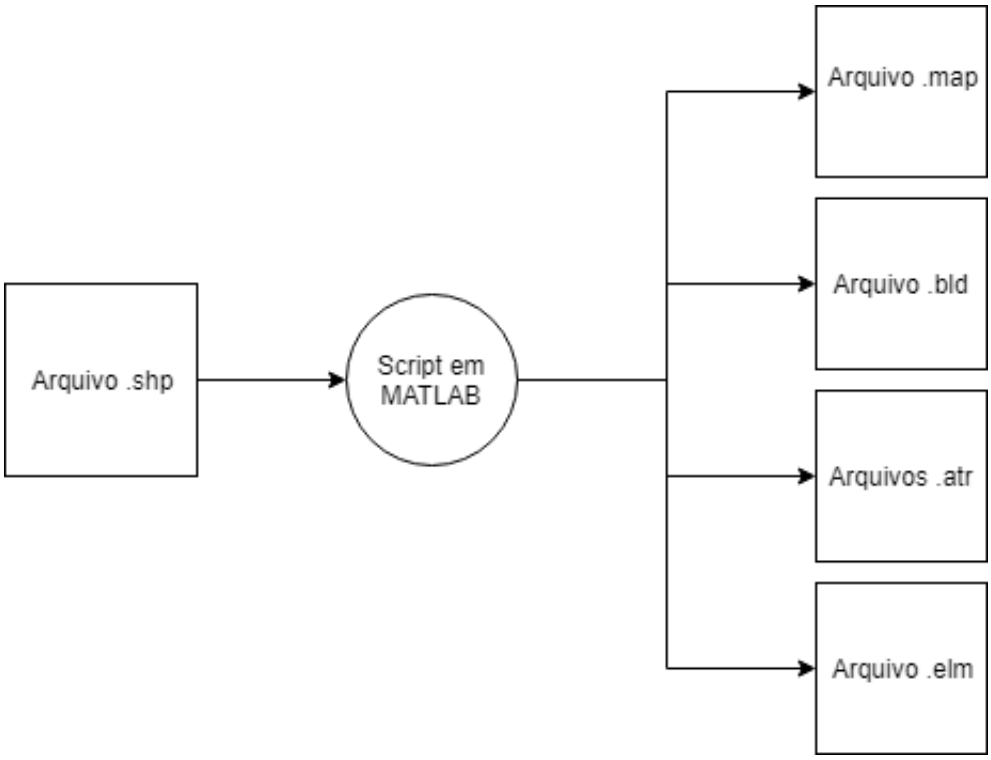

FIG. 3.2: Diagrama de conversão de arquivos

Os arquivos são convertidos para os formatos *.bld, *.map, *.atr, *.elm, que são entradas da simulação *Ray Tracing*, todos relacionados e derivados das feições das construções da área. Os arquivos *.tx e *.rx, referentes às posições dos transmissores e sensores, são feitos manualmente, pela simplicidade que a operação quer: substituição de coordenadas. Essa simulação tem como dados de saída o trajeto das ondas emitidas pelo transmissor, com suas respectivas coordenadas de interação com superfícies (reflexão, refração e difração), tempo percorrido pelas ondas até estas e distância.

3.3 SIMULAÇÃO *RAY TRACING*

Para a simulação Ray Tracing, foi utilizado um script em MATLAB disponibilizado pela Università di Bologna. O script gera um modelo tridimensional das construções que pode ser visto na figura 3.3 e simula, neste cenário, os caminhos percorridos pelas ondas do transmissor até o sensor, respeitando os valores máximos para reflexão, difração e transmissão definidos em parâmetros no script. O número máximo de reflexões e difrações considerados foi 1.

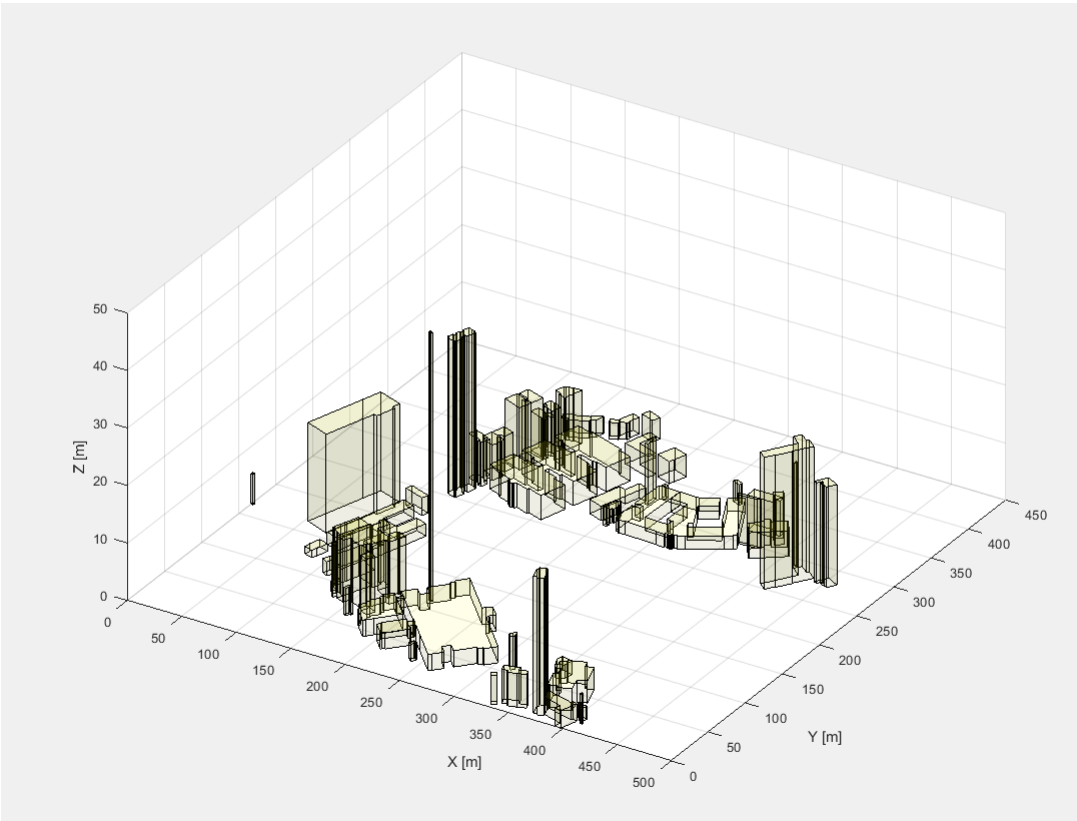

FIG. 3.3: Modelo tridimensional das construções

O objetivo das simulações é mapear no terreno os tempos de um transmissor em cada

posição até cada um dos sensores dispostos. Será feita uma simulação para cada sensor, totalizando 4 simulações. A simulação ocorre independentemente para cada transmissor, logo o tempo de simulação é multiplicado pelo número de transmissores. Simular com um grande número de sensores, como vemos na figura 3.4, por outro lado, é computacionalmente mais vantajoso, por aumentar menos o tempo gasto.

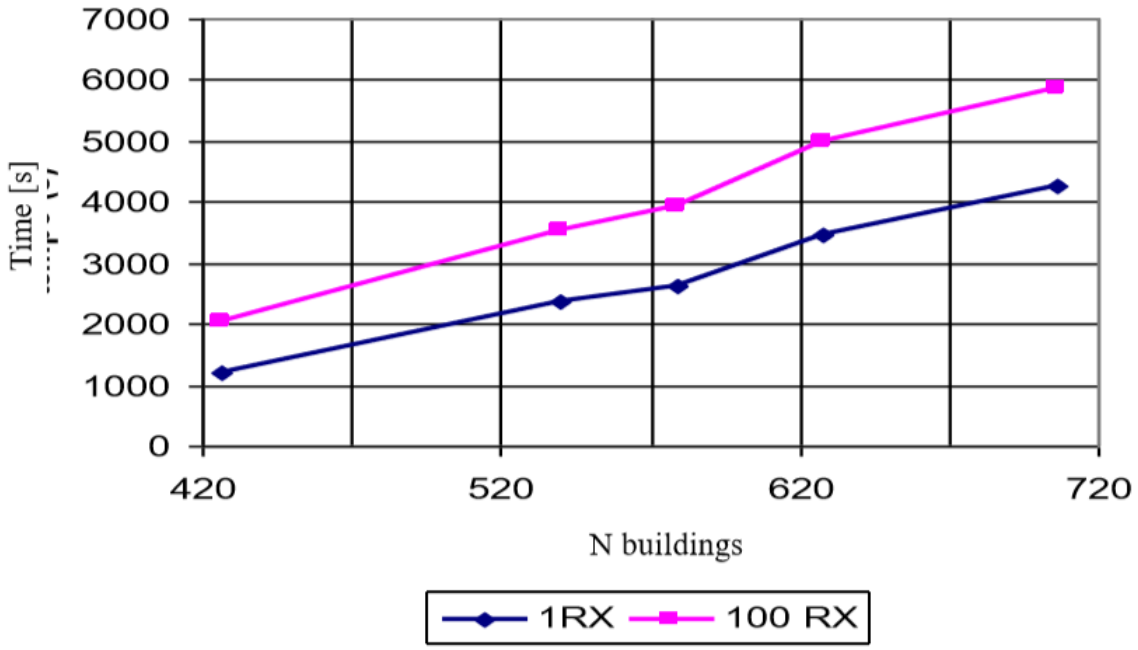

FIG. 3.4: Tempo de simulação com 1 sensor ou 100 sensores

Portanto, para construir um MDS com os valores de tempo em diversos pontos, será utilizado o princípio da reversibilidade. Para uma onda atingir o receptor, partindo do transmissor, ela leva o mesmo tempo caso percorresse o caminho contrário. Gozando desta propriedade física e da agilidade computacional em calcular os tempos de chegada das ondas nos cenários com um maior número de sensores, para fins práticos faremos as simulações invertendo os transmissores com os sensores. O transmissor tem sua posição definida, em cada simulação, como a do sensor correspondente à simulação. Os sensores, por sua vez, são dispostos nas posições que seriam ocupadas, originalmente, pelos transmissores. São utilizados 110 sensores, dispostos de 50 em 50m, tanto no eixo vertical quanto no horizontal, partindo da coordenada (0,0) até a coordenada (500,450). Na figura 3.5, os pontos menores nos encontros das linhas representam os sensores. O ponto preto maior representa o transmissor, nesse caso na posição do sensor S1. Será utilizado, da saída da simulação, o tempo de cada posição a cada sensor, mapeando assim a área.

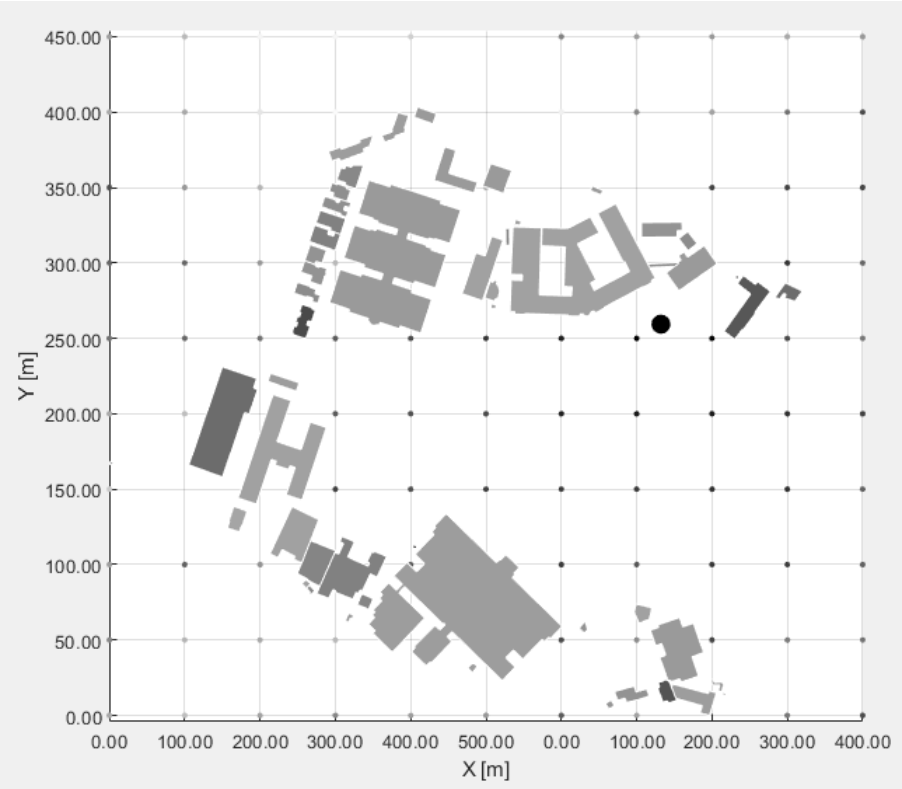

FIG. 3.5: Transmissor na posição do sensor S1 e sensores dispostos no terreno

3.4 CONSTRUÇÃO DE MODELO DIGITAL

Para construção do modelo digital, foi desenvolvido um script em MATLAB que lê os arquivos de saída do *Ray Tracing* e os organiza numa matriz M, seguindo o padrão da tabela 3.2.

X	Y	Z	T1	T2	T3	T4

TAB. 3.2: Colunas da Matriz M

Os valores de T1, T2, T3 e T4 são, respectivamente, os tempos em μs da posição definida pelas três primeiras colunas da matriz aos sensores S1, S2, S3 e S4.

Na figura 3.9 temos o resultado das 7 primeiras linhas da matriz M, de dimensões 110x7. Quando não há raios que chegam em um determinado ponto, seu valor de tempo na matriz M foi definido como 0. Os raios não chegam a um ponto por um dos dois motivos: o ponto é interno a uma construção (nesse caso, todas as linhas tem valor 0) ou a limitação do número de interações da onda com as construções não permite que chegue àquela posição.

A partir da matriz M, definem-se as matrizes M21, M31, M41, M32, M42, M43. A matriz Mij representa as posições em que para o sensor i e para o sensor j, o valor de

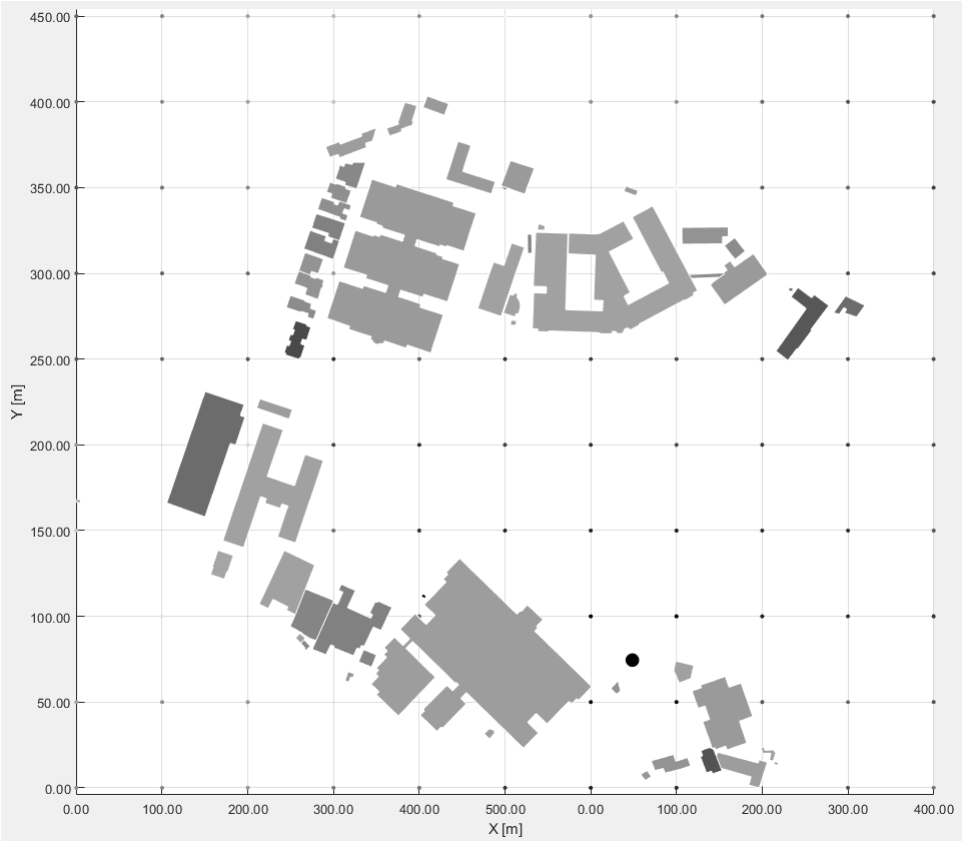

FIG. 3.6: Transmissor na posição do sensor S2 e sensores dispostos no terreno

tempo em M é diferente de zero. Também é representado o Tij, onde Tij = Tj - Ti. As matrizes Mij seguem o modelo da tabela 3.3

X	Y	Z	Tij

TAB. 3.3: Colunas da Matriz Mij

As matrizes Mij são consideradas modelos digitais de superfície com redes triangulares irregulares e foram representadas visualmente nas figuras 3.10, 3.11, 3.12, 3.13, 3.14 e 3.15.

3.5 CÁLCULO DA POSIÇÃO

Para o cálculo da posição de um ponto, temos como dados de entrada os valores de T21, T31, T41, T32, T42 e T43, extraídos das ondas recebidas pelas antenas. Por conta da falta de dados reais de antenas, serão usados dados extraídos da simulação *Ray Tracing*. Serão testados 5 pontos, descritos pela tabela 3.4 e representados na figura 3.16.

O ponto 5 será utilizado como referência para os procedimentos a seguir.
Para o ponto em frente ao IME, temos os seguintes valores de *TDoA*:
T21 = 0.528008982293000;

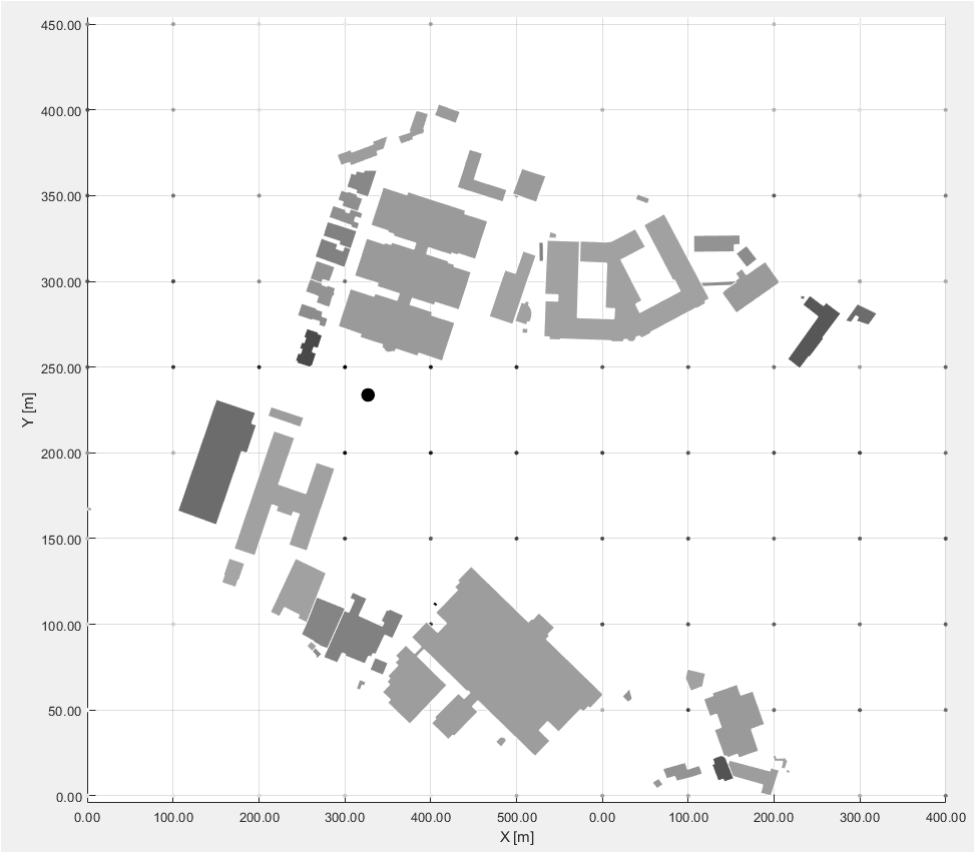

FIG. 3.7: Transmissor na posição do sensor S3 e sensores dispostos no terreno

Ponto	X	Y	Descrição
1	150	150	Em frente ao Bondinho
2	175	250	Em frente ao EPV
3	300	225	Em frente a ECEME
4	400	150	Próximo à praia
5	275	125	Em frente ao IME

TAB. 3.4: Pontos

T31 = 0.048280597318000;

T41 = 0.221968050684000;

T32 = -0.155049988883000;

T42 = 0.018637464483000;

T43 = 0.173687453366000;

Para os valores de entrada de TDoA, busca-se nas matrizes Mij os elementos da quarta coluna com valores de TDoA mais próximos dos de entrada. A matriz é reordenada de forma a ter as linhas superiores com os pontos com menor valor de $|TDoA_{simulado} - TDoA_{mapeado}|$. Assim, as primeiras linhas de toda matriz Mij representa os pontos mais prováveis para a posição do emissor para cada par de sensores. Para o ponto mais provável,

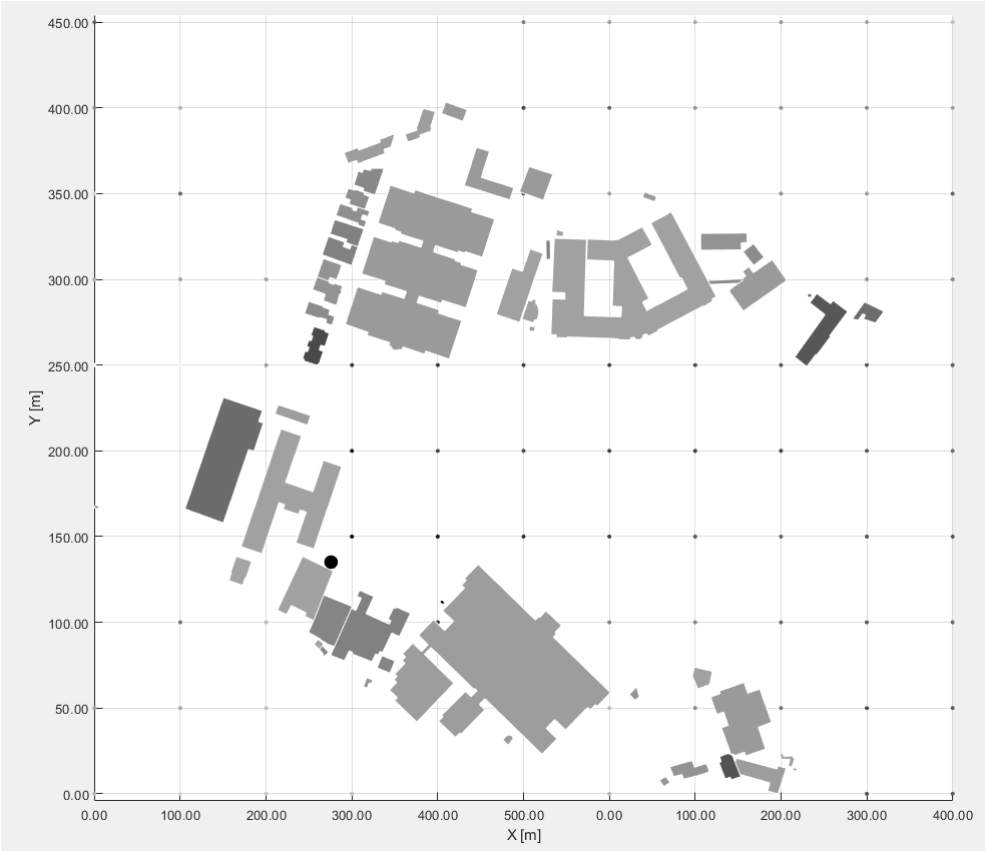

FIG. 3.8: Transmissor na posição do sensor S4 e sensores dispostos no terreno

é definido um círculo com centro no ponto e raio 25m. São definidos polígonos com 4 vértices dos mais prováveis para cada par de sensores, utilizando as 4 primeiras linhas das matrizes Mij. Dessa forma, obtemos o resultado parcial da figura 4.7

Para eliminar valores de outlier, utilizaremos a Distância de Mahalanobis e a distribuição f de Fisher Snedecor. Define-se a matriz P, 2x6, com os pontos mais prováveis para cada par de sensores. Calcula-se a distância de cada um dos pontos ao centróide e monta-se a matriz F. A matriz covariância da matriz P é dada por C. Para identificação dos outliers, definimos uma matriz $B = F * C * F^{-1}$. Ao analisarmos a diagonal da matriz B, comparamos os valores ao limite unilateral da distribuição qui quadrado ao nível 50% de probabilidade com 6 observações e 2 graus de liberdade. O valor de corte é 1.386.

No caso do Ponto 5, 3 valores são eliminados. Os pontos restantes formam um polígono de região provável do emissor.

Eliminando os outliers, temos o resultado da figura 4.8. Como saída, temos a lista de coordenadas ([300 100;350 100;250 150]), que formam o polígono de região mais provável.

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0	1	1.5239	1.1449	2.1894	0.6699
2	0	50	1	1.4107	1.1461	0.9484	0.5567
3	0	100	1	1.3363	0	0.7985	0
4	0	150	1	1.3426	1.6238	0.6633	0
5	0	200	1	1.2457	1.3405	0.5657	0
6	0	250	1	1.2211	1.3047	0.5475	2.3826
7	0	300	1	1.3027	1.3170	0.5879	0.9869
8	0	350	1	1.4131	1.4184	0.6723	1.3226
9	0	400	1	1.5418	1.5347	0.7899	1.3960

FIG. 3.9: Linhas iniciais da matriz M

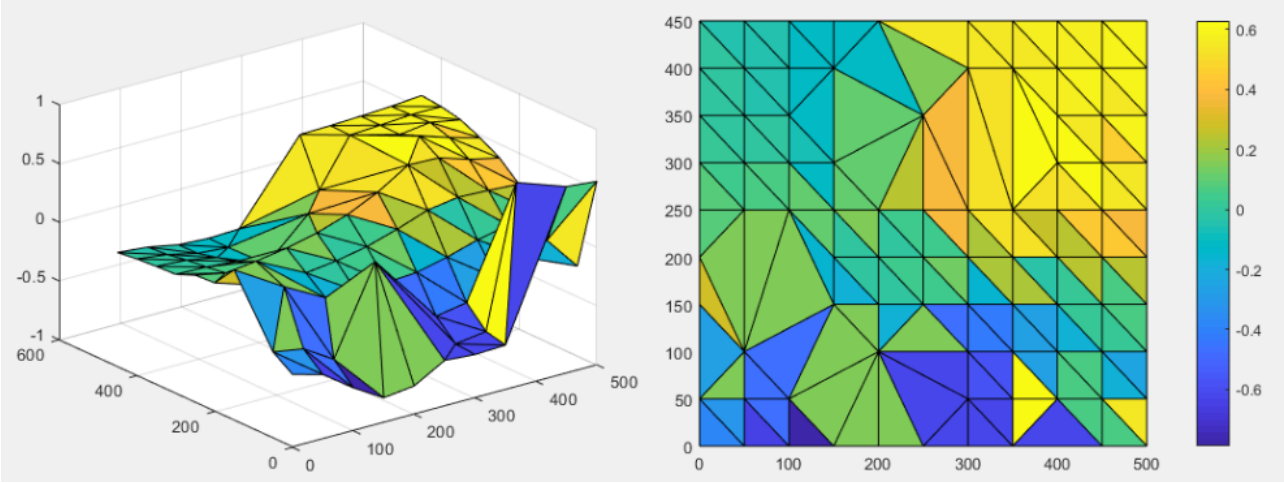

FIG. 3.10: MDS da matriz M21

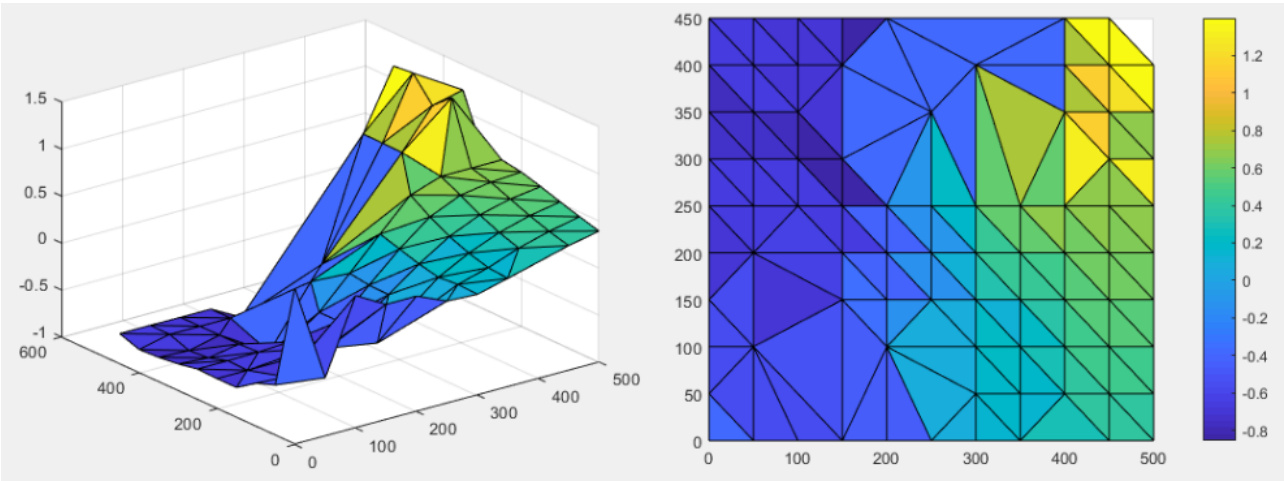

FIG. 3.11: MDS da matriz M31

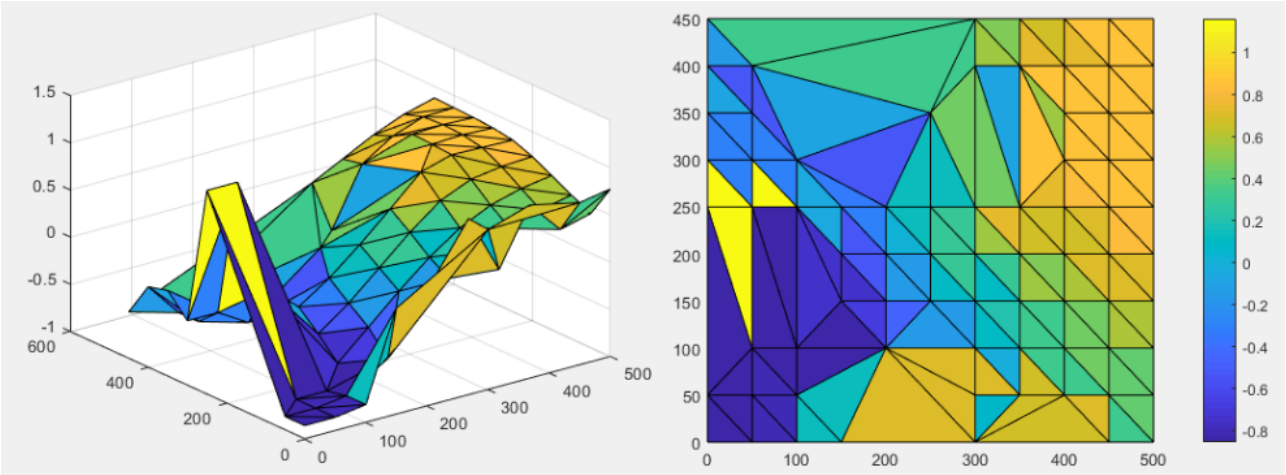

FIG. 3.12: MDS da matriz M41

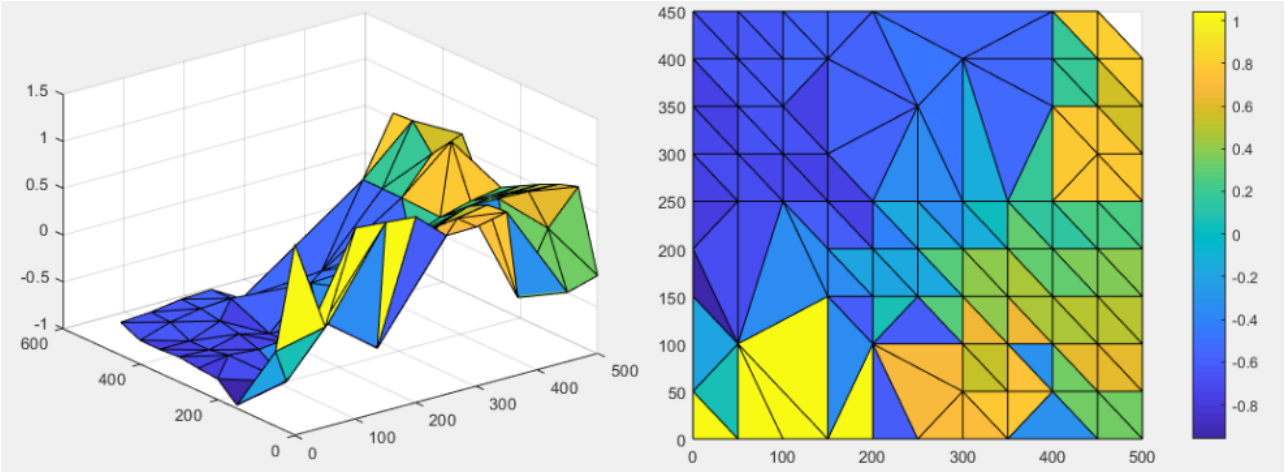

FIG. 3.13: MDS da matriz M32

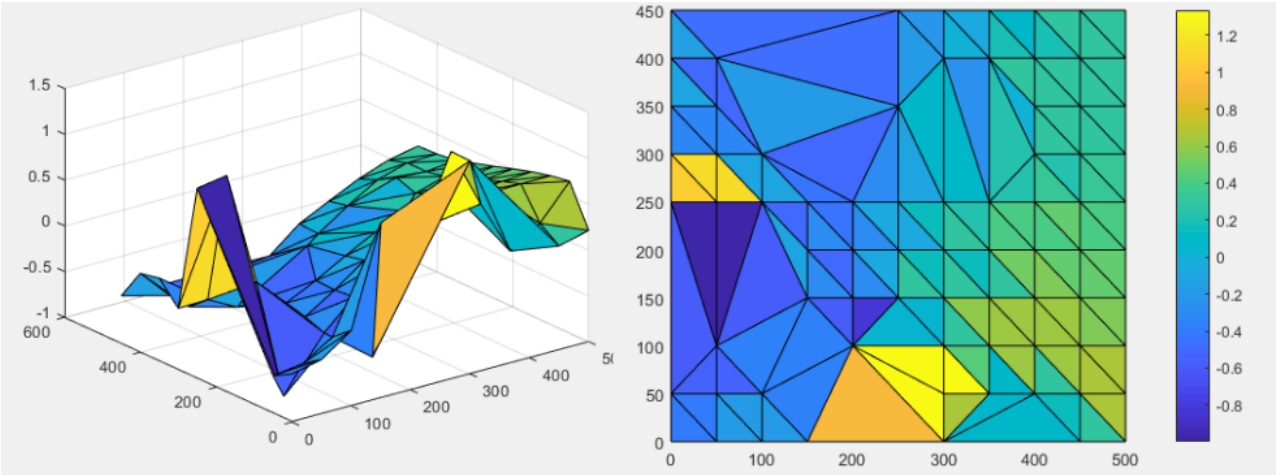

FIG. 3.14: MDS da matriz M42

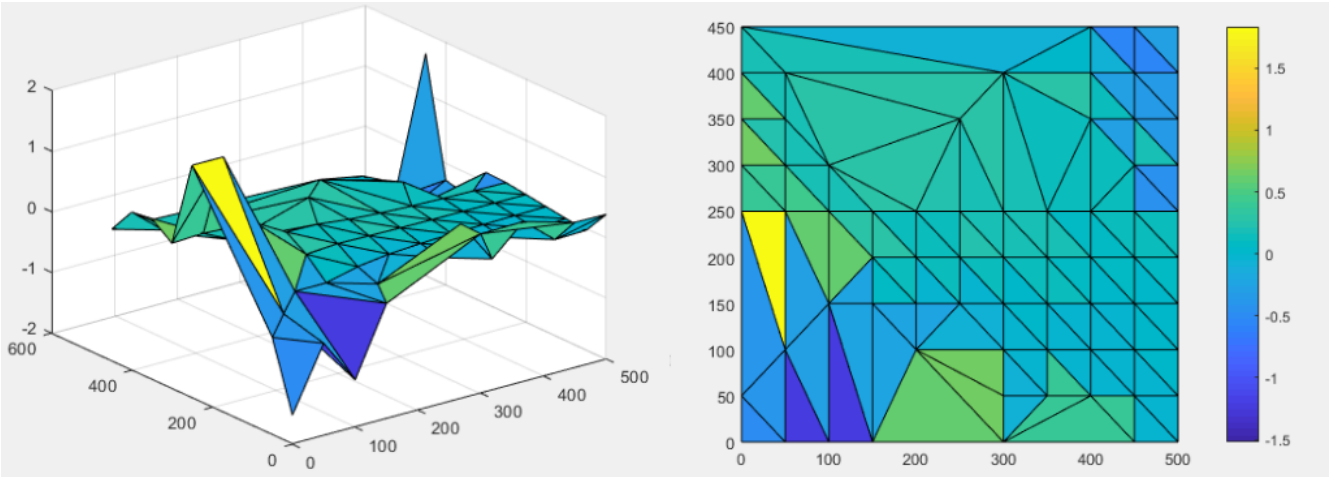

FIG. 3.15: MDS da matriz M43

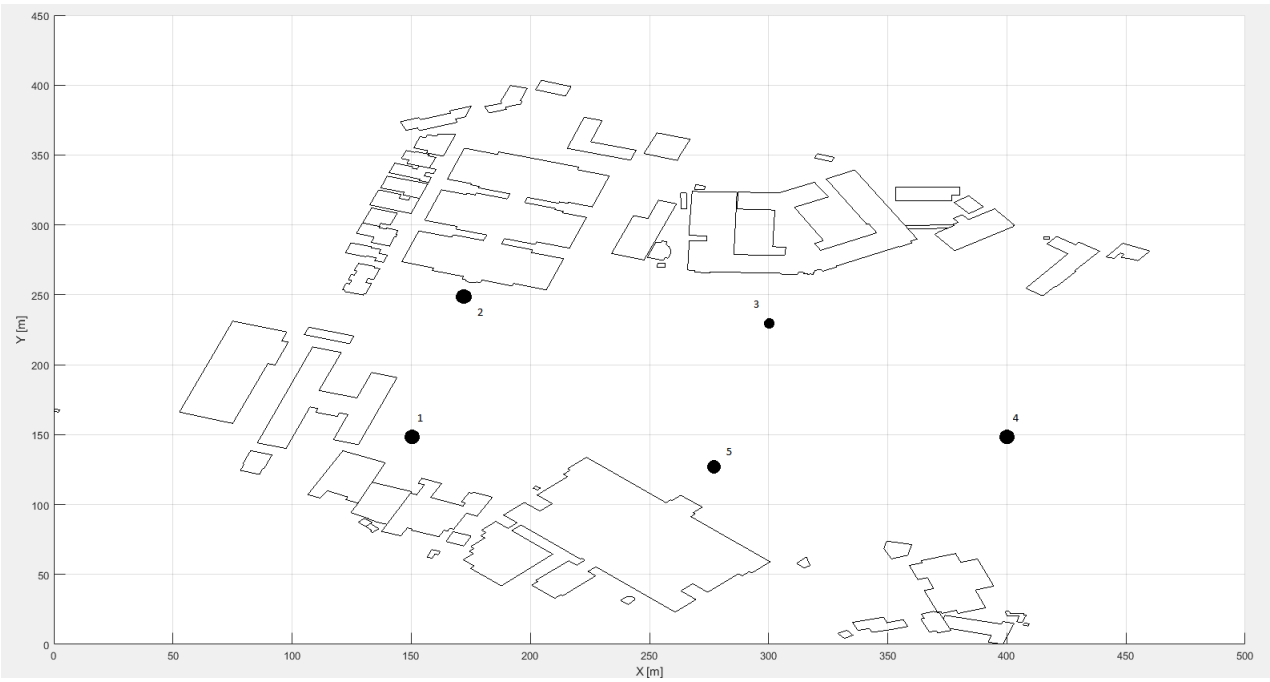

FIG. 3.16: Pontos a serem localizados

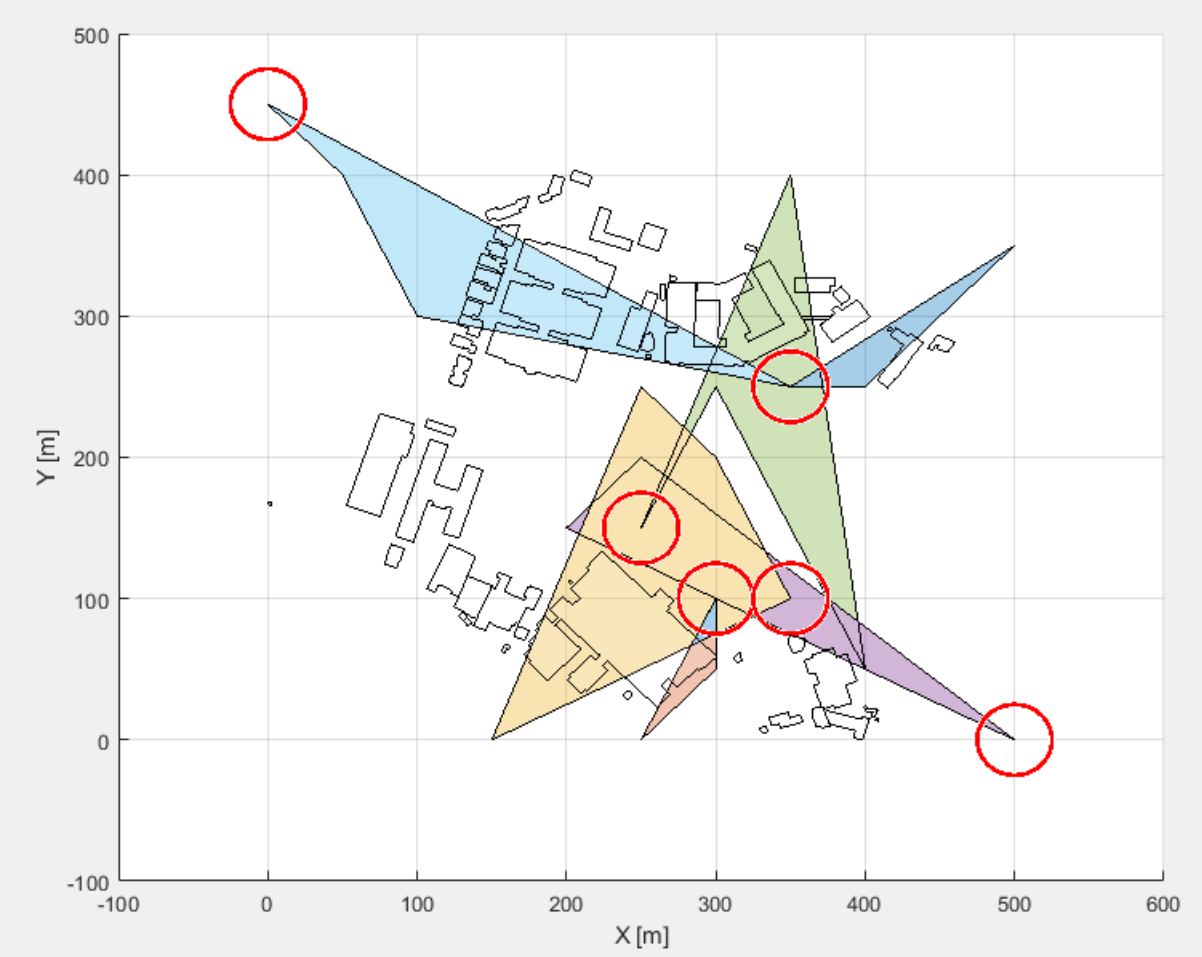

FIG. 3.17: Resultados com outlier

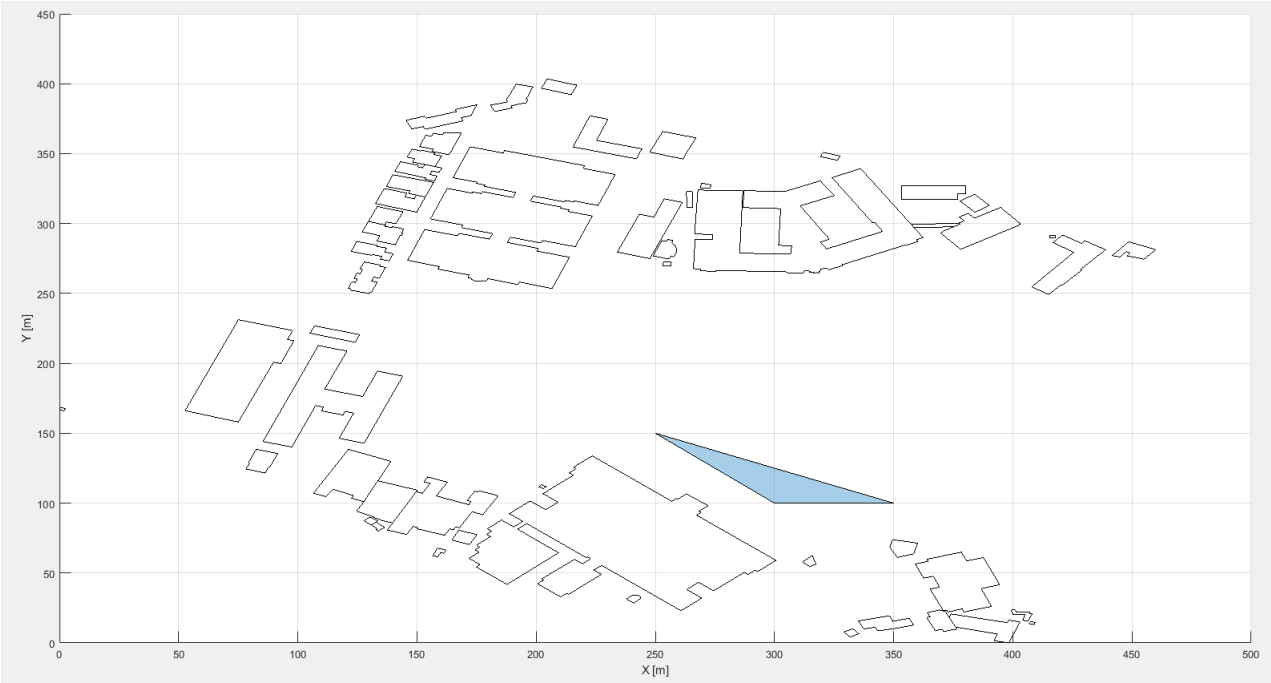

FIG. 3.18: Resultado final para o ponto P5

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PONTO 1

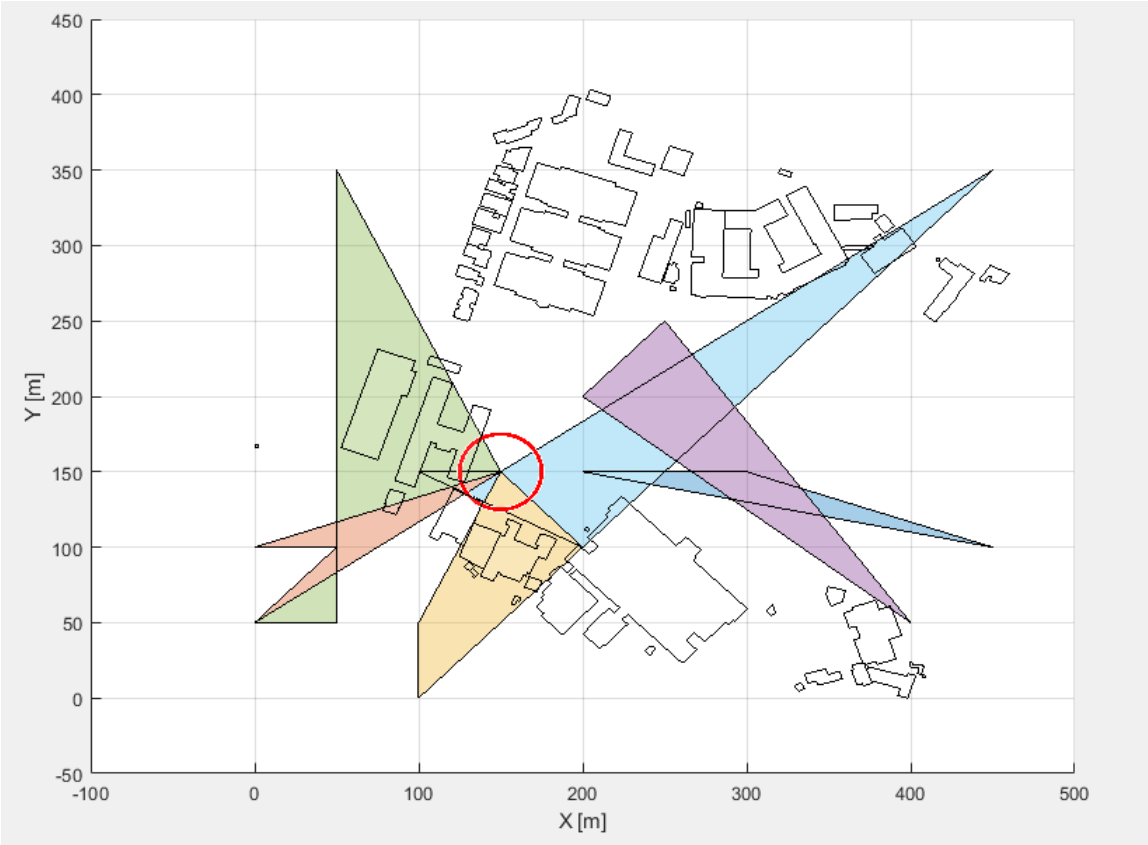

FIG. 4.1: Saída do script para Ponto 1

Não ocorre a etapa de eliminação de outliers, pois não há outliers. Como o ponto 1 tem coordenadas correspondentes a coordenadas utilizadas para mapeamento da região e construção de MDS, ocorre o esperado: para cada par de sensores, o ponto com valor de TDoA mais próximo dos valores de entrada é o mesmo. O polígono gerado com a área de maior probabilidade de emissor é um polígono de 6 vértices iguais: ou seja, é o ponto de coordenadas (150,150).

4.2 PONTO 2

Identifica-se a presença de outliers na localização do Ponto 2. Nota-se também a

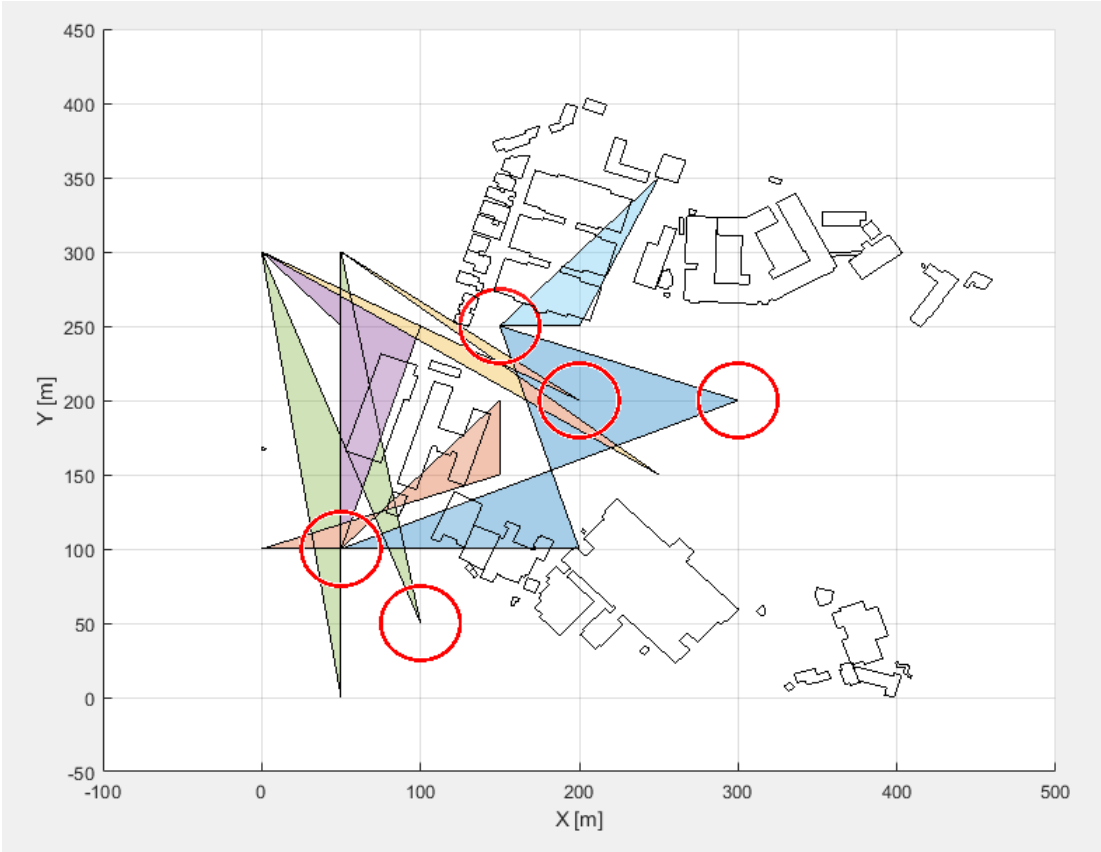

FIG. 4.2: Saída do programa para Ponto 2 com Outliers

presença de 5 círculos, e não 6, o que significa que dois círculos têm mesmo centro. Ou seja, para dois pares de receptor, o ponto mais provável é o mesmo. Retirando os mesmos, chegamos à solução da figura 4.3. O polígono da figura 4.3 tem vértices [300 200;200 200;150 250] e não contém o ponto (175,250). A região, porém, é próxima ao ponto. A distância do ponto ao centro da região é 53,3594m.

4.3 PONTO 3

Identifica-se a presença de outliers na localização do Ponto 3. Nota-se também a presença de 6 círculos, o que significa que não há círculos com mesmo centro. Ou seja, para quaisquer dois pares de receptor, o ponto mais provável não é o mesmo. Retirando os mesmos, chegamos à solução da figura 4.5.

O polígono da figura tem vértices [400 200;300 250;400 250] e não contém o ponto (300,225). A distância do ponto ao centro da região provável é 67.1855m.

4.4 PONTO 4

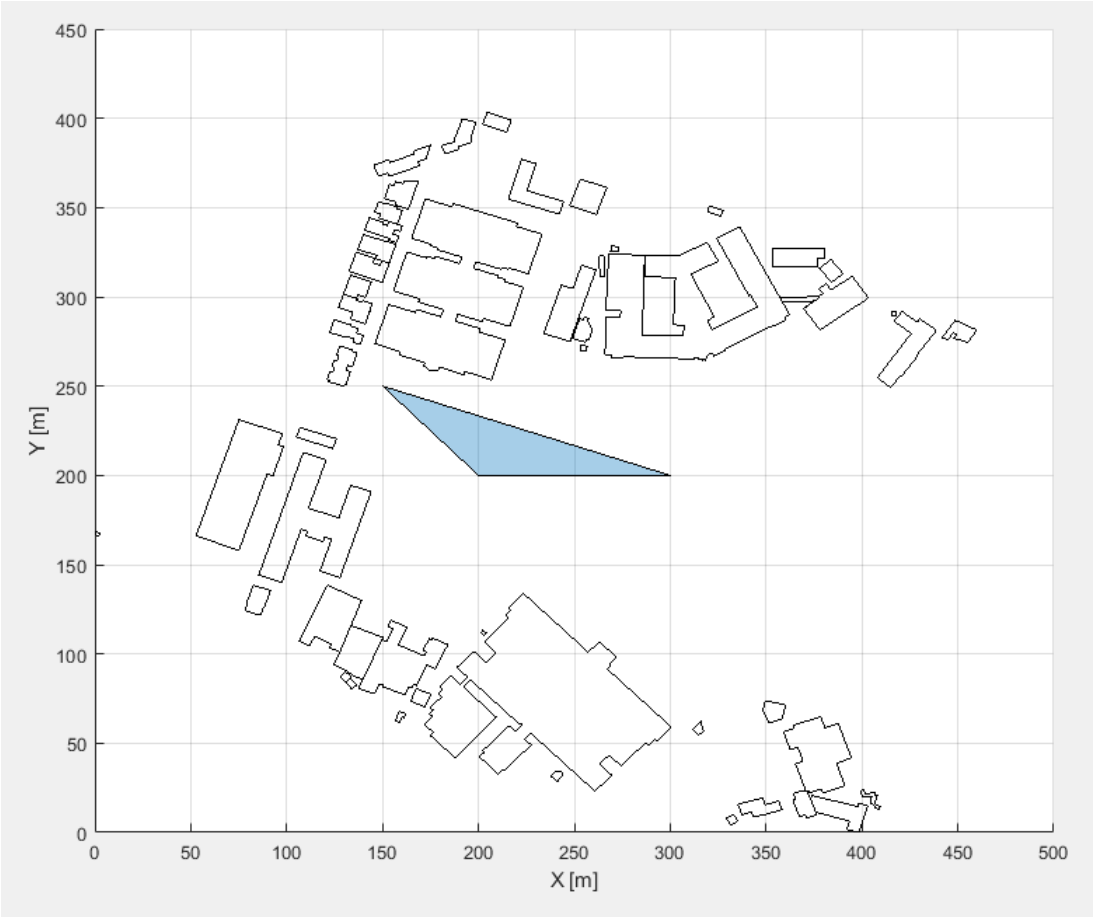

FIG. 4.3: Saída do script para Ponto 2

Não ocorre a etapa de eliminação de outliers, pois não há outliers. Como o ponto 4 tem coordenadas correspondentes a coordenadas utilizadas para mapeamento da região e construção de MDS, ocorre o esperado: para cada par de sensores, o ponto com valor de TDoA mais próximo dos valores de entrada é o mesmo. O polígono gerado com a área de maior probabilidade de emissor é um polígono de 6 vértices iguais: ou seja, é um ponto. O ponto (400,150).

4.5 PONTO 5

Identifica-se a presença de outliers na localização do Ponto 5. Nota-se também a presença de 6 círculos o que significa que não há círculos com mesmo centro. Ou seja, para quaisquer dois pares de receptor, o ponto mais provável não é o mesmo. Retirando os mesmos, chegamos à solução da figura 4.8. Eliminando os outliers, temos o resultado da figura 4.8. Como saída, temos os vértices do polígono ([300 100;350 100;250 150]). Nota-se que o ponto 5 (275,125) se encontra dentro da região provável

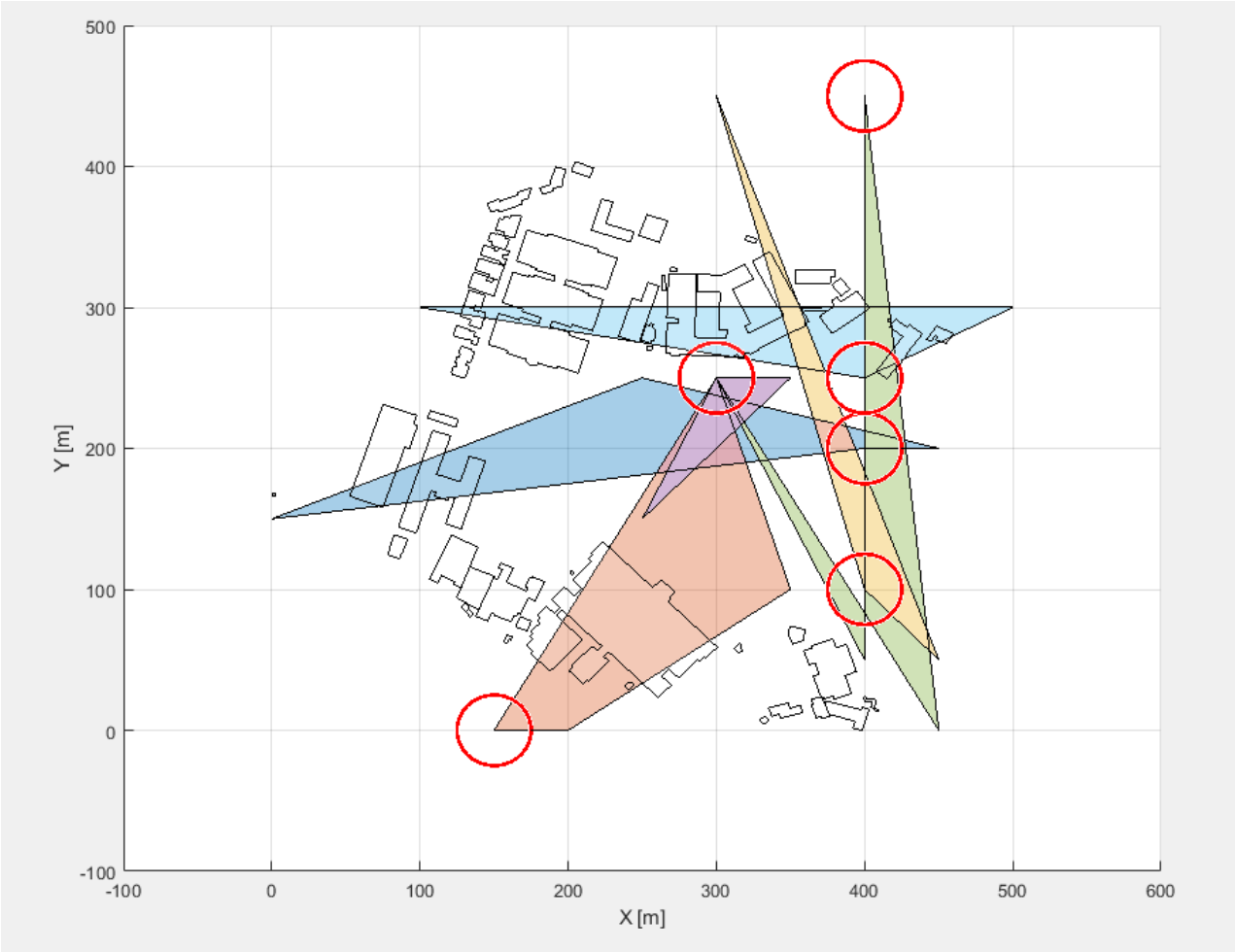

FIG. 4.4: Saída do programa para Ponto 3 com Outliers

4.6 CONCLUSÃO

O projeto apresentado teve como objetivo gerar as coordenadas de um polígono que representasse a posição mais provável de um transmissor de ondas. Os resultados estão de acordo com a teoria que fundamenta o trabalho, apresentando alta precisão quando os pontos a serem localizados se encontram sobre pontos mapeados previamente, como esperado. Para os demais pontos, notou-se um erro de até 67.1855m. Nota-se que os transmissores, na simulação, foram distribuídos de 50 em 50m, o que explica uma rede triangular com resolução tão baixa. Certamente com uma maior resolução a precisão do método aumenta. O método utilizado para localizar pode, também, ser utilizado como apoio ao método tradicional de localização TDoA.

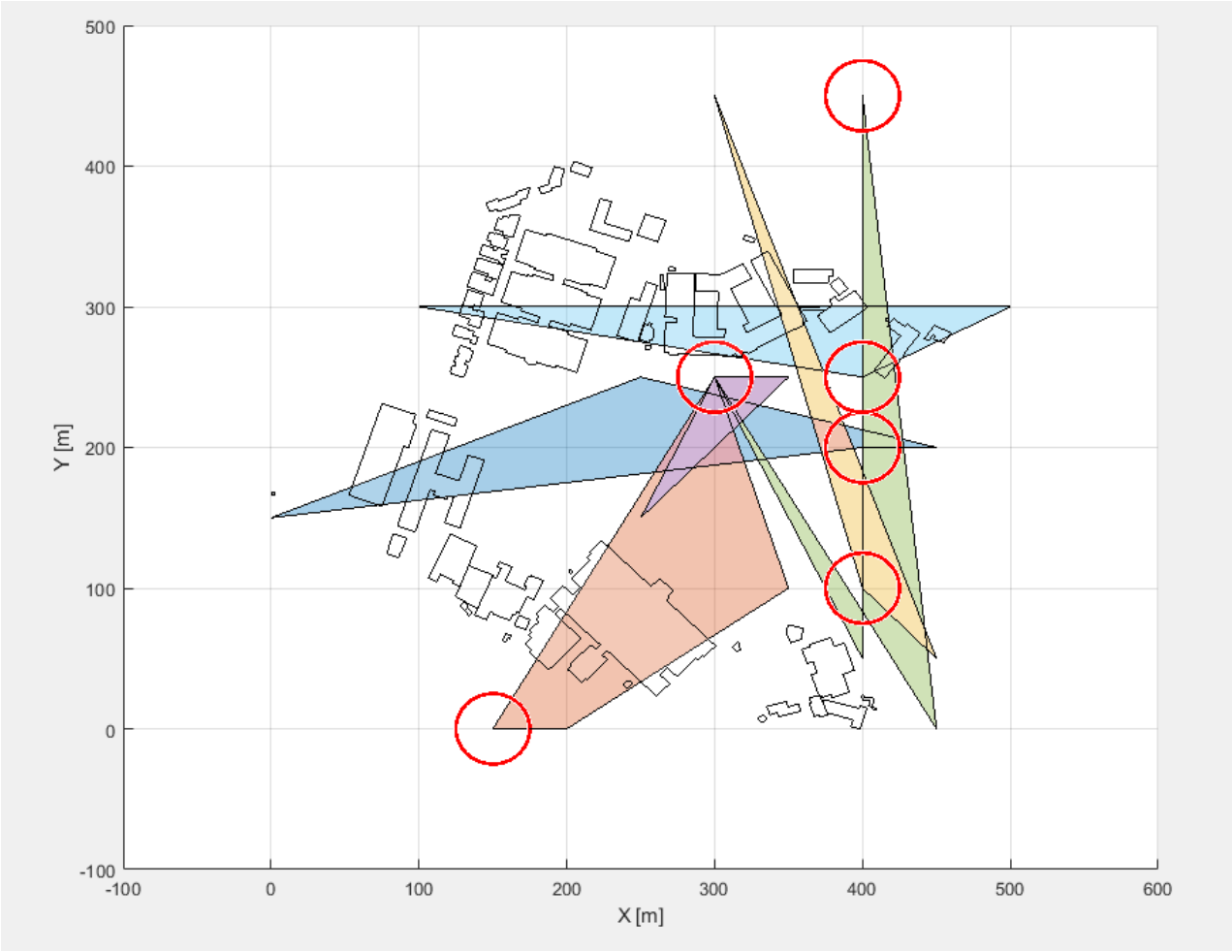

FIG. 4.5: Saída do programa para Ponto 3

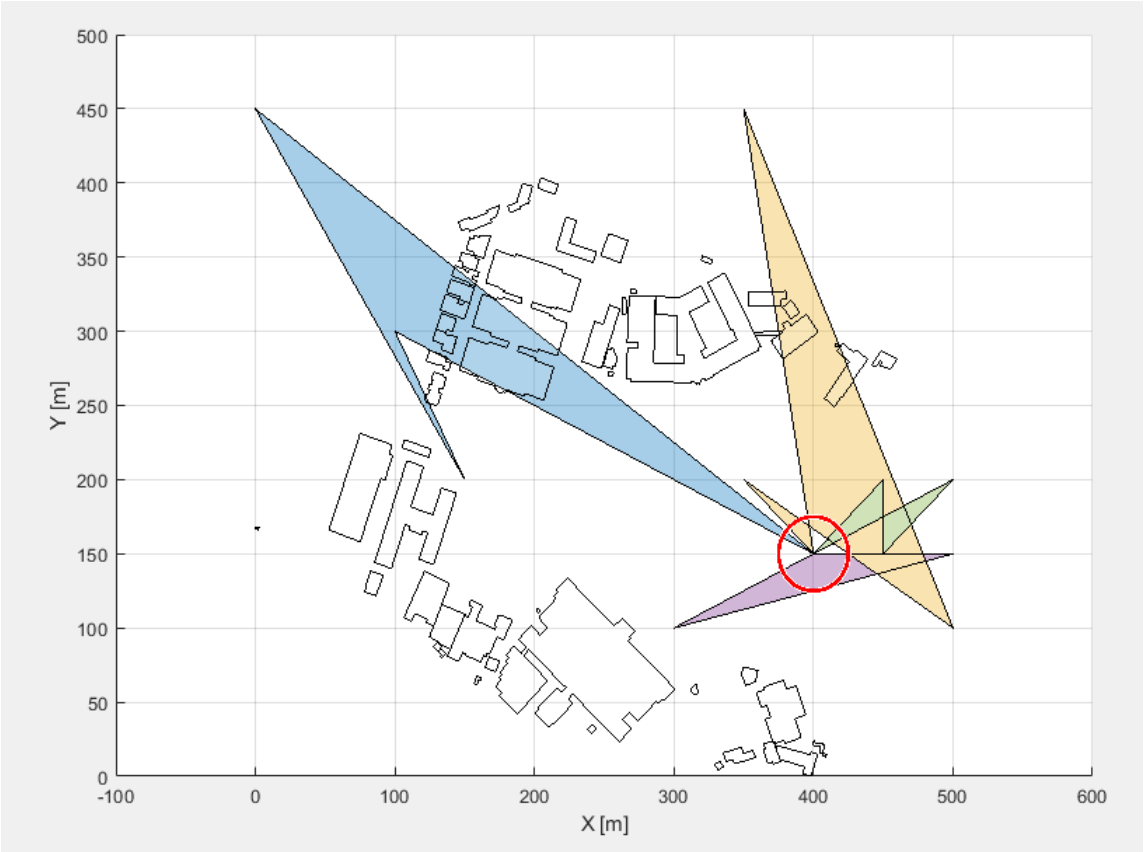

FIG. 4.6: Saída do programa para Ponto 4

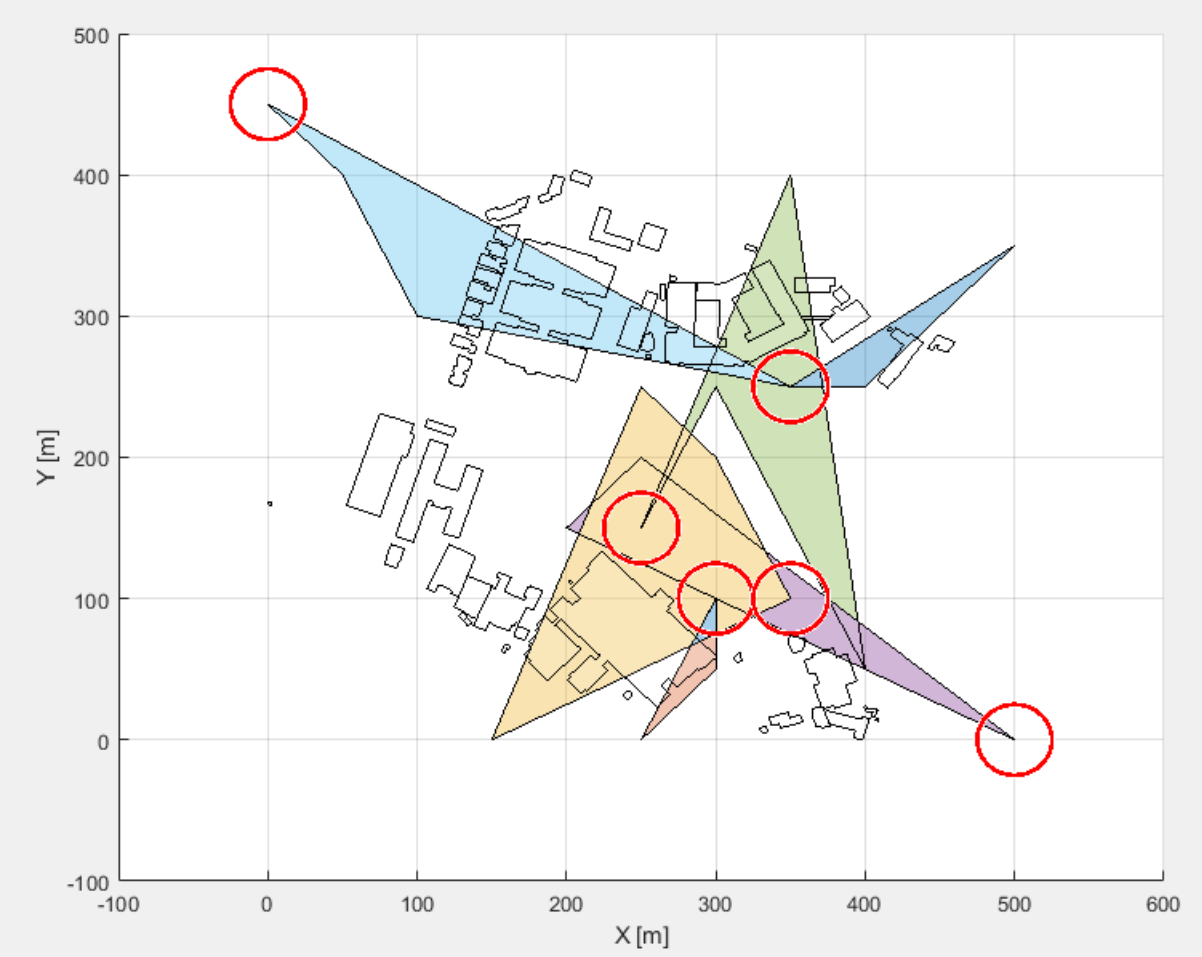

FIG. 4.7: Resultados com outlier

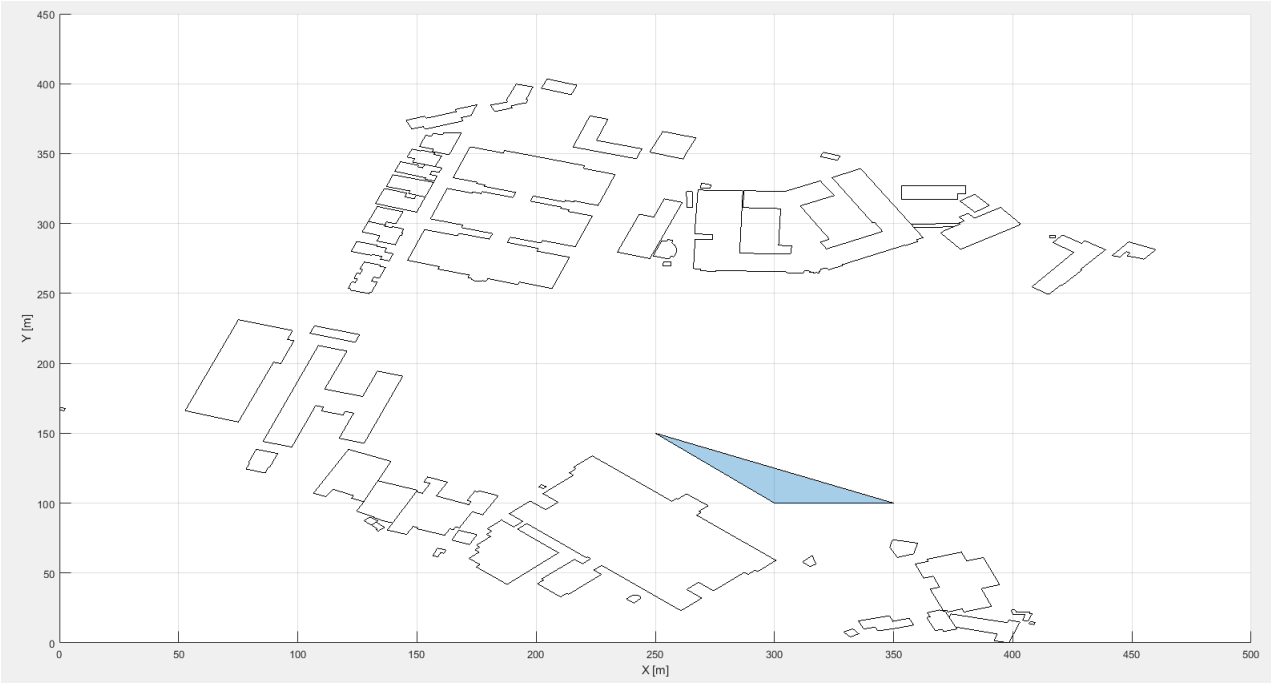

FIG. 4.8: Resultado final para o ponto P5

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COMPAGNONI, M.; NOTARI, R.; ANTONACCI, F. ; SARTI, A. A comprehensive analysis of the geometry of tdoa maps in localization problems. **Inverse Problems**, v. 30, n. 3, p. 035004, 2014. Disponível em: <http://stacks.iop.org/0266-5611/30/i=3/a=035004>. Acesso em: Formerly CIP.

GLASSNER, A. S., editor. **An Introduction to Ray Tracing**. London, UK, UK: Academic Press Ltd., 1989. ISBN 0-12-286160-4.

JOHNSON, N.; KOTZ, S. ; BALAKRISHNAN, N. **Continuous univariate distributions**. [S.l.]: Wiley & Sons, 1995. ISBN 9780471584940.

MANLY, B. F. J.; MANLY, B. F. J. **Multivariate statistical methods : a primer**. 3rd ed. ed. [S.l.]: Boca Raton, FL : Chapman Hall/CRC Press, 2005. ISBN 1584884142 (pbk. : alk. paper).

RAPPAPORT, T.; REED, J. ; WOERNER, B. Position location using wireless communication on highways of the future. **Communications Magazine, IEEE**, v. 34, p. 33 – 41, 1996.