



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS  
BACHARELADO EM ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO**

**THIAGO DA COSTA MOREIRA**

**UTILIZAÇÃO DE ALGORITMOS GENÉTICOS PARA OTIMIZAÇÃO DE  
MODELOS DE PREDIÇÃO NA CIDADE DE APODI-RN**

**PAU DOS FERROS - RN  
2017**

THIAGO DA COSTA MOREIRA

**UTILIZAÇÃO DE ALGORITMOS GENÉTICOS PARA OTIMIZAÇÃO DE  
MODELOS DE PREDIÇÃO NA CIDADE DE APODI-RN**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como exigência final para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Me. Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei n° 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei n° 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M835u Moreria, Thiago da Costa.  
UTILIZAÇÃO DE ALGORITMOS GENÉTICOS PARA  
OTIMIZAÇÃO DE MODELOS DE PREDIÇÃO NA CIDADE DE  
APODI-RN / Thiago da Costa Moreria. - 2017.  
80 f. : il.

Orientador: Francisco Carlos Gurgel da Silva  
Segundo.

Monografia (graduação) - Universidade Federal  
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia de  
Computação, 2017.

1. Modelos de Propagação. 2. Algoritmo  
Genético. 3. Otimização. 4. Campanha de Medição. 5.  
Tecnologia 3G. I. Segundo, Francisco Carlos  
Gurgel da Silva , orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

THIAGO DA COSTA MOREIRA

**UTILIZAÇÃO DE ALGORITMOS GENÉTICOS PARA OTIMIZAÇÃO DE  
MODELOS DE PREDIÇÃO NA CIDADE DE APODI-RN**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
(UFERSA), como exigência final para  
obtenção do título de Bacharel em Engenharia  
de Computação.

APROVADO EM: 20 / 10 / 2017

**BANCA EXAMINADORA**

Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo

Prof<sup>o</sup>. Me. Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo

Orientador – Presidente

Pedro Thiago Valério de Souza

Prof<sup>a</sup>. Me. Pedro Thiago Valério de Souza

Primeiro Membro

Náthalee Cavalcanti de Almeida Lima

Prof<sup>a</sup>. Dra. Náthalee Cavalcanti de Almeida Lima

Segundo Membro

## DEDICATÓRIA

A **Antonia Gomes** (*in memorian*), que foi minha avó, uma mulher guerreira que sempre lutou para seus netos terem o melhor, sendo fonte de inspiração para todos.

A **João Dourado** (*in memorian*), meu avô, uma pessoa simples, trabalhadora e que sempre foi um exemplo para seus netos.

A minha mãe **Antônia Gomes da Costa e Sousa**, que mesmo com todas as barreiras impostas, conseguiu romper as estatísticas, e mudar a realidade de seus três filhos, através dos estudos, de simples agricultores (não que seja indigno), para torná-los uma cientista, uma pedagoga e agora um Bacharel em Engenharia da Computação.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a Deus, ser maior da vida, que me dá forças todos os dias, para conseguir alcançar as minhas metas na vida de forma mais eficiente possível.

Em seguida a minha querida mãe Antônia Gomes da Costa e Sousa, que nunca mediu esforços para que esse sonho se realizasse, sempre me apoiando e fortalecendo as horas difíceis.

A meus avós, Antônia Gomes (*in memorian*) e João Dourado (*in memorian*), que sempre me ensinaram a simplicidade da vida, como conseguir as coisas com trabalho e esforço próprio.

Minhas irmãs, Carla Regina e Daniela Costa, que sempre me incentivaram a estudar e me apoiaram nos momentos difíceis.

A minha namorada, Márcia Adriana pelos momentos de incentivo e apoio, nessa jornada tão difícil.

A Jonas Firmino, um grande amigo, sem o qual esse sonho não poderia ter sido realizado.

Ao meu orientador Prof<sup>o</sup>. Me. Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo pelo incentivo, dedicação e comprometimento com a elaboração deste trabalho.

A todos os Professores da UFERSA Campus Pau dos Ferros, que sempre deram seu melhor para repassar seu conhecimento, de forma simples e clara. A meus colegas Talison, Lucas, Cibely, Wili, Juan e muitos outros que enfrentaram junto essa jornada e contribuíram de forma significativa para minha formação.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, pela oportunidade de desenvolvimento próprio e acolhimento durante todos esses anos.

E a todos os amigos adquiridos ao longo dessa jornada, claramente não consegui apenas um diploma e sim uma nova família, FAMÍLIA UFERSA.

## RESUMO

O desenvolvimento das tecnologias sem fio tem modificado a forma de comunicação ao longo dos anos, por meio dessas, atualmente, uma grande parcela do mundo está conectada. Com o enorme avanço e advento dos sistemas de comunicação ao meio sem fio, surge a necessidade de estudar e desenvolver novas técnicas para que a sua implementação seja viável, com o mínimo de perda de sinal e que esta proporcione o melhor serviço para o usuário final. A propagação do sinal sem fio sofre com vários tipos de interferências ao longo do caminho entre transmissor-receptor e receptor-transmissor, logo, é necessário desenvolver modelos de predição de sinal para solucionar esse problema. Neste contexto, o presente trabalho propôs uma otimização de três modelos já consagrados na literatura: Modelo Espaço Livre, Okumura-Hata Estendido e COST 231 Walfisch-Ikegami, para descrever a potência recebida do sinal usado a tecnologia 3G com frequência de 1800 MHz, para cidade de Apodi/RN. Foi proposto o método de otimização usando Algoritmos Genéticos com dados coletados *in loco*, na tentativa de minimizar o erro entre os valores medidos e os valores preditos. Dessa forma, o Algoritmo Genético demonstrou ser uma ferramenta eficiente, após a otimização das constantes de ajustes dos modelos, o valor do erro quadrático médio caiu consideravelmente, bem como o desvio padrão. Assim, com a otimização os modelos se tornam mais eficientes para descrever a potência recebida pelo usuário de telefonia móvel na cidade de Apodi/RN

**Palavras-chave:** Modelos de propagação, algoritmo genético, otimização, campanha de medição, tecnologia 3G.

## ABSTRACT

The wireless technologies development has modified the way of communication over the years, through these, a large number of people over the world is connected, nowadays. The great advance and advent of wireless communication systems produced need to study and develop new techniques so that its implementation be viable, with the minimum of signal loss and it provides the best service to the end user. The spread of wireless signal receive interference from various types of hardle along the path between transceiver and receiver, so it is necessary to develop signal prediction models to solve this problem. In this context, the present work proposed an optimization of three models already established in the literature: Open Space Model, Okumura-Hata Extended and COST 231 Walfisch-Ikegami, to describe the power received from 3G signal used in the 1800 MHz frequency, at the city of Apodi / RN. The optimization method was proposed using Genetic Algorithms with data collected locally, in an attempt to minimize the error between the measured values and the predicted values. In this way, the Genetic Algorithm was dismantled as an efficient tool, after the optimization of the model constants, the mean square error value fell considerably, as well as the standard deviation. Thus, with the optimization the models become more efficient to describe the power received by the mobile phone user in the city of Apodi / RN

Keywords: Propagation models, genetic algorithm, optimization, measurement campaign, 3G technology.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Exemplo de reflexão em uma onda de rádio.....	21
Figura 2.2 - Princípio de Huygens.....	22
Figura 2.3 - Fenômeno da refração.....	23
Figura 2.4 - Espalhamento do Sinal .....	23
Figura 2.5 - Exemplo de multipercurso de uma onda de rádio.....	24
Figura 3.1 - Propagação no espaço livre.....	27
Figura 3.2 - Esquema de parâmetros para o modelo COST 231 Walfisch-Ikegami .....	31
Figura 3.3 - Parâmetros para equação do modelo COST 231 Walfisch-Ikegami .....	31
Figura 4.1 - Fluxograma básico de um algoritmo genético.....	37
Figura 4.2 - Pseudo-código Algoritmo Genético .....	38
Figura 4.3 – Exemplo para o método do torneio .....	42
Figura 4.4 – Exemplo para o método roleta .....	42
Figura 4.5 - Método de <i>Crossover</i> Uniforme .....	44
Figura 4.6 - Método da <i>Crossover</i> de um ponto.....	44
Figura 4.7 - Método da <i>Crossover</i> de dois ponto .....	45
Figura 4.8 - Mutação .....	45
Figura 5.1 - ERB's instaladas na cidade de Apodi-RN.....	47
Figura 5.2 - ERB's com Tecnologia 3G.....	48
Figura 5.3 - Setorização de antenas .....	49
Figura 5.4 - Interface G_NetTrack .....	50
Figura 5.5 - Field test Motorola Moto G2 .....	51
Figura 5.6 - Configurações para manter o <i>smartphone</i> na rede 3G.....	51
Figura 5.7 - Rotas de Coleta de dados .....	52
Figura 5.8 - Características Rota A .....	53
Figura 5.9 - Características Rota B.....	53
Figura 5.10 – Comparação: Modelo Espaço Livre e o Sinal Medido – Rota A .....	54
Figura 5.11 - Comparação: Modelo Okumura-Hata Estendido e o Sinal Medido – Rota A ...	55
Figura 5.12 - Comparação: Modelo COST 231-Walfisch-Ikegami e o Sinal Medido - Rota A .....	55
Figura 5.13 - Comparação: Modelo Espaço Livre e o Sinal Medido – Rota B.....	56
Figura 5.14 - Comparação: Modelo Okumura-Hata Estendido e o Sinal Medido - Rota B.....	57

Figura 5.15 - Comparação: Modelo COST 231-Walfisch-Ikegami e o Sinal Medido – Rota B .....	57
Figura 6.1 - Otimização para o modelo de Espaço Livre – Rota A.....	62
Figura 6.2 - Relação entre o Erro Quadrático Médio e as Gerações – Rota A.....	63
Figura 6.3 - Otimização modelo Okumura-Hata Estendido – Rota A.....	64
Figura 6.4 - Relação Erro Quadrático Médio pela quantidade de Gerações – Rota A.....	65
Figura 6.5 - Otimização modelo COST 231-Walfisch-Ikegami – Rota A .....	65
Figura 6.6 - Relação Erro Quadrático Médio pela quantidade de Gerações – Rota A.....	67
Figura 6.7 - Otimização para o modelo de Espaço Livre – Rota B.....	68
Figura 6.8 - Relação entre o Erro Quadrático Médio e as Gerações – Rota B.....	69
Figura 6.9 - Otimização modelo Okumura-Hata Estendido – Rota B.....	69
Figura 6.10 - Relação Erro Quadrático Médio pela quantidade de Gerações – Rota B .....	70
Figura 6.11 - Otimização modelo COST 231-Walfisch-Ikegami – Rota B .....	71
Figura 6.12 - Relação Erro Quadrático Médio pela quantidade de Gerações – Rota B .....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Classificação Nominal das Bandas e Faixas de Frequência .....	20
Tabela 4.1 – Comparação entre a Codificação Binária e Codificação Gray .....	40
Tabela 5.1 - Dados sobre a ERB selecionada .....	48
Tabela 5.2 - Erro Quadrático Médio dos modelos com relação ao medido <i>in loco</i> – Rota A..	56
Tabela 5.3 - Erro Médio Quadrático dos modelos com relação ao medido <i>in loco</i> – Rota B..	58
Tabela 6.1 - Constantes Otimizadas para o modelo Espaço Livre – Rota A.....	63
Tabela 6.2 - Constantes Otimizadas para o modelo Okumura-Hata Estendido – Rota A.....	64
Tabela 6.3 - Constantes Otimizadas para o modelo COST 231-Walfisch-Ikegami – Rota A .	66
Tabela 6.4 - Desempenho dos modelos após a otimização para Rota A .....	67
Tabela 6.5 - Constantes Otimizadas para o modelo Espaço Livre – Rota B.....	68
Tabela 6.6 - Constantes Otimizadas para o modelo Okumura-Hata Estendido – Rota B .....	70
Tabela 6.7 - Constantes Otimizadas para o modelo COST 231-Walfisch-Ikegami – Rota B..	71
Tabela 6.8 - Desempenho dos modelos após a otimização – Rota B .....	72

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO</b> .....	13
1.1 – MOTIVAÇÃO .....	14
1.2 – ESTADO DA ARTE .....	14
1.3 – OBJETIVOS .....	16
1.3 – METODOLOGIA .....	16
1.4 – CONTRIBUIÇÕES .....	18
1.5 – ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	18
<b>CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO DO CANAL DE RÁDIO PROPAGAÇÃO</b> .....	<b>19</b>
2.1 – CANAL DE RÁDIO PROPAGAÇÃO .....	19
2.1.1 – Faixa de Frequência das Ondas de Rádio .....	19
2.1.2 – Mecanismos e Efeitos de Propagação .....	20
2.1.2.1 – Reflexão .....	21
2.1.2.2 – Difração .....	21
2.1.2.3 – Refração .....	22
2.1.2.4 – Espalhamento ou Difusão .....	23
2.1.2.5 – Multipercurso ( <i>Multipath</i> ) .....	24
2.2 – CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	24
<b>CAPÍTULO 3 – MODELOS DE PROPAGAÇÃO</b> .....	<b>25</b>
3.1 – MODELO DE ESPAÇO LIVRE .....	27
3.2 – MODELO OKUMURA-HATA ESTENDIDO .....	28
3.3 – MODELO COST 231-WALFISCH-IKEGAMI .....	30
3.4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	34
<b>CAPÍTULO 4 – ALGORITMOS GENÉTICOS</b> .....	<b>35</b>
4.1 – HISTÓRICO DO ALGORITMO GENÉTICO .....	35
4.2 – CONCEITOS, FUNCIONAMENTOS E ESTRUTURA DOS ALGORITMOS GENÉTICOS .....	36
4.3 – INICIALIZAÇÃO .....	38
4.4 – AVALIAÇÃO .....	38
4.5 – CODIFICAÇÃO DE GENES .....	39
4.5.1 – Codificação binária .....	39
4.5.2 – Codificação Gray .....	39
4.5.3 – Codificação Real .....	40

4.6 – OPERADORES GENÉTICOS.....	40
4.7 – SELEÇÃO .....	41
4.7.1 – Método do Torneio .....	41
4.7.2 – Método da Roleta .....	42
4.7.3 – Método da Eletista .....	43
4.7.4 – Método do <i>Ranking</i> .....	43
4.8 – CROSSOVER.....	43
4.8.1 – Método da <i>Crossover</i> Uniforme .....	43
4.8.2 – Método da <i>Crossover</i> de um ponto .....	44
4.8.3 – Método da <i>Crossover</i> de dois pontos .....	45
4.9 – MUTAÇÃO .....	45
4.10 – CRITÉRIO DE PARADA .....	46
4.11 – CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	46
<b>CAPÍTULO 5 – CAMPANHA DE MEDIÇÃO .....</b>	<b>47</b>
5.1 – COLETA DE DADOS .....	47
5.2 – CONFIGURAÇÃO DO TRANSMISSOR.....	48
5.3 – CONFIGURAÇÃO DO RECEPTOR .....	49
5.4 – CONFIGURAÇÃO DAS ROTAS .....	52
5.5 – COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS ESTUDADOS E SINAL MEDIDO.....	54
5.6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	58
<b>CAPÍTULO 6 – RESULTADOS E ANÁLISES .....</b>	<b>59</b>
6.1 – DETERMINANDO AS CONSTANTES DE AJUSTE E ALGORITMO GENÉTICO.....	59
6.1.1 – Constantes de Ajuste para o modelo Espaço Livre .....	59
6.1.2 – Constantes de Ajuste para o modelo Okumura-Hata Estendido.....	60
6.1.3 – Constantes de Ajuste para o modelo COST 231-Walfisch-Ikegami .....	60
6.1.4 – Estratégia e características do algoritmo genético utilizado na otimização .....	61
6.2 – OTIMIZAÇÃO PARA A ROTA A .....	62
6.3 – OTIMIZAÇÃO PARA A ROTA B.....	68
6.4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	73
<b>CAPÍTULO 7 – CONCLUSÃO .....</b>	<b>74</b>
7.1 – TRABALHOS FUTUROS .....	75
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>76</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>78</b>

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das tecnologias sem fio tem modificado a forma de comunicação ao longo dos anos, por meio dessas, atualmente, uma grande parcela do mundo está conectada. Com o enorme avanço e advento dos sistemas de comunicações sem fio, surge a necessidade de estudar e desenvolver novas técnicas para que a sua implementação seja viável, com o mínimo de perda da qualidade do sinal e que esta proporcione o melhor serviço para o usuário final.

A propagação do sinal no meio sem fio sofre com o efeito de diferentes tipos de interferências ao longo do caminho entre transmissor-receptor e o receptor-transmissor, logo, é necessário desenvolver modelos de predição de sinal para solucionar esse problema. Por meio desses modelos pode-se descrever a perda de sinal entre transmissor-receptor e receptor-transmissor. Pode-se dividir os modelos de perda de sinal em modelos determinísticos e modelos empíricos.

O primeiro é baseado em formulações teóricas, já o segundo se baseia em dados coletados no próprio ambiente de propagação.

Segundo Pinheiro (2015), para obter-se um modelo que melhor representa a predição de sinal, podemos realizar uma otimização utilizando algoritmos genéticos, uma técnica computacional que se baseia na teoria da evolução e relação natural das espécies com o objetivo de buscar valores ótimos para o problema.

Existem vários estudos que visam determinar modelos de predição eficiente para determinar a perda de sinal na comunicação sem fio, entre eles podemos citar: Espaço Livre, Okumura, Okumura-Hata Estendido, Ikegami, Walfisch-Bertoni e COST 231 Walfisch-Ikegami. Todos esses modelos buscam determinar a perda de sinal sem fio com base em diversos parâmetros como: frequência, distância entre o transmissor e receptor e características do ambiente de propagação.

Assim, o presente trabalho busca encontrar valores ótimos, usando algoritmos genéticos para otimizar modelos de predição em larga escala na cidade de Apodi-RN tomando como base uma Estações Rádio Base (ERB) da operadora CLARO S.A. e utilizando a tecnologia 3G com frequência igual 1800 MHz, que já está instalada na cidade e em pleno funcionamento.

## 1.1 - MOTIVAÇÃO

Atualmente, a telefonia móvel se expandiu de uma forma gigantesca e hoje pode-se oferecer uma imensa gama de serviços. Como afirma Pinheiro (2015), os sistemas de telefonia móvel inicialmente tinham foco principal na transmissão de voz e mensagens de texto, esses serviços necessitavam uma largura de banda menor, atualmente, além desses serviços, a telefonia móvel hoje oferece um pacote de dados complexo que envolve não apenas a transmissão de dados de voz, mas, a transmissão de imagem, vídeo e texto e etc.

Portanto, com crescimento dos serviços que podem ser oferecidos pelo sinal móvel, surge a necessidade de minimizar as perdas que ocorrem no trajeto transmissor-receptor e receptor-transmissor.

Logo, isso pode ser feito através da realização de estudos para determinar modelos de predição de sinal eficientes. Através desses estudos, como o realizado neste trabalho, podemos chegar a valores ótimos ou sub-ótimos para modelos de predição de sinal que suportem a crescente expansão do serviço móvel com seus novos serviços, de forma a proporcionar aos usuários uma melhor qualidade no serviço.

## 1.2 – ESTADO DA ARTE

Nesta seção, serão abordados trabalhos da comunidade científica sobre otimização utilizando algoritmos genéticos em telecomunicações, bem como, comparações entre modelos de propagação em larga escala.

Assis (2015), apresenta uma análise comparativa da potência de sinal recebida, de medidas realizadas na cidade de Natal/RN com os valores teóricos obtidos por meio de simulações, em *software* Matlab, de alguns modelos clássicos de propagação, como: Espaço livre, Reflexão, Percurso Médio e Okumura-Hata. Foi observado que o modelo de Okumura-Hata se aproxima bastante dos valores medidos.

No trabalho, Assis (2015) realizou medidas no Campus de Caraúbas/RN da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) para avaliar a potência de sinal recebido pelas quatro operadoras de telefonia móvel celular (TIM, CLARO, VIVO e OI) da cidade, no qual a TIM apresentou a melhor média de potência de sinal recebido durante o período em que foram realizadas as medidas.

No seu relato científico, Ávila (2002), apresenta uma breve revisão sobre os algoritmos genéticos e demonstra uma nova metodologia desenvolvida para operações genéticas,

utilizando a codificação real, com o objetivo de melhorar a varredura no espaço de busca para a solução ótima para antenas refletoras. O objetivo principal deste trabalho é obter através de algoritmos genéticos uma otimização que resulte em uma antena de satélite que produza um diagrama de radiação que cubra uniformemente o território brasileiro.

Aplicando esse método, Ávila (2002), conseguiu uma uniformidade de cobertura muito superior à obtida com um parabolóide offset clássico. E isto foi feito utilizando-se apenas uma informação, a saber, o ganho diretivo médio nos pontos de amostra.

Pereira (2007), seu trabalho teve com objetivo a compreensão de vários modelos de propagação visando fornecer uma análise das características do sinal em canais específicos, tanto para a região urbana quanto para a região urbana densa da cidade de Curitiba no estado do Paraná. Conseguiu-se traçar comparativos de níveis de sinal para os modelos Okumura, Hata, COST-231 Walfich-Ikegami e o modelo de LEE, então pode apontar dentre os modelos analisados e simulados qual o melhor que se adapta às condições da cidade de Curitiba-PR.

Já Cavalcante (2010), desenvolveu um algoritmo genético capaz de otimizar os modelos de predição de perda de propagação que são aplicáveis na frequência de 3,5 GHz. Foram otimizados os modelos: ECC-33 e o modelo *Stanford University Interim* (SUI), em que, tiveram bons resultados, reduzindo a diferença entre os valores preditos pelos modelos e os valores medidos *in loco* no campus da UFRN. A validação do método proposto foi realizada a partir de comparações com medições realizadas em campo. Por fim, mostrou-se que a otimização dos modelos de predição por meio do algoritmo genético, se deu de forma eficaz, podendo ser utilizado na predição de cobertura sistemas de comunicação móveis.

E Pinheiro (2015), desenvolveu este trabalho com a finalidade de realizar a otimização de modelos de perdas de propagação outdoor que operação na frequência de 2,6 GHz na cidade de Belém - PA. Os modelos analisados foram: Modelo Okumura-Hata, Modelo ECC, Modelo IEEE 802.16 (modelo SUI) e Modelo UFPA. Inicialmente foi feita uma análise dos modelos sem serem ajustados com o algoritmo genético, o modelo que apresentou a melhor representação para perda de sinal foi o UFPA, seguido pelo modelo ECC. O modelo SUI apresentou um erro elevado.

Após os modelos serem otimizados pelo algoritmo genético, os modelos UFPA e SUI apresentaram bons resultados em relação às medições coletadas. Sendo que o modelo UFPA apresentou um melhor resultado por possuir em sua fórmula parâmetros que caracterizam com maior fidelidade a perda de propagação ao longo do percurso. Dessa forma o algoritmo genético se mostrou ser uma ferramenta robusta e fácil implementação, para otimização de modelos de propagação do sinal.



### 1.3 – OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é utilizar algoritmos genéticos para determinar valores ótimos para um modelo de predição que representa a propagação do sinal no meio sem fio na cidade de Apodi-RN. Assim, poder-se comparar o modelo empírico encontrado, com o modelo real implantado pelos operadores de telefonia móvel.

- Objetivos gerais são:
  - ✓ Utilizar algoritmo genético para otimizar um modelo de predição para cidade de Apodi-RN para a operadora CLARO S.A. utilizando a tecnologia 3G com frequência de 1800 MHz.
  
- Objetivos específicos são:
  - ✓ Realizar levantamento bibliográfico sobre principais modelos de propagação utilizados;
  - ✓ Definir os modelos de propagação que serão abordados no trabalho;
  - ✓ Pesquisar principais características e métodos de implementação para algoritmos genéticos;
  - ✓ Coletar dados *in loco*, abrangendo uma operadora local que atua na cidade e criar um banco de dados para alimentar o algoritmo genético;
  - ✓ Definir uma função *fitness* (função objetivo), para encontrar sempre o melhor valor para o modelo de propagação;
  - ✓ Projetar um Algoritmo Genético para realizar a otimização dos parâmetros dos modelos escolhidos;
  - ✓ Comparar os modelos com os parâmetros otimizados com o modelo original.

### 1.4 – METODOLOGIA

Inicialmente, foi realizado levantamento bibliográfico sobre o referido tema. Partindo desse levantamento pode-se listar as principais características do canal de rádio, os principais modelos de propagação utilizados e determinar o melhor método para coleta de dados e otimização dos mesmos.

Logo após o levantamento bibliográfico, passamos à próxima etapa: a campanha de medição em que deve-se determinar:

- Operadora que será estudada: Deve-se determinar a operadora que será analisada, visto que na cidade de Apodi/RN existem 5 (cinco) operadoras atuando;
- Estação Rádio Base (ERB): Uma operadora pode ter mais de uma ERB na cidade, para nosso estudo determinou-se uma ERB como alvo para coleta de dados, isso por dois motivos; o primeiro é que alguns os modelos de propagação levam em consideração a altura da ERB e nem sempre todas as ERB's de uma operadora possuem uma mesma altura, o segundo é que a ERB escolhida fica no centro da cidade e abrange toda área urbana.
- Tecnologia: Deve-se determinar qual tecnologia de transmissão oferecida pela operadora que será analisada. Para o trabalho, será analisado a tecnologia 3G, pois é serviços mais utilizado na cidade segundo a Agência Nacional de Telecomunicações – ANATEL (2017);
- Aparelhos Utilizados: Determinar os aparelhos que serão utilizados para coleta dos dados;
- Configuração do transmissor e receptor: É de extrema importância configurar o transmissor e receptor, para que os dados coletados sejam os mais precisos.
- Rotas de Coleta: Deve-se traçar rotas para a coleta de dados de forma a abranger ao máximo a cidade, pois assim teremos um modelo de predição otimizado que descreve de forma mais fiel a propagação do sinal sem fio para a cidade.

O levantamento dos dados é uma fase bastante minuciosa e precisa, por isso é uma parte crucial neste trabalho. Para cada ponto da rota de coleta serão obtidas 3 amostras ao longo de um percurso de 3 km, isso porque, assim, será calculado a média aritmética das amostras coletados. Será utilizado um *smartphone* como aparelho receptor.

Posteriormente, será realizado a análise dos dados coletados com o auxílio do *software MATLAB 2010* (disponibilizado nos laboratórios da univervdade) e utilizando o algoritmo genético pode-se otimizar os modelos de propagação estudados para descrever a potência de sinal recebido em aparelhos móveis na cidade de Apodi-RN.

Por fim, apresentaremos os resultados, comparando os dados coletados *in loco* com os modelos otimizados usando o algoritmo genético.

## 1.5 – CONTRIBUIÇÕES

Entre as contribuições realizadas por este trabalho, podemos destacar:

- Comparação com os modelos de predição existentes na literatura para a tecnologia estudada;
- Determinação de um modelo de predição eficiente através de Algoritmos Genéticos, e assim, buscar o melhor desempenho para a propagação do sinal sem fio;
- Identificar um modelo de predição que melhor se ajuste às características da cidade;

## 1.6 – ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em 5 Capítulos cuja organização e descrição é apresentado a seguir:

- No Capítulo 1, é apresentado a introdução em que é descrito um pouco sobre o tema, referências de trabalhos correlacionados, objetivos a serem alcançados, a metodologia que será utilizada e as contribuições realizadas pelo trabalho;
- No Capítulo 2, é apresentado as principais características do canal de rádio propagação;
- No Capítulo 3, é apresentado os modelos de propagação que serão otimizados;
- No Capítulo 4, é apresentado os conceitos e características dos algoritmos genéticos;
- No Capítulo 5, é apresentado a campanha de medição em que descreveremos o método e aparelhos usado para coleta de dados.
- No Capítulo 6, é apresentado os resultados obtidos aplicando os dados coletados no Capítulo 5 e aplicando os conceitos revisados no Capítulo 1 e 2;
- No Capítulo 7, é apresentado a conclusão, em que realizamos uma análise geral sobre os resultados obtidos aplicando o Algoritmo Genético e apresentamos sugestões para trabalhos futuros.

## CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO DO CANAL DE RÁDIO PROPAGAÇÃO

Neste capítulo, será apresentado a conceituação básica do canal de rádio.

### 2.1 – CANAL DE RÁDIO PROPAGAÇÃO

De acordo com Rappaport (2009), o canal de rádio é caminho físico a ser percorrido pelo sinal do transmissor até o receptor e do receptor até o transmissor. Este pode ser do tipo *simplex*, *half-duplex* e *full-duplex*. No sistema de comunicação móvel celular, o sistema é do tipo *full-duplex*.

Contudo, o canal de rádio impõe algumas restrições de desempenho aos sistemas de comunicação sem fio, entre elas podemos citar: distorção causada por multipercursos do sinal; interferências provocadas por fontes que ocupam a mesma banda de frequência; ruídos no receptor e a natureza variável do tempo dos parâmetros do sistema, ocasionados pelas variações nas condições de propagação à medida em que há mobilidade dos terminais.

Segundo Pinheiro (2015), o estudo do canal de rádio é de extrema importância, pois esse é um dos principais fatores que influenciam na propagação do sinal em comunicações sem fio. O canal de rádio pode proporcionar limitações ao sistema, que estão relacionadas com a faixa de frequência utilizada, por isso, esse estudo se torna uma das etapas mais complexas de um projeto de um sistema de comunicações.

#### 2.1.1 – Faixa de Frequência das Ondas de Rádio

Segundo Pinheiro *apud* Lira (2009), a propagação do sinal sem fio se dá em função da faixa de frequência utilizada e são classificadas de acordo com o comprimento de onda adotado. Na Tabela 2.1 temos as faixas nominais de frequência estabelecidas pela *International Telecommunication Union* (ITU).

Tabela 2.1: Classificação Nominal das Bandas e Faixas de Frequência

<b>BANDA</b>	<b>FAIXA DE FREQUÊNCIA NOMINAL</b>
HF	3 – 30 MHz
VHF	30 – 300 MHz
UHF	300 – 1000 MHz
L	1 – 2 GHz
S	2 – 4 GHz
C	4 – 8 GHz
X	8 – 12 GHz
Ku	12 – 18 GHz
K	18 – 27 GHz
Ka	27 – 40 GHz
R	26,5 – 40 GHz
Q	33 – 50 GHz
V	40 – 75 GHz
W	75 – 110 GHz

Fonte: Pinheiro (2015, p. 19)

### 2.1.2 – Mecanismos e Efeitos de Propagação

De acordo com Assis (2015), às ondas eletromagnéticas podem ser afetadas por vários mecanismos básicos de propagação em um sistema de comunicação móvel. Isso deve ao fato de que, elas se propagam no espaço e estão sujeitas às condições oferecidas pelo meio de transmissão. Portanto, para realizar o estudo da propagação de sinal em um ambiente real, é de extrema importância analisar todas as possíveis influências que o meio possa oferecer e comparar com a transmissão ideal (propagação em espaço livre, considerando o vácuo como meio).

Conforme Assis (2015), as principais barreiras em um ambiente real são: variações climáticas e atmosféricas, a presença de obstáculos no percurso de propagação, o relevo, a densidade e altura das árvores e construções.

De acordo com Costa (2013), durante o planejamento de uma rede sem fio, é de extrema importância estudar o trajeto que será percorrido pela onda eletromagnética entre o transmissor e o receptor, e observar os diversos fenômenos que a onda estará sujeita ao longo

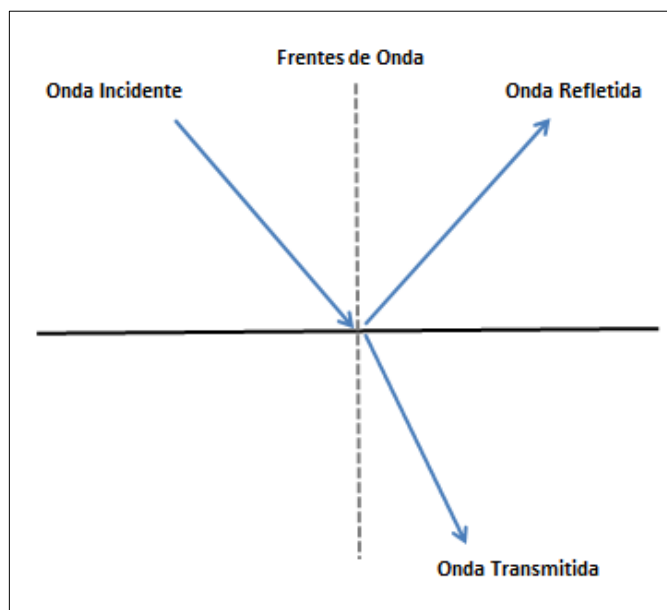
do percurso. Os principais fenômenos que influenciam o canal de propagação são: reflexão, refração, difração, espalhamento e multipercurso.

#### 2.1.2.1 – Reflexão

Para Pereira (2007), a reflexão ocorre quando em um sistema de comunicações sem fio uma onda eletromagnética atinge uma superfície que está entre dois meios, parte da energia é refletida e a outra parte é transmitida, penetrando assim no segundo meio. As parcelas de energia podem ser calculadas através dos coeficientes de reflexão e transmissão.

Segundo Pinheiro (2015), o coeficiente de reflexão e transmissão irão depender diretamente das propriedades elétricas do meio ao qual o sinal está se propagando, entre elas, podemos citar: permissividade, permeabilidade magnética, condutividade, polarização da onda, frequência utilizada e ângulo de incidência da onda. Na Figura 2.1 é apresentado um exemplo de reflexão.

Figura 2.1 - Exemplo de reflexão em uma onda de rádio



Fonte: Pinheiro (2015, p. 21)

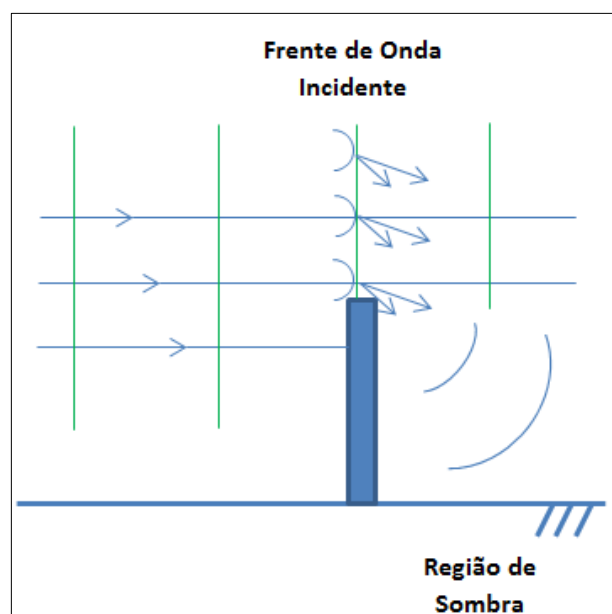
#### 2.1.2.2 – Difração

De acordo com Rappaport (2009), a difração ocorre quando temos ondas secundárias ao redor de um obstáculo e em uma região sombreada, sua intensidade pode ser calculada

através da soma vetorial do campo elétrico de todas essas ondas no espaço ao redor do obstáculo. A difração é o fenômeno responsável por explicar como as ondas eletromagnéticas se propagam ao redor de uma superfície curva da terra e por trás de obstáculos.

Segundo Pinheiro *apud* Silva (2003), com base no princípio de Huygens, todos os pontos de uma frente de onda irão produzir ondas secundárias, as quais combinadas resultaram em frentes de onda que poderão contornar o obstáculo e assim, permitir ao usuário que esteja em uma região sombreada ter acesso ao sinal. Na a Figura 2.2 temos um exemplo.

Figura 2.2 - Princípio de Huygens

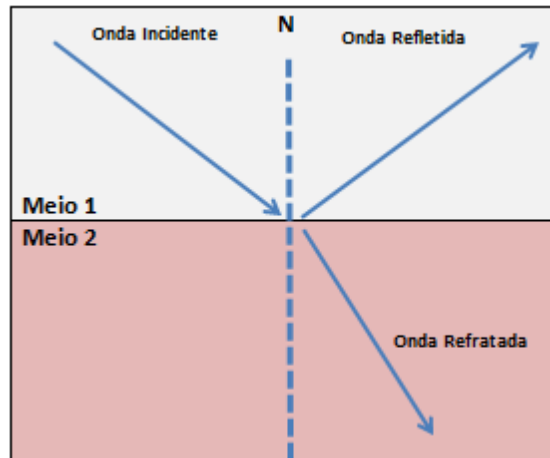


Fonte: Pinheiro (2015, p. 22)

### 2.1.2.3 – Refração

Segundo Pinheiro (2015), o fenômeno da refração irá ocorrer quando uma onda eletromagnética atravessar meios de propagação que possam índices de refração diferentes, alterando assim a sua velocidade e a direção. Na Figura 2.3 temos a exemplificação.

Figura 2.3 - Fenômeno da refração

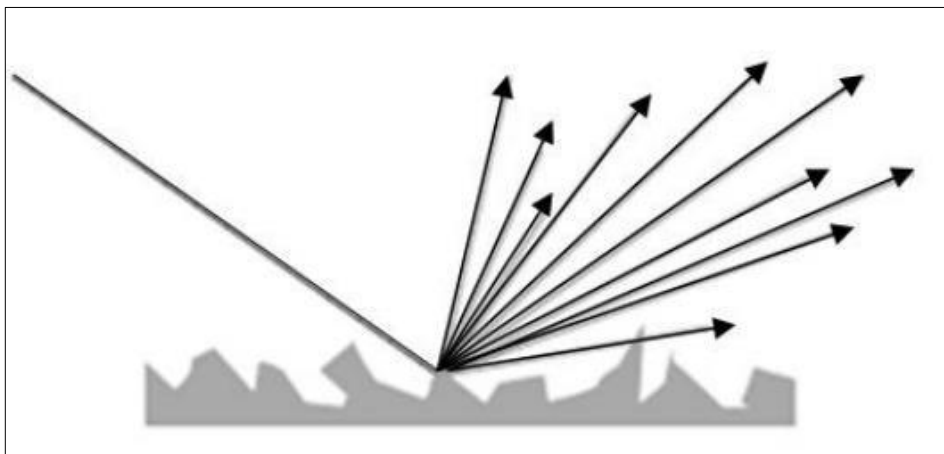


Fonte: Pinheiro (2015, p. 22)

#### 2.1.2.4 – Espalhamento ou Difusão

De acordo com Pereira (2007), a o espalhamento ou difusão é um fenômeno que ocorre quando uma onda eletromagnética se propaga em um meio que é composto por obstáculos que possuem dimensões iguais ou inferiores ao comprimento de onda. O espalhamento ocorrer em várias direções, na prática quando o sinal se depara com folhagens, fios, postes de iluminação, sinais de trânsito dentre outros. Na Figura 2.4 temos a ilustração do espalhamento ou difusão.

Figura 2.4 - Espalhamento do Sinal



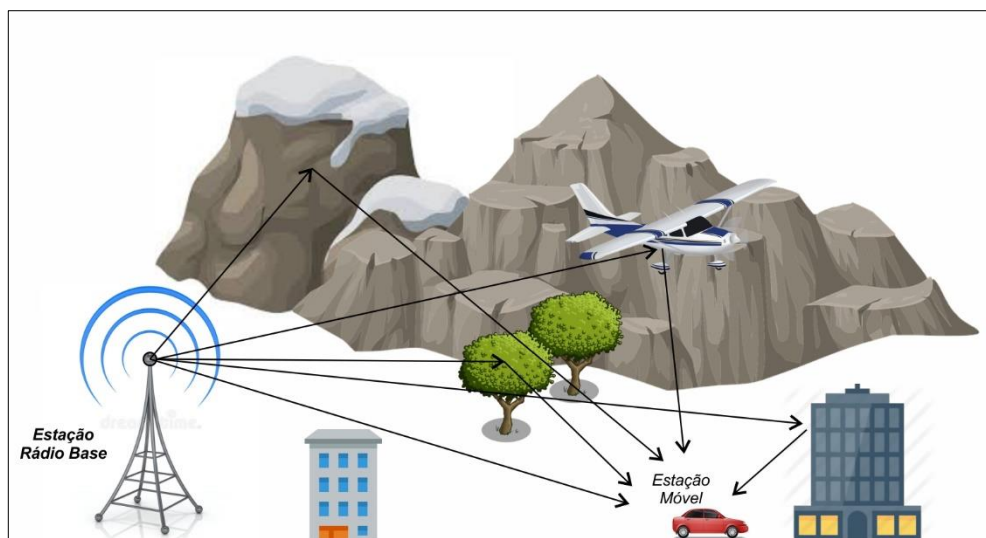
Fonte: Pinheiro (2015, p. 23)



### 2.1.2.5 – Multipercurso (*Multipath*)

Para Pinheiro (2015), o fenômeno do multipercurso é o resultado da ocorrência simultânea dos fenômenos da reflexão, difração e espalhamento das ondas de rádio ao longo de um percurso. Os efeitos causados por esse fenômeno estão diretamente ligados a área total de propagação do sinal, que gera sinais defasados que percorrem um trajeto maior que o sinal original. Na Figura 2.5 a seguir apresentamos um exemplo.

Figura 2.5 - Exemplo de multipercurso de uma onda de rádio



Fonte: Autor (2017)

## 2.2 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo abordamos as características do canal de rádio propagação, analisando os efeitos, mecanismos e fenômenos que influenciam na propagação do sinal, como: reflexão, refração, difração, espalhamento e multipercurso.

### CAPÍTULO 3 – MODELOS DE PROPAGAÇÃO

Os modelos de propagação tentam determinar a intensidade do sinal recebido no receptor, logo quanto mais detalhado for o modelo, ou seja, quanto mais elementos do meio de propagação forem considerados, como as condições climáticas, o ambiente e os obstáculos, entre o transmissor e receptor, melhor este será, pois, seus resultados serão mais confiáveis à medida que se aproximam das medições no ambiente físico real

De acordo com Rappaport (2009), a atenuação de um sinal de rádio pode ser calculada pela relação entre a potência recebida e potência transmitida para se obter uma estimativa inicial da cobertura do sinal propagado. Portanto, para se obter a potência recebida, é utilizado o modelo de propagação descrito pela equação 3.1 ou fórmula de transmissão de Friis:

$$P_R(d) = \frac{P_T G_T G_R \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (3.1)$$

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3.2)$$

Em que:

$P_R(d)$  – Potência recebida em função da distância  $d$  (W);

$P_T$  – Potência de transmissão (W);

$G_T$  e  $G_r$  – Ganhos das antenas de transmissão e recepção (dB);

$\lambda$  – Comprimento de onda (m);

$c$  – Velocidade da luz no vácuo ( $3 \cdot 10^8$  m/s);

$f$  – frequência (MHz);

$d$  – Distância entre transmissor e receptor (m);

$L$  – Fator de perdas,  $L \geq 1$ .

Conforme Rappaport (2009), se consideramos uma antena isotrópica, em que a irradiação é uniforme em todas as direções, a atenuação do sinal é representada pela diferença entre a potência transmitida e a recebida, sendo possível ou não adicionar os ganhos da antena. Para a perda de caminho quando existem ganhos temos que a atenuação em decibel será dada por:

$$L = 10 \log \frac{P_T}{P_R} = -10 \log \left[ \frac{G_T G_R \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right] \quad (3.3)$$

$$L = 10 \log \left[ \frac{(4\pi)^2 d^2}{G_T G_R \lambda^2} \right] \quad (3.4)$$

Se levarmos em consideração uma antena isotrópica, com ganhos unitários e a Equação (3.4), se reduz a:

$$L = -10 \log \left[ \frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right] \quad (3.5)$$

A equação de Friis para potência recebida pelo receptor, que fornece a expressão da atenuação de transmissão no espaço livre, que pode ser escrita como:

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R}{L} \quad (3.6)$$

Contudo na prática a Equação (3.6) geralmente é escrita em escala logarítmica, como mostra a equação (3.7).

$$P_R(\text{dBm}) = P_T(\text{dBm}) + G_T(\text{dBi}) + G_R(\text{dBi}) - L(\text{dB}) \quad (3.7)$$

Em que,

$$P_T(\text{dBm}) = 10 \log_{10} \left( \frac{P_T(\text{W})}{\text{mW}} \right) \quad (3.8)$$

Segundo Lira (2009), os modelos de propagação realizam a predição de perdas de sinal com base em vários parâmetros que relacionam o ambiente onde ocorre a comunicação e próprio sinal. Assim, é levado em conta, por exemplo, o tamanho e densidade de prédios e árvores bem como outros obstáculos que poderão influenciar na atenuação do sinal. Basicamente podemos classificar os modelos de propagação em dois grandes grupos: Modelos Determinísticos e Empíricos.

Para Haykin (2015), Modelos Determinísticos são modelos de propagação teóricos que se baseiam em formulações matemáticas, fundamentadas em princípios físicos exatos, no qual

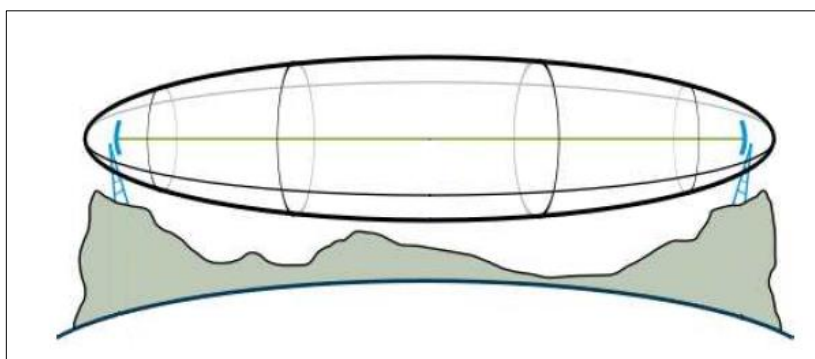
leva em consideração todo o meio de propagação das ondas eletromagnéticas, desde a topografia do terreno até as construções, ou seja, tudo que pode afetar a propagação do sinal. Na teoria esses modelos podem ser utilizados para qualquer ambiente, mas na prática exigem grande esforço computacional, pois utiliza algoritmos complexos o que requer uma maior memória e tempo de processamento de dados.

Para Haykin (2015), Modelos Empíricos têm como base a realização de medidas reais coletadas *in loco* em ambientes de propagação genéricos, como áreas urbanas, suburbanas e rural. Assim, a equação que rege um modelo empírico é criada de tal maneira para se ajustar da melhor forma possível aos dados medidos. Para que um modelo empírico possa representar com eficiência as perdas de propagação em um determinado ambiente, esse deve ter seus parâmetros derivados de características do local estudado, vinculados com a frequência de operação do sistema e alturas efetivas das antenas utilizadas para transmissão e recepção de sinais.

### 3.1 – MODELO DE ESPAÇO LIVRE

O modelo de propagação no espaço livre é caracterizado pela situação em que o transmissor e o receptor estão em um espaço livre com uma linha de visada direta (*line of sight – LOS*), ou seja, de acordo com Müller (2004) é quando não há uma obstrução que bloqueie 60% da energia que flui de pala primeira zona de Fresnel. Apesar do termo espaço livre indicar propagação no vácuo, podemos usar seu entendimento para sistemas de comunicação móvel.

Figura 3.1 - Propagação no espaço livre



Fonte: Cavalcante (2010, p. 26)

Segundo Pinheiro (2015), a perda de sinal no espaço livre ou a atenuação percebida pelo sinal propagado pode ser determinado pela razão entre a potência transmitida e a potência recebida, como visto na Equação 3.9:

$$L = \frac{P_T}{P_R} = G_T G_R \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (3.9)$$

Podemos reescrever a Equação 3.9, para representar a atenuação de percurso relacionado à potência transmitida com a potência recebida em escala logarítmica. Através de manipulação algébrica, podemos expressar a frequência tanto em Megahertz, conforme a Equação 3.10 ou em Gigahertz, conforme a Equação 3.11, além da atenuação, os ganhos das antenas e a distância entre transmissor e receptor em quilômetros, é expresso em decibel (dB):

$$L = 32,44 - 10 \log_{10}(G_T) - 10 \log_{10}(G_R) + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(d) \quad \text{dB} \quad (3.10)$$

$$L = 92,44 + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(d) - G_T - G_R \quad \text{dB} \quad (3.11)$$

Considerando-se o ganho  $G_T$  e  $G_R$  igual a zero teremos que a equação 3.10 do seguinte modo:

$$L_0 = 32,44 + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(d) \quad \text{dB} \quad (3.12)$$

### 3.2 – MODELO OKUMURA-HATA ESTENDIDO

De acordo com Rappaport (2009), Okumura (1968) e Alencar (2010), o modelo de Okumura é um modelo empírico formulado a partir de dados experimentais coletados na cidade de Tóquio, no Japão, nas faixas de frequência de 150 MHz e 1500 MHz. Esse modelo é válido para estações base (transmissor) com alturas efetivas entre 30m e 200m e para altura de estação móvel (receptor) entre 1m e 10m. Esse modelo é bastante conhecido e utilizado em planejamentos de redes celulares, sendo uma das principais referências para projetos nesta área.

A perda de propagação, em dB, para áreas urbanas é expressa pela Equação 3.13:

$$L_u = 69,55 - 26,26 \log(f) - 13,82 \log(h_t) - a(h_r) + [44,9 - 6,55 \log(h_t)] \log(d) \quad (3.13)$$

Em que:

$f$  - Frequência de operação, em MHz

$h_t$  - Altura do transmissor, em metros

$h_r$  - Altura de recepção, em metros

$a(h_r)$  - Fator de correção para altura da antena em função do tipo de área, em dB

Hata propôs alguns ajustes ao modelo de Okumura, assim com este modelo pode ser aplicado para áreas urbanas e rurais utilizando as variações do termo  $a(h_r)$  e os ajustes mostrados nas Equações (3.14), (3.15) e (3.16):

Para cidades pequenas e médias:

$$a(h_t) = [1,1 \log(f) - 0,7]h_{t\theta} - [1,56 \log(f) - 0,8] \quad (3.14)$$

Para cidades grandes:

$$a(h_r) = 8,29[\log(1,54 h_r)]^2 - 1,1, \quad \text{quando } f < 300 \text{ MHz} \quad (3.15)$$

$$a(h_r) = 3,2[\log(11,75 h_r)]^2 - 4,97, \quad \text{quando } f \geq 300 \text{ MHz} \quad (3.16)$$

Para determinar a perda total de percurso em uma área suburbana usa-se a Equação 3.17:

$$L = L_u - 2 \left[ \log \left( \frac{f}{28} \right) \right]^2 - 5,4 \quad (3.17)$$

A perda total para áreas rurais é calculada utilizando-se a Equação 3.18:

$$L = L_u - 4,78[\log(f)]^2 - 18,33 \log(f) - 40,94 \quad (3.18)$$

Segundo Leite (2011) *apud* Okumura *et al.* (1968), o modelo Hata-Okumura permite a predição da área de cobertura para sistemas na faixa de frequência entre 150 MHz e 1500 MHz. Esta limitação exclui um importante serviço de comunicações móveis situado na faixa de 1800 MHz. Dessa forma, a comunidade europeia, através do programa EURO-COST (*European Cooperative for Scientific and Technical Research*), propôs o Modelo Okumura-

Hata Estendido que permite o cálculo da atenuação na faixa de frequência de 1500 MHz até 2000 MHz. Assim a nova expressão para o cálculo da atenuação é dada por:

$$L(dB) = 46,3 + 33,9\log_{10}(f) - 13,82\log_{10}(h_t) - a(h_r) + (44,9 - 6,55h_t)\log_{10}(d) + C_m \quad (3.19)$$

Em que, o parâmetro  $C_m$  será igual a 0 dB para áreas suburbanas e de tamanho médio e 3 dB para centros metropolitanos.

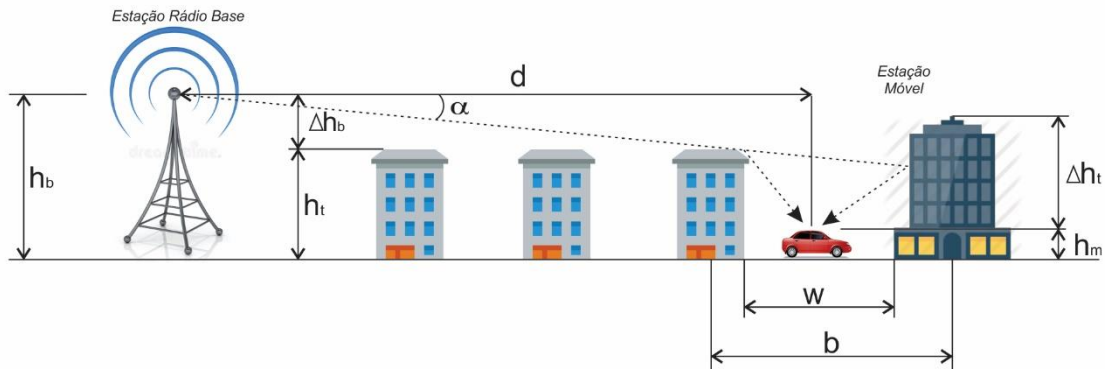
### 3.3 – MODELO COST 231-WALFISCH-IKEGAMI

O modelo COST 231-Walfisch-Ikegami é um modelo semi-empírico, desenvolvido baseado nas características de regiões urbanas. Segundo Pereira (2007), o modelo COST (*Cooperation in the Field of Scientific and Technical*) 231 foi desenvolvido por meio de uma combinação entre os modelos Walfisch-Bertoni e Ikegami. Essa combinação proporcionou ao modelo levar em consideração morfologia detalhada do terreno, com informações de altura de prédios, distância entre prédios, largura média das ruas e orientação destas com relação a direção de propagação.

Como relata Pereira (2007), a grande inovação proposta pelo modelo COST 231-Walfisch-Ikegami está relacionada a análise do fenômeno da propagação guiada quando existe linha de visada direta entre a estação-base e o móvel na direção de uma rua cercada por edifícios. A propagação nessa situação ocorre de forma diferente da propagação em espaço livre.

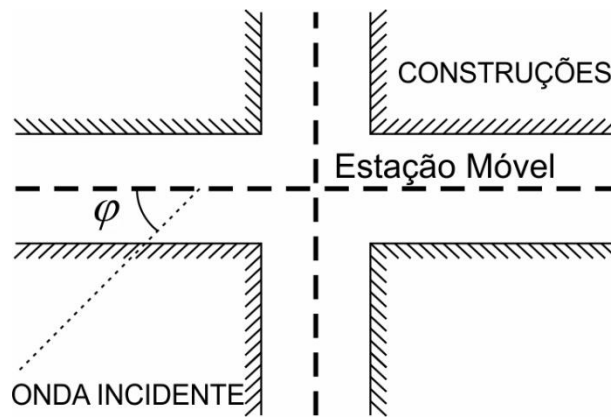
As Figuras 3.2 e 3.3 apresentam o esquema para obter os parâmetros considerados no modelo COST 231-Walfisch-Ikegami em ambiente urbano.

Figura 3.2 - Esquema de parâmetros para o modelo COST 231 Walfisch-Ikegami



Fonte: Autor (2017)

Figura 3.3 - Parâmetros para equação do modelo COST 231 Walfisch-Ikegami



Fonte: Autor (2017)

Os parâmetros estabelecem uma relação entre vários fatores presentes no meio de propagação, assim podemos discrimina-los:

$h_t$  – altura dos edifícios, em metros;

$h_b$  – altura da estação base;

$h_m$  – altura da antena da estação móvel ou receptora, em metros;

$\Delta h_b$  – diferença entre a altura dos telhados dos prédios ( $h_t$ ) e a altura da estação base ( $h_b$ ), em metros;

$\Delta h_t$  – diferença entre a altura dos telhados dos prédios ( $h_t$ ) e a altura da estação móvel ( $h_m$ ), em metros;

$W$  – largura das ruas, em metros;

$b$  – distância entre os edifícios ao longo do percurso da onda eletromagnética, em metros;



$\alpha$  – orientação da via com relação ao enlace, em graus;  
 $d$  – distância entre a estação base e móvel;

Na Figura 3.3, temos a ilustração do ângulo de incidência ( $\varphi$ ), que é o ângulo em que o raio faz com a reta normal à superfície, no qual depende o fator de correção ( $L_{ori}[\varphi]$ ).

Segundo Alencar (2010), a perda de propagação para o modelo COST 231-Walfisch-Ikegami depende da distância ( $d$ ) entre a estação rádio base e o móvel. Para distâncias menores que 20 m a atenuação total ( $L_t$ ) será igual à atenuação no espaço livre ( $L_0$ ), já para distâncias maiores ou igual a 20 m a perda de propagação com linha de visada direta (LOS - *line of sight*) será:

$$L_t = 42,6 + 26\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) \quad (3.20)$$

Em que:

$L_t$  – Atenuação total (dB);

$L_0$  – Atenuação de espaço livre (dB);

$f$  – frequência (MHz);

$d$  – Distância entre a estação transmissora e receptora (km).

De acordo com Pereira (2007), o modelo COST 231 de Walfisch – Ikegami possui três componentes básicos:

- Perda no espaço livre ( $L_0$ );
- Perda por difração e espalhamento no topo de edifícios ( $L_{rts}$ );
- Perda devido a múltiplas difrações e reflexões ocorridas ao nível da rua ou multiplanos<sup>1</sup> ( $L_{ms}$ ).

Logo,

$$L_t = \begin{cases} L_0 + L_{rts} + L_{ms} \\ L_0 \text{ para } L_{rts} + L_{ms} \leq 0 \end{cases} \quad (3.21)$$

---

<sup>1</sup> Segundo Pereira (2007), temos que Multiplano nesse caso significa: A diferença entre as diversas alturas de prédios que são modelados como sendo semiplanos. A morfologia exprime a altura média de seus elementos, portanto os multiplanos são as diferenças entre as morfologias na área de interesse.

A atenuação por difração e espalhamento no topo de edifícios (roof-top-to-street diffraction and scatter)  $L_{rst}$  é dada por:

$$L_{rst} = -16,9 - 10\log_{10}(w) + 10\log_{10}(f) + 20\log_{10}(\Delta hm) + L_{ori} \quad (3.22)$$

Em que:

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0,354\varphi; & \text{Para } 0 \leq \varphi < 35^\circ \\ 2,5 + 0,075(\varphi - 35); & \text{Para } 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ \\ 4 + 0,114(\varphi - 55); & \text{Para } 55^\circ \leq \varphi < 90^\circ \end{cases} \quad (3.23)$$

Em que:

$\Delta hm$  – diferença entre a altura dos telhados dos prédios ( $h_t$ ) e a altura da antena da estação móvel ( $h_m$ ) em metros ( $\Delta hm = h_t - h_m$ );

$L_{ori}$  – fator de correção devido à orientação da rua em função do ângulo de incidência  $\varphi$  (dB);

O valor  $L_{ms}$  é calculado seguindo o modelo de Walfisch-Bertoni, onde os prédios são modelados como sendo semiplanos. A onda plana incidente no topo dos semiplanos é caracterizada pelo ângulo de incidência  $\alpha$ .

A atenuação devido a múltiplas difrações e reflexões ocorridas ao nível da rua (multiscreen diffraction)  $L_{ms}$  é dado por:

$$L_{ms} = L_{bsh} + K_a + K_d \log_{10}(d) + K_f \log_{10}(f) - 9 \log_{10}(b) \quad (3.24)$$

Os termos  $L_{bsh}$  e  $K_a$  não existem no modelo de Walfisch-Bertoni e representam o incremento da atenuação no percurso devido a redução da altura da estação transmissora ( $h_b$ ), expressos nas equações abaixo:

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18 \log_{10}(1 + \Delta hb) & \text{para } h_b > h_t \\ 0 & \text{para } h_b \leq h_t \end{cases} \quad (3.25)$$

$$K_a = \begin{cases} 54 & \text{para } h_b > h_t \\ 54 - 0,8 \Delta hb & \text{para } d \geq 0,5 \text{ km e } h_b \leq h_t \\ 54 - 0,8 \Delta hb \left(\frac{d}{0,5}\right) & \text{para } d < 0,5 \text{ km e } h_b \leq h_t \end{cases} \quad (3.26)$$

Os termos  $K_d$  e  $K_f$  que aparecem na Equação 3.18 controlam a dependência de  $L_{msd}$  com a distância e a frequência respectivamente, e estão relacionados com a atenuação devido à difração sobre múltiplos semiplanos considerados no modelo como função da distância e da frequência de operação, respectivamente, e são definidos como:

$$K_d = \begin{cases} 18 & \text{para } h_b > h_t \\ 18 - 15(\Delta hb/ht) & \text{para } h_b \leq h_t \end{cases} \quad (3.27)$$

$$K_f = \begin{cases} -4 + 0,7 \left( \frac{f}{925} - 1 \right) & \text{para cidade de porte médio} \\ -4 + 1,5 \left( \frac{f}{925} - 1 \right) & \text{para centros metropolitanos} \end{cases} \quad (3.28)$$

De acordo com Pereira (2007), o modelo COST 231 de Walfisch-Ikegami é válido para  $h_b$  entre 4 e 50 m,  $h_m$  entre 1 e 3 m e  $d$  entre 20 m e 5 km. Este modelo tem sido verificado na prática para as bandas de 900 MHz e 1800 MHz, com distâncias entre 100 m e 3 km. Quando a altura de estação rádio base ( $h_b$ ) aproximadamente igual à altura dos telhados das edificações ( $h_t$ ), temos um aumento considerável do erro. Logo, esse modelo não é adequado situação em que a altura da estação rádio base é menor ou igual a altura dos telhados das edificações ( $h_t$ ).

### 3.4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foi apresentando modelos de propagação consagrados na literatura, como os modelos de Espaço Livre, Okumura-Hata Estendido e COST 231-Walfisch-Ikegami. Ao longo do capítulo, foi descrito as principais características e equações para esses modelos, que serão utilizados para otimização e análise comparativa da potência do sinal recebido pelo usuário móvel.

## CAPÍTULO 4 – ALGORITMOS GENÉTICOS

Neste capítulo, abordaremos um método de otimização denominado de algoritmos genéticos. A finalidade é buscar sempre a melhor solução para um determinado problema, através de um conjunto de procedimentos que visam minimizar ou maximizar uma função desejada.

### 4.1 – HISTÓRICO DO ALGORITMO GENÉTICO

Segundo Pinheiro (2015), no ano de 1809, a teoria da evolução das espécies já era a mais aceita no mundo acadêmico, era a ideia do naturalista francês Jan Baptiste Pierre Antonie de Monet, que também era conhecido como Lamarck. A teoria consistia na ideia base de que as características adquiridas pelos animais são transferidas hereditariamente, formulando assim a “lei do uso e desuso”. Porém, em 1859 o filósofo e também naturalista chamado Charles Darwin confrontou a teoria de Lamarck, por meio do seu livro “A origem da vida”, que apresentava uma explicação científica de como as espécies evoluem. Darwin propôs essa teoria após uma longa expedição a bordo do navio *HMS Beagle*, que passou por diversos lugares, onde o naturalista pode observar *in loco* várias espécies de animais, e constatou que alguns desses animais da mesma espécie apresentaram pequenas diferenças com relação a outros da mesma espécie em outros ecossistemas.

Para Cavalcante (2010), as observações feitas por Darwin durante sua viagem a bordo do *Beagle* o levaram a formular a teoria da evolução das espécies, que foi publicado em seu livro no ano de 1859: A origem as espécies. A teoria de Darwin combinava os conceitos da genética e seleção natural. A genética natural estaria ligada a diversidade de indivíduos em uma população. Já o princípio da seleção natural privilegia os indivíduos mais aptos, ou seja, que possuem mais chance de perpetuar suas características genéticas para próximas gerações da população.

De acordo com Pinheiro (2015), no ano de 1960, o cientista John H. Holland conseguiu desenvolver uma ferramenta para otimizar sistemas capaz de encontrar resultados ótimos, em curto espaço de tempo, baseando-se a ideia proposta por Darwin. Surgia então as bases para o algoritmo genético. No ano de 1975, seu trabalho foi publicado no livro *Adaptation in natural and artificial systems*, mas foi com seu discípulo David E. Goldberg, que o algoritmo genético passou a se popularizar. Em 1989, Goldberg descreveu de forma mais detalhada o

funcionamento dos algoritmos genéticos no livro *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning*, demonstrando a comunidade científica o algoritmo genético como técnica para busca e otimização.

## 4.2 – CONCEITOS, FUNCIONAMENTOS E ESTRUTURA DOS ALGORITMOS GENÉTICOS

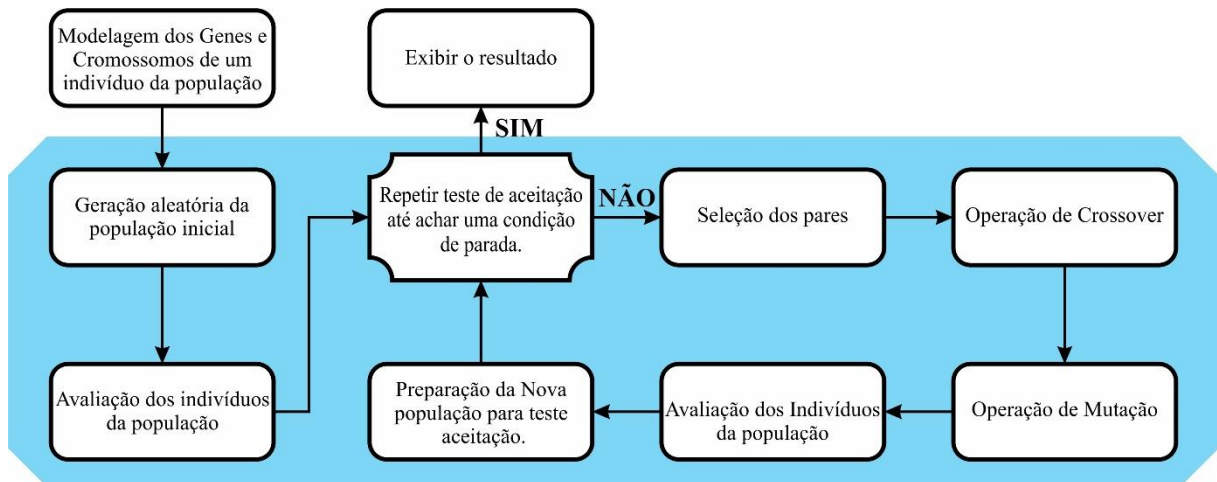
Uma das principais vantagens do Algoritmo Genético é o fato de ser uma técnica de propósito geral, o que o permite solucionar problemas em diversas áreas do conhecimento. Apesar de não garantir a determinação de uma solução ótima, ele é capaz de encontrar soluções subótimas em um tempo computacionalmente aceitável.

Segundo Cavalcante (2010), os algoritmos genéticos são considerados otimizadores estocásticos, pois utilizam operadores probabilísticos, concebidos a partir de metáforas biológicas. Desta forma geralmente utiliza-se muitos conceitos e terminologias da biologia e genética, mas nem sempre seguem fielmente em termos de definição. A seguir temos algumas definições e termos que serão utilizados ao longo deste trabalho.

- **Gene:** São variáveis de otimização e representam a menor unidade utilizada dentro do algoritmo genético para declarar alguma característica importante.
- **Cromossomo:** Um cromossomo é formado por um conjunto de genes. No algoritmo genético o cromossomo caracteriza um indivíduo.
- **Indivíduo:** É formado por um conjunto de um ou mais cromossomos e representa possíveis soluções para o problema.
- **População:** É formada por um conjunto de indivíduos.
- **Geração:** É uma população estabelecida por tempo determinado, que é a geração atual, formada por pais, e que posteriormente dará a vez a uma nova população que será gerada.

O algoritmo genético pode ser implementado de várias formas diferentes, dependendo do problema a ser otimizado. Entretanto como relata Pinheiro (2015), apesar de se ter um modo de implementação fixo para os algoritmos genéticos, todos apresentam uma sequência semelhante. Na Figura 4.1 temos um fluxograma que demonstra as etapas de algoritmo genético.

Figura 4.1 - Fluxograma básico de um algoritmo genético



Fonte: Autor, 2017

De acordo com Cavalcante (2010), o fluxo de execução do algoritmo genético inicia-se na modelagem dos cromossomos de um indivíduo da população, em seguida gerar aleatoriamente uma população que é composta pelos parâmetros a serem otimizados. O passo seguinte consiste em avaliar através de uma função *fitness*, que é responsável por classificar os indivíduos da população, atribuindo a cada indivíduo um valor numérico, medindo, assim, a probabilidade de cada indivíduo para solucionar o problema. Após a primeira avaliação, se houver algum indivíduo que satisfaça a solução do problema, então o algoritmo é encerrado, caso não haja, o algoritmo entra para um processo iterativos, onde pares de indivíduos são selecionados para possam passar operadores genéticas de *crossover* e mutação. Depois de passar pelos operadores genéticos, os novos indivíduos são inseridos na população inicial. Essa nova população passa por uma nova avaliação usando a função *fitness*, se houver algum indivíduo que satisfaz a solução do problema o algoritmo é encerrado, se não, o algoritmo continua a repetir esse procedimento até que seja alcançado o resultado.

Segundo Barboza (2005), um algoritmo genérico em pseudo-código capaz de representar a maioria dos Algoritmos Genéticos é mostrado na Figura 4.2:

Figura 4.2 - Pseudo-código Algoritmo Genético

```
Algoritmo AG Genérico
  Inicialize a população
  Avalie indivíduos na população
  Repita
    Selecione indivíduos para reprodução
    Aplique operadores de recombinação e mutação
    Avalie indivíduos na população
    Selecione indivíduos para sobreviver
  Até critério de parada satisfeito
Fim
```

Fonte: Autor, 2017

A seguir descreveremos os tipos de codificação, os métodos de seleção, os operadores genéticos, função *fitness* e critérios de parada

#### 4.3 – INICIALIZAÇÃO

De acordo com Cavalcante (2010), a inicialização da população pode ser feita da forma mais simples possível, podendo ser gerada de forma aleatória ou com base no conhecimento prévio do problema (heurística). Quanto ao tamanho da população, geralmente possui tamanho fixo, e devem ser o maior possível, pois assim terá uma maior diversidade genética e maior será a probabilidade encontrar a solução do problema dentro desta população.

#### 4.4 – AVALIAÇÃO

Para Linden (2008), cada indivíduo da população é uma possível solução para o problema, logo a avaliação consiste em avaliar todos os indivíduos, verificando a aptidão de cada um deles. A função de avaliação ou função *fitness* é responsável por determinar a aptidão que cada indivíduo tem para solucionar o problema. A função *fitness* calcula e atribui um valor numérico a cada indivíduo da população que reflete sua aptidão para solucionar o problema. Por esse motivo é de extrema importância a escolha da função *fitness*, para o algoritmo genético possa obter o melhor resultado em menor tempo.

## 4.5 – CODIFICAÇÃO DE GENES

De acordo com Cavalcante (2010), um dos primeiros passos para o desenvolvimento de um algoritmo genético é a escolha do tipo de codificação que será utilizada. Esse passo é um passo importante pois, uma escolha inadequada pode levar não convergência do algoritmo. Basicamente existem três tipos de codificação: Codificação binária, Codificação Gray e Codificação Real.

### 4.5.1 – Codificação binária

Segundo Cavalcante (2010) *Apud* Guerra (2008), a codificação binária é a codificação clássica do algoritmo genético, isso por sua analogia direta com a genética natural. Sua representação é feita por meio de 0's e 1's. Abaixo temos um exemplo de codificação binária:

$$B = [001111 \ 110000 \ \dots \ B_n]$$

Em que,  $B_n$  representa um gene (uma variável da solução). Este tipo de codificação é muito utilizado para problemas com variáveis discretas.

Segundo Cavalcante (2010) *Apud* Silva (2006), a utilização da codificação binária pode acarretar em alguns problemas, como vetores bastante extensos para se ter uma alta precisão dos indivíduos. Outro problema é conhecido como *Hamming cliffs*, que são grandes diferenças entre as cadeias de bits que codificam dois números inteiros adjacentes. Esse problema se agrava quando, por exemplo, ocorre uma perturbação dos bits mais significativos da variável. Essa perturbação pode causar um grande deslocamento no espaço de busca, o que nem sempre é desejado

### 4.5.2 – Codificação Gray

De acordo com Ávila (2002), a codificação Gray é uma alternativa para minimizar o efeito *Hamming cliffs*. Assim como na codificação binária, a codificação Gray utiliza-se apenas 0's e 1's para representação de variáveis. A melhoria proposta pela codificação Gray está na facilidade de operação, devido à propriedade de semelhança existente na codificação, que representa números inteiros adjacente. Na Tabela 4.1 temos um exemplo de codificação Gray.



Tabela 4.1 – Comparação entre a Codificação Binária e Codificação Gray

Números Decimais	0	1	2	3	4	5	6	7
Codificação Binária	0	1	10	11	100	101	110	111
Codificação Gray	0	1	11	10	110	111	101	100

Fonte: Cavalcante (p. 45, 2010)

Utilizando a codificação Gray, se for aplicado uma pequena taxa de perturbação isso ajuda na convergência final do algoritmo genético, enquanto, para codificação binária isso poderia ampliar o espaço de busca.

#### 4.5.3 – Codificação Real

De acordo com Ávila (2002), a utilização da codificação real torna-se mais prático, pois se está trabalhando com variáveis reais por natureza e usa-se uma linguagem de programação que lida diretamente com números reais.

Segundo Cavalcante (2010), dependendo do problema a ser otimizado, a codificação real pode reduzir a complexidade computacional, pois para essa codificação não há necessidade de realizar as transformações decimal – binário – decimal, além disso ajuda a reduzir o fenômeno *Hamming cliffs*. A codificação real é mais rápida e eficaz, e produz resultados mais consistentes ao longo de várias simulações. Um problema com esse tipo de codificação é que a troca de informações genéticas entre os indivíduos se torna mais complexa. A seguir temos um exemplo de um indivíduo representado pela codificação real:

$$R = [8,4567 \ 10,2376 \ \dots \ R_n]$$

Em que,  $R_n$  representa um gene (uma variável da solução).

#### 4.6 – OPERADORES GENÉTICOS

Segundo Pinheiro (2015) e Cavalcante (2010), os operadores genéticos são responsáveis por transformar a população, ao longo de sucessivas gerações, na tentativa de melhorar a aptidão de cada indivíduo. Os operadores genéticos são métodos probabilísticos baseados na genética e são essenciais para manter a diversidade e perpetuar as características

importantes adquiridas pelas gerações anteriores. Existem vários tipos de operadores genéticos, sendo a seleção, o *crossover* e a mutação os mais destacados na literatura.

#### 4.7 – SELEÇÃO

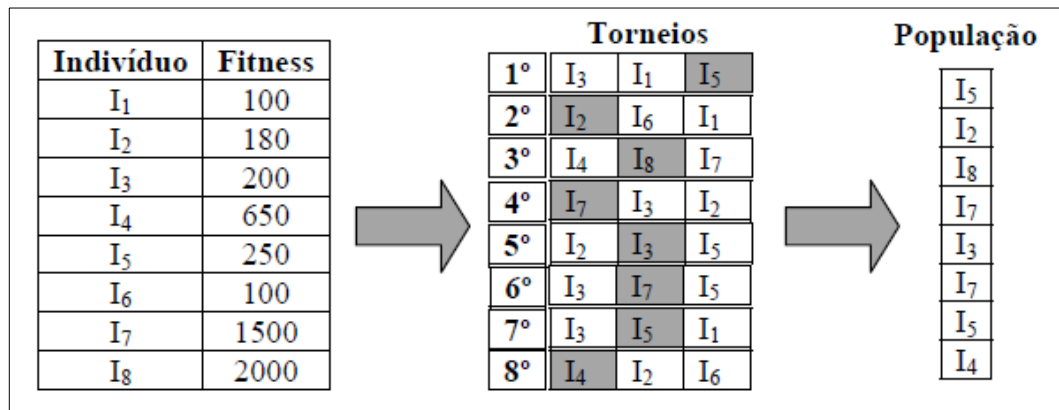
Segundo Pinheiro (2015), a etapa da seleção desempenha a função de seleção natural do indivíduo mais apto da população, que irá sobreviver e reproduzir, criando assim uma nova população mais adaptada.

O processo da seleção segue a mesma ideia da teoria da evolução de Darwin, em que os indivíduos mais fortes e/ou aptos irão sobreviver e se reproduzem, passando aos seus descendentes suas qualidades através da herança genética. Esta seleção é feita por meio do *fitness*, sendo que, quanto melhor for o valor de *fitness* do indivíduo, mais chances ele terá de ser selecionado para próxima geração. Por outro lado, os indivíduos menos aptos não podem ser descartados em sua totalidade, apenas terão uma menor probabilidade de serem selecionados. Existem várias técnicas de seleção empregadas hoje pelo algoritmo genético, dentre as mais importantes pode-se citar a de torneio, a de roleta, a elitista e a de *ranking*.

##### 4.7.1 – Método do Torneio

De acordo com Pinheiro (2015) e Cavalcante (2010), o método do torneio consiste em escolher de forma aleatória vários indivíduos na população, assim preservando a diversidade genética, e fazendo com que esses indivíduos entrem em competição pelo direito de perpetuar suas características. Os indivíduos que forem selecionados para competir são avaliados por um parâmetro denominado tamanho do torneio ( $k$ ), que irá definir quando indivíduos serão selecionados de forma aleatória dentro da população para competir. Depois de estabelecer os competidores do torneio, aquele que tiver a maior aptidão, ou seja o maior valor de *fitness*, será selecionado. Na Figura 4.2 temos um exemplo do método do torneio com  $k = 3$ , ou seja, os três indivíduos de cada torneio irão competir entre si, os que possuírem maior valor de *fitness* serão os vencedores do torneio, assim formando a nova população.

Figura 4.3 – Exemplo para o método do torneio

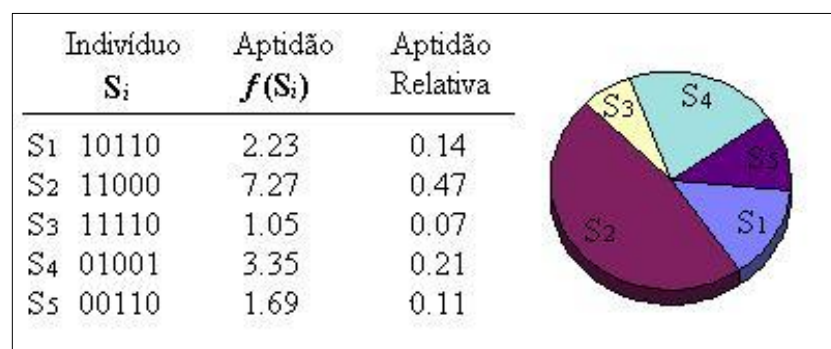


Fonte: Cavalcante (2010, p. 49)

#### 4.7.2 – Método da Roleta

Para Pinheiro (2015) *apud* Ávila (2002), essa técnica consiste basicamente em atribuir a cada indivíduo uma probabilidade de passar para próxima geração, essa probabilidade é diretamente ligada com a função *fitness* de cada indivíduo. O nome método da roleta, é porque cada indivíduo é considerado como uma “fatia” da roleta, e o tamanho dessa “fatia” irá depender do probabilidade de adaptação de cada indivíduo. Na Figura 4.3 temos um exemplo que demonstra o método da roleta, em que, cada indivíduo recebe “fatia” da roleta de acordo com sua aptidão.

Figura 4.4– Exemplo para o método roleta



Fonte: Oliveira (2011)<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Disponível em:

<<http://www.lem.ep.usp.br/pef411/~Cristiano%20Oliveira/CristianoOliveira/Imagens/Figura4.jpg>> Acesso em: outubro de 2017.

#### 4.7.3 – Método Elitismo

Para Barboza (2005), diferente dos outros métodos esse pode ser utilizado em conjunto com outros métodos seleção, é utilizado com a finalidade de não descartar indivíduos com alto grau de adaptação, privilegiando apenas os indivíduos com melhor adaptação para as próximas gerações. Logo, essa técnica permite que indivíduos com boas avaliações sejam reintroduzidos nas próximas gerações, evitando que ocorram perdas de informações importantes presentes em indivíduos com alto grau de aptidão, garantindo que seu material genético faça parte do processo na próxima geração.

#### 4.7.4 – Método do *Ranking*

Pinheiro (2015) *apud* Ávila (2002), nesse método, os indivíduos são classificados em forma de *ranking*, o qual sua ordem será determinada pelo valor função *fitness* atribuída a cada indivíduo. O *ranking* é utilizado então no momento da seleção, ao invés de usar somente o valor de *fitness*. Essa técnica apresenta como desvantagem o tempo necessário ao processamento do algoritmo a cada geração, a fim de ordenar os indivíduos de acordo com a função de *fitness*. Esse método é utilizado com a finalidade de evitar convergências prematuras, assim como não permitir que apenas um indivíduo mantenha predominância superior dentro do algoritmo.

#### 4.8 – *CROSSOVER*

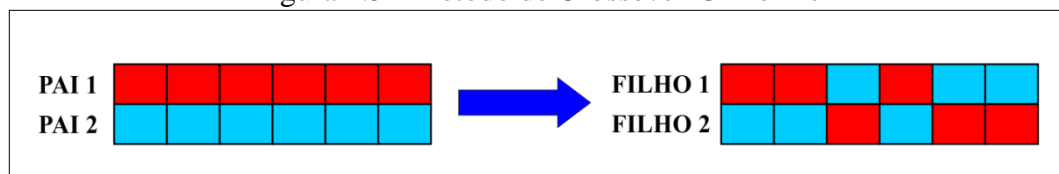
Segundo Pinheiro (2015) e Cavalcante (2010), o *crossover* é uma técnica utilizada para combinar as características de dois indivíduos que são previamente selecionados, fazendo com que tais características sejam herdadas pelas próximas gerações através de seus filhos. As principais formas de *crossover*, as que mais se destacam são *Crossover* uniforme, *Crossover* de um ponto e *Crossover* de dois pontos. Cada uma dessas técnicas de *crossover* existe características importantes que dependerão do tipo de ambientes e dos parâmetros utilizados.

##### 4.8.1 – Método de *Crossover* Uniforme

Segundo Cavalcante (2010), o *crossover* uniforme consiste no emparelhamento de dois indivíduos, o PAI 1 e o PAI 2, onde os genes de cada um serão copiados de forma aleatória e assim criar dois novos indivíduos, FILHO 1 e FILHO 2. A Figura 4.4 temos um exemplo de

*crossover* uniforme, temos um vetor formado de 0's e 1's que servirá de guia para a troca do material genético entre pais e filhos. Supondo que quando o valor que ocorra seja igual a um, o primeiro filho irá herdar as características genéticas do primeiro pai e o segundo filho irá herdar as características genéticas do segundo pai, porém, se ocorrer o valor 0, o primeiro filho terá material genético do segundo pai e o segundo filho terá material genético do primeiro pai. Dependendo somente da forma aleatória que foi configurado o vetor *bit* para esse cruzamento teremos os genes copiados e dois novos indivíduos criados com base nas características dos pais.

Figura 4.5 - Método de *Crossover* Uniforme



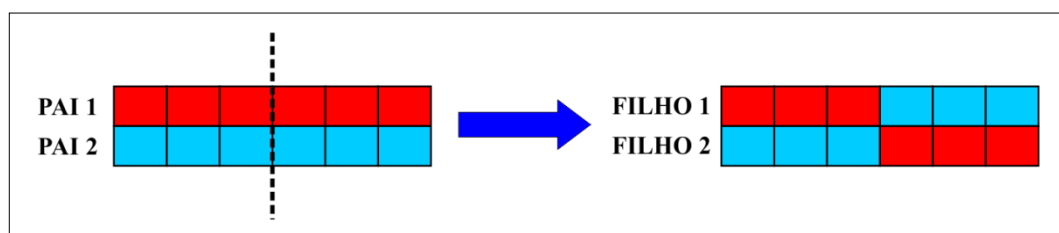
Fonte: Autor (2010)

#### 4.8.2 – Método de *Crossover* de um ponto

Segundo Pinheiro (2015) e Cavalcante (2010), o método *crossover* de um ponto consiste no emparelhamento de dois indivíduos, e posteriormente definir aleatoriamente um ponto de corte entre os genes dos indivíduos, onde cada um irá dividir seu material genético em outras partes para que seja realizado a criação de novos indivíduos da geração seguinte.

Por exemplo, na Figura 4.5 após ser estipulado o ponto de corte, dividindo o material genético de cada pai, é então combinado a primeira parte do material genético do primeiro pai com a segunda parte do material genético do segundo pai, dando origem ao FILHO1. O mesmo raciocínio é usado na criação no FILHO2, onde a segunda parte do material genético do primeiro pai é combinada com a primeira parte do material genético do segundo pai.

Figura 4.6 - Método de *Crossover* de um ponto

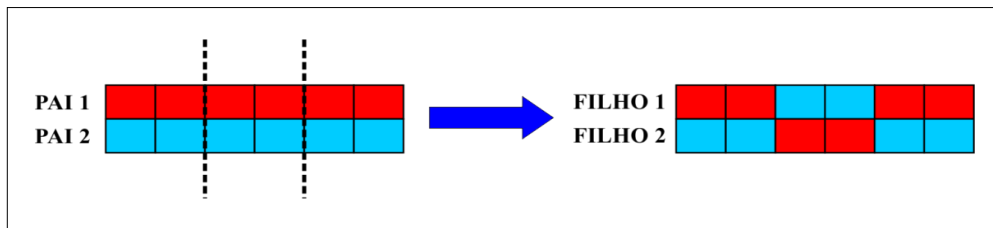


Fonte: Autor (2017)

#### 4.8.3 – Método de *Crossover* de dois pontos

Segundo Pinheiro (2015), *crossover* de dois pontos é uma variação do *crossover* de um ponto, segue a mesma lógica, a diferença é que nesse método a selecionasse dois pontos de corte dividindo seu material genético em três partes, assim gerando filhos com uma diversidade genética maior para as próximas gerações. Esse processo é mostrado na Figura 4.6.

Figura 4.7 - Método de *Crossover* de dois pontos

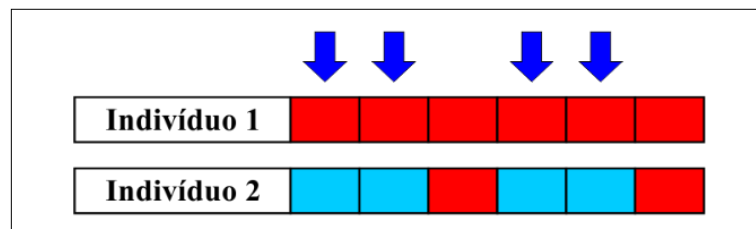


Fonte: Autor (2017)

#### 4.9 – MUTAÇÃO

Segundo Pinheiro (2015) *apud* Sirinvas (1994) *et. al.*, a mutação consiste em alterar aleatoriamente os genes de um determinado indivíduo, assim, adicionando novas características à população. Deste modo, evita-se que o algoritmo fique parado em um mínimo local. É importante frisar que nem todos os indivíduos irão sofrer mutação, para isso geralmente adotasse uma taxa de mutação com a valor baixo, em entre 0 e 0,1 para servir de probabilidade para a ocorrência da mutação. A Figura 4.7 ilustra o método da mutação.

Figura 4.8- Mutação



Fonte: Autor (2017)

#### 4.10 – CRITÉRIO DE PARADA

Segundo Pinheiro (2015), os critérios de parada para os algoritmos genéticos, são muito abrangentes, isso porque, irá depender do problema que se está tratando. Mas, esses critérios devem ser definidos obrigatoriamente, para que o algoritmo não fique preso em laço infinito. Existem inúmeros critério de paradas que pode ser utilizado, como o número máximo de gerações, valor de otimização desejado, uma faixa determinada de erro e etc., assim quando esse critério for atingido o algoritmo é finalizado. Outro método muito utilizado, também, é o de estabelecer um valor máximo de *fitness* para o algoritmo genético, quando o algoritmo ultrapassa esse valor, ele é finalizado.

#### 4.11 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo tivemos o embasamento teórico sobre os algoritmos genéticos e sua imensa gama de aplicações que podem ser utilizados para resolução dos mais variados problemas, bem como sua forma básica de execução e técnica que podem ser utilizadas para chegar aos resultados desejados.

## CAPÍTULO 5 – CAMPANHA DE MEDIÇÃO

Neste capítulo descreveremos as configurações utilizadas para a campanha de medição dos dados na cidade de Apodi/RN. Será descrito o aparelho utilizado para a medição, bem como o seu processo de configuração, as rotas de coleta de dados partindo da ERB selecionada para o estudo.

### 5.1 – COLETA DE DADOS

Primeiramente é necessário determinar qual ERB será estudada e as rotas para coleta dos dados. Neste trabalho realizamos medições para o sinal 3G na utilizando a frequência de 1800 MHz, isso porque, segundo a ANATEL (2017), é a mais utilizada na cidade. As medições realizaram-se na cidade de Apodi-RN, localizada na região oeste do estado do Rio Grande do Norte, uma cidade que segundo o IBGE (2017) possui uma população de 34.763 habitantes em uma área territorial de 1.602,477 km<sup>2</sup> resultando em uma densidade demográfica de 21,69 habitantes/km<sup>2</sup>. Ainda segundo o IBGE, o município possui 84,2% de domicílios urbanos em vias públicas com arborização, logo se caracteriza como uma cidade suburbana, que possui configurações de prédios de altura mediana com vegetação de densidade média.

Para determinar a ERB que será estudada, foi realizada uma pesquisa junto a ANATEL para determinar a posição de cada ERB instalada na cidade e a tecnologia utilizada. Segundo a ANATEL (2017), a operadora de telefonia móvel Claro S.A., dispõe na cidade de Apodi-RN quatro ERB's como mostrado na Figura 5.1.

Figura 5.1 - ERB's instaladas na cidade de Apodi-RN



Fonte: ANATEL (2017)<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Disponível em: <<http://gatewaysiec.anatel.gov.br/mobileanatel/>> Acesso em: agosto de 2017.



Ainda segundo a ANATEL (2017), das quatro torres dispostas na cidade pela CLARO S.A., apenas duas oferecem o serviço 3G. Assim, optamos por selecionar a ERB's que está localizada mais ao centro da cidade, isso porque o raio de cobertura da célula abrange maior parte da cidade e podemos aplicar os modelos de propagação de sinal. Na Tabela 5.1 e Figura 5.2 temos os dados e posição referente a ERB selecionada.

Tabela 5.1 - Dados sobre a ERB selecionada

010 – SERVIÇO MÓVEL PESSOAL					
Número/Nome: 4180216 - CLARO S.A.					
CNPJ/CPF: 404.325.44/0001-47					
Endereço da ERB: RUA JOSÉ M MENEZES - n° S/N, Centro, Apodi-RN					
Estação	Nome	Data Cadastro	Data 1ª Licença	Data última Licença	Número FISTEL
679352120	RNAPD01	25/06/2002	09/07/2002	09/06/2017	50409307637

Fonte: ANATEL (2017)<sup>4</sup>.

Figura 5.2 - ERB's com Tecnologia 3G



Fonte: ANATEL (2017)<sup>5</sup>.

## 5.2 – CONFIGURAÇÃO DO TRANSMISSOR

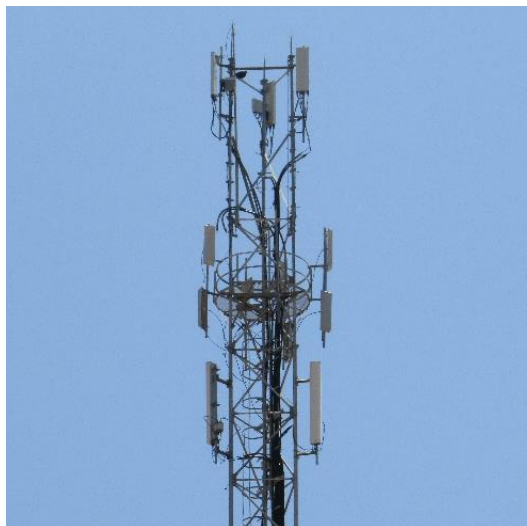
Como neste trabalho estamos realizando os testes a partir da antena de uma operadora de telecomunicação móvel, a CLARO S.A., as configurações seguem o padrão usado pela

<sup>4</sup> Disponível em: <<https://sistemas.anatel.gov.br/stel/consultas/ListaEstacoesLocalidade/tela.asp>> Acesso em: agosto de 2017.

<sup>5</sup> Disponível em: <<http://gatewaysiec.anatel.gov.br/mobileanatel/>> Acesso em: agosto de 2017.

operadora, com antenas setorizadas, cada uma direcionada para um azimute<sup>6</sup> específico, com a finalidade de atender a uma determinada região, sendo que as somatórias das antenas devem cobrir uma área de 360°. Na Figura 5.3 temos ilustra-se a setorização da ERB.

Figura 5.3 - Setorização de antenas



Fonte: Autor (2017)

Para as antenas implantadas na cidade que seguem a configuração padrão da operadora, utilizaremos a potência do transmissor igual 44 w, ganho do transmissor igual a 12 dBi e ganho do receptor igual a 0 dB. A altura de instalação do sistema irradiante varia de acordo com a região que será atendida, podendo chegar a altura superior a 100 metros. No caso estudado, a altura de instalação da antena é de 30 metros.

### 5.3 – CONFIGURAÇÃO DO RECEPTOR

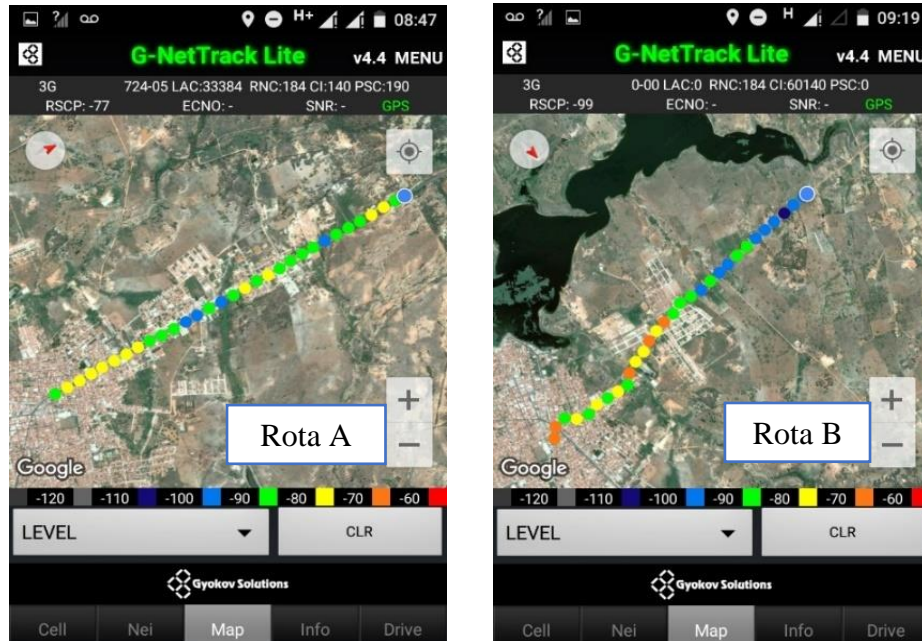
Para realização da coleta de dados, foi utilizado um *smartphone* da marca Motorola, modelo MOTO G2, que possui uma antena com ganho de 0 dB, em regiões que são atendidas pela tecnologia 3G. Para auxiliar na coleta dos dados, foi utilizado o aplicativo *G-NetTrack*, o qual funciona em conjunto com o GPS do celular fornecendo uma interface com um mapa que mostra o nível de sinal ao longo do percurso da coleta além de outras informações, como, data, horário, latitude, longitude, tecnologia utilizada e operadora a qual o *smartphone* está conectado. O aplicativo também guarda os dados do percurso em um arquivo de texto (log) que

---

<sup>6</sup> Ângulo medido no plano horizontal entre o meridiano do lugar do observador e o plano vertical que contém o ponto observado.

posteriormente serão tratados e utilizá-los em nossa análise. Para o presente trabalho foram utilizadas apenas as informações de coordenadas geográficas, para posterior conversão em distância, altitude e potência recebida. Na Figura 5.4 temos a interface do aplicativo utilizado.

Figura 5.4 - Interface G\_NetTrack



Fonte: Autor (2017)

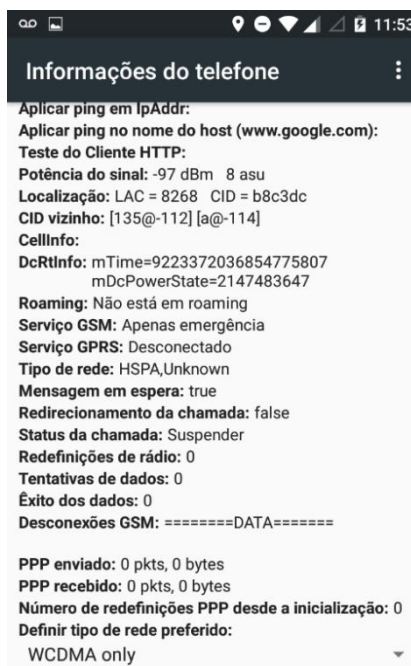
Como existem, outras tecnologias ativas pelas empresas de telecomunicação com a 2G, precisamos garantir que nosso aparelho estará usando apenas a tecnologia que é alvo de nosso estudo, para nosso caso a 3G. Assim, não é permitido que seja realizado qualquer tipo de *handoff*, impedindo que o aparelho migre de uma ERB para outra que utiliza outra tecnologia.

Para o modelo de *smartphone* utilizado podemos realizar essa configuração através do *field test* do próprio equipamento. Para acessar o *field test* basta digitar no teclado `***#4636***` e aparecerá a tela mostrada na Figura 5.5.

Figura 5.5 - *Field test* Motorola Moto G2

Fonte: Autor (2017)

Agora selecionamos o item “Informações do telefone”, onde é possível identificar todas as configurações do equipamento, bem como, da operadora a que possui vínculo. Nesta tela deve-se procurar o item “Definir tipo de rede preferida” e selecionar *WCDMA only*, conforme mostra na Figura 5.6. Desta forma o *smartphone* ficará obrigatoriamente usando apenas a tecnologia 3G, mesmo que a potência recebida seja baixa.

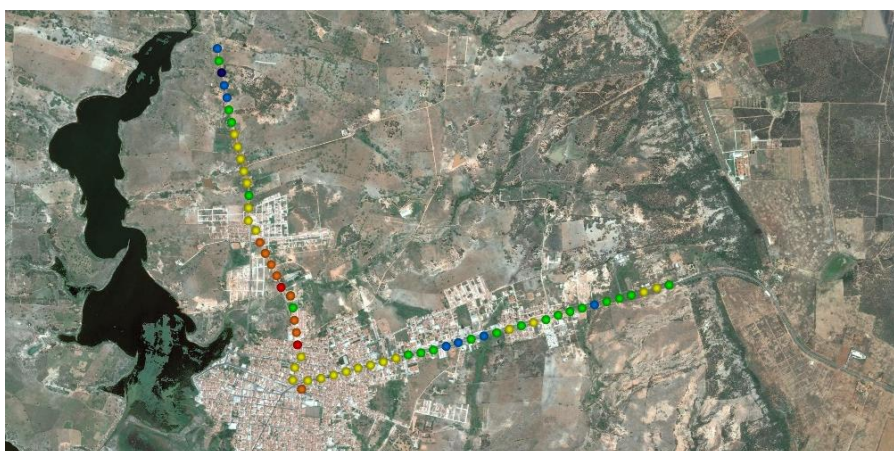
Figura 5.6 - Configurações para manter o *smartphone* na rede 3G

Fonte: Autor (2017)

#### 5.4 – CONFIGURAÇÃO DAS ROTAS

Após definir a ERB que será estudada e as configurações do transmissor e receptor, devemos traçar as rotas de coleta de dados. Como as ERB seguem as configurações padrões da operadora, sabemos que usa antenas setorizadas que dispersam o sinal em 360°, assim, com auxílio do *software Google Earth* podemos traçar as rotas ilustradas na Figura 5.7, de forma a abranger o máximo do alcance dentro da cidade até fora, em um raio máximo de 3 km.

Figura 5.7 - Rotas de Coleta de dados



Fonte: Google Earth - Editada pelo autor (2017)

Em cada rota foi selecionada 30 amostras para aplicar aos modelos de propagação e o algoritmo genético. A coleta das amostras foi realizada a cada 100 m em uma distância total de 3 km, seguindo sempre com o receptor em uma mesma altura de 1 m. Cada rota possui suas características únicas:

- Rota A: Segue ao longo da BR405, na rua Joaquim Teixeira de Moura, percorrendo uma distância total de 3 km, com construções de altura mediana, e vegetação pouco densa. Uma característica importante desse percurso é que em grande parte existe a situação de visada direta (*LOS - line of sight*) com a torre, isso devido a ser um terreno relativamente plano, e a ERB possuir uma altura considerável de 30 m. Na Figura 5.8 temos as características da rota A.

Figura 5.8 - Características Rota A



Fonte: Autor (2017)

- Rota B: Segue percorrendo ruas distintas, mas sempre buscando ficar em linha reta, para que possamos calcular a distância até a ERB. A rota inicia na rua Enéas Barbosa e se estende a uma distância de 3 km e nos leva até a zona rural da cidade, no sítio Barra. Na Figura 5.9 temos as características da rota B.

Figura 5.9 - Características Rota B



Fonte: Autor (2017)

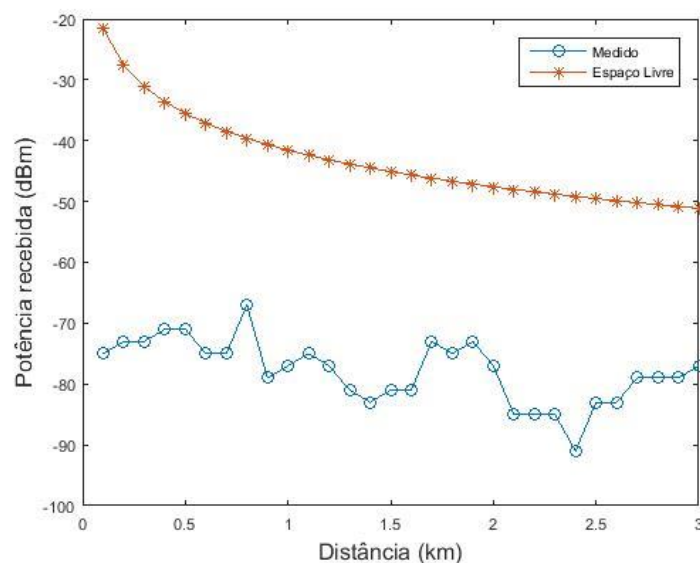
As duas rotas foram selecionadas para o lado oposto a outra ERB da operadora que também possui a tecnologia 3G, isso ocorre de propósito, pois assim não há possibilidade do *smartphone* realizar *handoff*, ou seja, realizar a troca de ERB quando o sinal estiver baixo.

## 5.5 – COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS ESTUDADOS E SINAL MEDIDO

Com o objetivo de obter uma melhor fidelidade nos dados coletados, para cada rota foram realizadas três medições em dias e horários distintos, nos mesmos pontos coletados e seguindo os mesmos padrões. Assim, para aplicarmos ao algoritmo genético, será utilizado a média aritmética dessas três medidas, para que os dados coletados não fiquem “viciados” e para obter uma melhor característica do ambiente de propagação. Ainda com auxílio do *software Google Earth*, podemos determinar a altura do receptor com base na altitude que o *software* fornece em relação ao nível do mar para cada ponto de coleta. Após realizarmos as medidas *in loco* e tratarmos os dados (tirar a média das medidas, a calcular a altura relativa da ERB e receptor), teremos os dados prontos para aplicar no algoritmo genético. No Anexo A temos os dados dispostos em uma tabela.

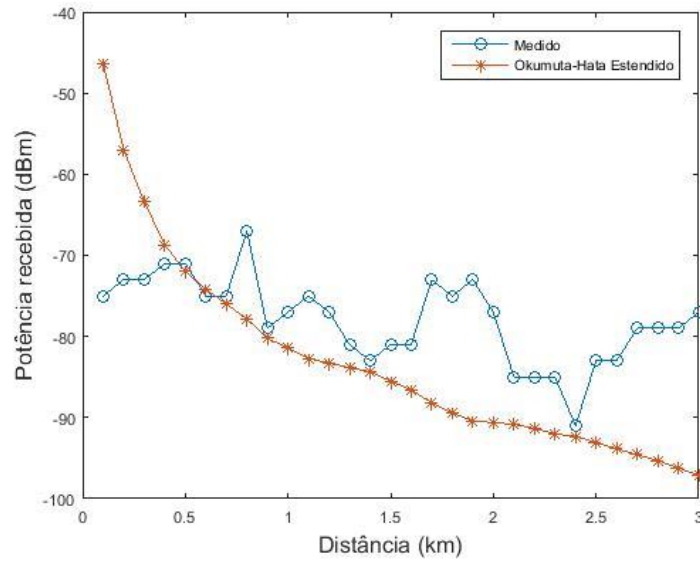
Utilizando os dados obtidos na campanha de medição e aplicando aos modelos de propagação abordados, pode-se traçar os gráficos que descrevem a potência recebida do sinal móvel na cidade de Apodi-RN. A seguir temos as Figura 5.10 que compara o Modelo Espaço Livre e o Sinal Medido para a rota A, Figura 5.11 que compara o Modelo Okumura-Hata Estendido e o Sinal Medido para rota A e Figura 5.12 que compara o Modelo COST 231-Walfisch-Ikegami e o Sinal Medido para a rota A.

Figura 5.10 – Comparação: Modelo Espaço Livre e o Sinal Medido – Rota A



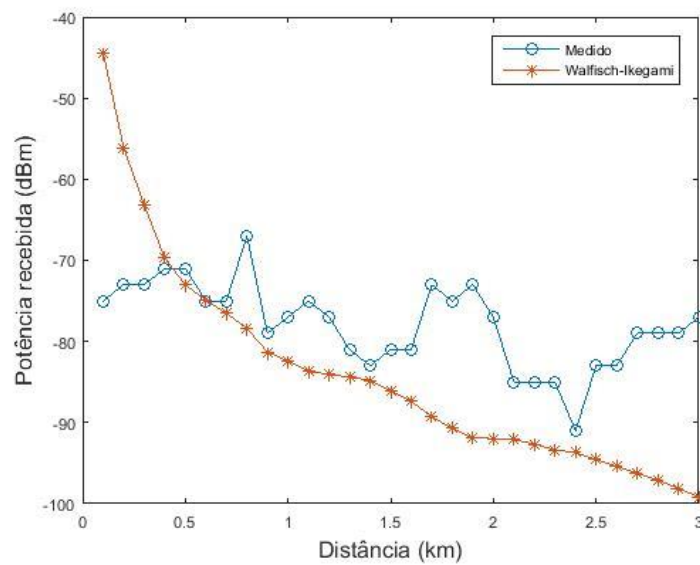
Fonte: Autor (2017)

Figura 5.11 – Comparação: Modelo Okumura-Hata Estendido e o Sinal Medido – Rota A



Fonte: Autor (2017)

Figura 5.12 – Comparação: Modelo COST 231-Walfisch-Ikegami e o Sinal Medido - Rota A



Fonte: Autor (2017)

A Tabela 5.2 apresenta os valores de erros quadráticos médios não normalizados e desvio padrão entre os dados medidos e preditos pelos modelos adotados, para a rota A.



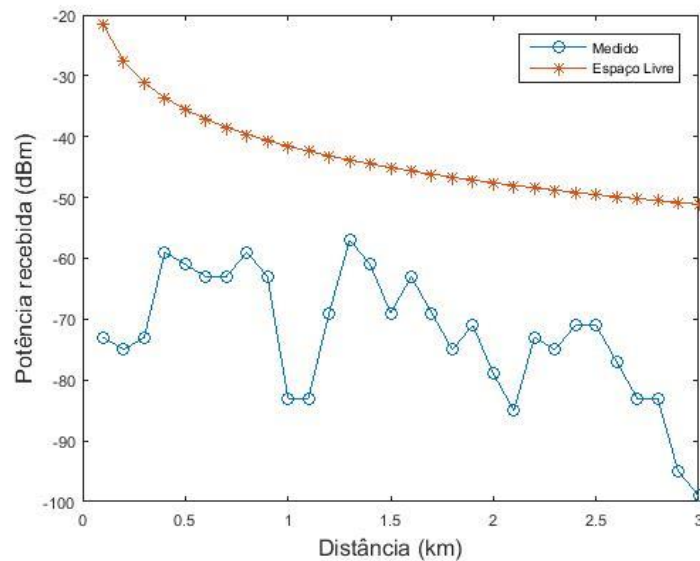
Tabela 5.2 - Erro Médio Quadrático dos modelos com relação ao medido *in loco* – Rota A

	Espaço Livre	Ukumura-Hata Estendido	COST 231 Walfisch-Ikegami
Erro Médio Quadrático	1245,1	131,9134	158,1704
Desvio Padrão	7,3868	12,1377	12,8787

Fonte: Autor (2017)

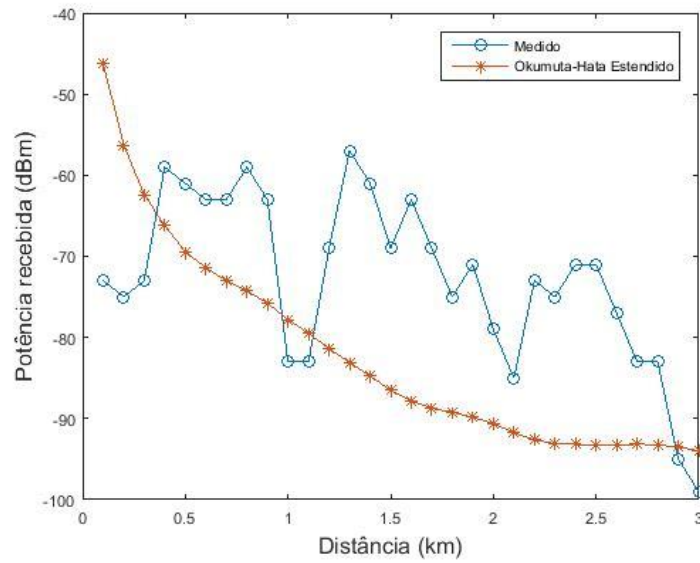
Para a rota B, podemos traçar: Figura 5.13 que compara o modelo de Espaço Livre com o Sinal Medido, Figura 5.14 que compara o modelo Okumura-Hata Estendido e o Sinal Medido e a Figura 5.15 que compara o modelo COST 231-Walfisch-Ikegami e o Sinal Medido. Posteriormente e demonstra-se os erros quadráticos médios e desvios padrões na Tabela 3.4.

Figura 5.13 – Comparação: Modelo Espaço Livre e o Sinal Medido – Rota B



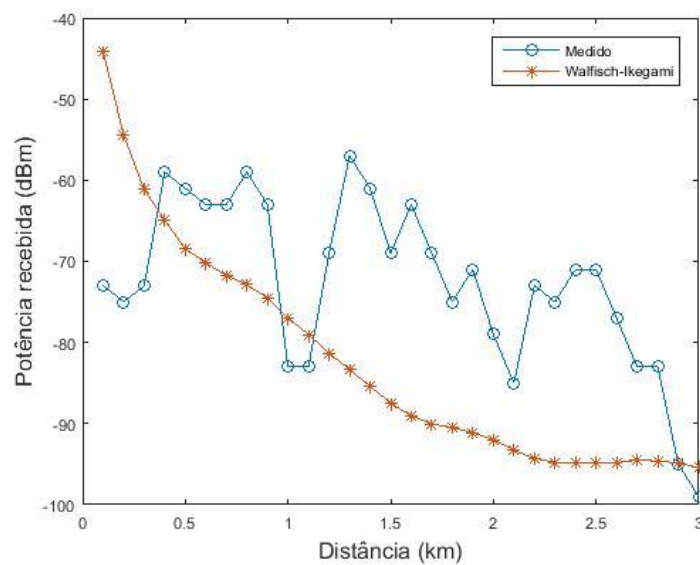
Fonte: Autor (2017)

Figura 5.14 – Comparação: Modelo Okumura-Hata Estendido e o Sinal Medido - Rota B



Fonte: Autor (2017)

Figura 5.15 - Comparação: Modelo COST 231-Walfisch-Ikegami e o Sinal Medido - Rota B



Fonte: Autor (2017)

A Tabela 5.3 apresenta os valores de erros quadráticos médios não normalizados e desvio padrão entre os dados medidos e preditos pelos modelos adotados, para a rota B.

Tabela 5.3 - Erro Médio Quadrático dos modelos com relação ao medido *in loco* - Rota B

	Espaço Livre	Ukumura-Hata Estendido	COST 231 Walfisch-Ikegami
Erro Médio Quadrático	968,2899	251,9543	278,2969
Desvio Padrão	7,3868	12,5698	13,7945

Fonte: Autor (2017)

Como é possível notar através das Figuras 5.10, 5.11, 5.12, 5.13, 5.14 e 5.15 e das tabelas 5.2 e 5.3, os modelos de propagação não apresentaram um bom ajuste quando comparados com a potência do sinal recebido medido *in loco*. Isso se deve ao fato de que esses modelos apresentam constantes ajustáveis, que foram elaboradas para um determinado ambiente em um cenário específico. Por isso essas fórmulas necessitam de ajustes de forma a prever melhor a perda de sinal.

Com o intuito de melhorar o desempenho dos modelos de propagação, foi implementado um Algoritmo Genético para otimizar os valores das constantes de ajuste para cada um deles, e assim descrever a perda de sinal na cidade de Apodi-RN.

## 5.6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, foi apresentada a metodologia em relação a campanha de medições, em que se explicou de forma clara e sucinta como foi realizada a obtenção dos dados *in loco*. Caracterizou-se a cidade alvo do estudo, definiu-se a ERB, depois partiu-se para as configurações do transmissor e receptor móvel, detalhou-se as rotas de coleta de dados e por fim comparou-se os dados obtidos com os modelos abordados. Com base nessa comparação pode-se notar que os modelos estudados podem ser melhorados ajustando suas constantes e assim obtendo um modelo que represente a realidade da cidade de Apodi-RN.

## CAPÍTULO 6 – RESULTADOS E ANÁLISES

Após realizar as comparações entre a potência do sinal recebido *in loco* e a potência recebida fornecida pelos modelos estudados, foi observado um erro elevado para todos os modelos. Isso se deve as constantes de ajustes dos modelos que não foram otimizadas para cidade de Apodi/RN. Neste capítulo apresentaremos as análises e os resultados dos modelos após a utilização de algoritmo genético para a otimização das constantes de ajustes dos modelos, a fim de minimizar o erro entre os valores coletados *in loco* e os modelos estudados.

### 6.1 – DETERMINANDO AS CONSTANTES DE AJUSTE E ALGORITMO GENÉTICO

Conforme visto anteriormente, foram realizadas campanhas de medição na cidade de Apodi/RN, partindo de uma determinada ERB com a tecnologia 3G seguindo duas rotas de coleta de dados. Com esses dados tabulados e tratados no resta definir as constantes de ajuste que serão otimizadas pelo algoritmo genético.

#### 6.1.1 – Constantes de Ajuste para o modelo Espaço Livre

Sabemos que a equação que descreve a perda de sinal do modelo de espaço livre é dada por;

$$L = 32,44 - 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) \quad (6.1)$$

Assim, suas constantes de ajuste são:

$$L = \boxed{A} - \boxed{B} \log_{10}(d) + \boxed{C} \log_{10}(f) \quad (6.2)$$

Portanto para esse modelo ajustaremos as constantes A, B e C para valores que proporcione o menor erro com relação a perda de sinal medido *in loco*.

### 6.1.2 – Constantes de Ajuste para o modelo Okumura-Hata Estendido

Sabemos que a equação que descreve a perda de sinal do modelo de Okumura-Hata estendido é dada por;

$$L(dB) = 46,3 + 33,9\log_{10}(f) - 13,82\log_{10}(h_t) - a(h_r) + (44,9 - 6,55h_t)\log_{10}(d) + C_m \quad (6.3)$$

Assim, suas constantes de ajuste são:

$$L(dB) = \boxed{A} + \boxed{B} \log_{10}(f) - \boxed{C} \log_{10}(h_b) - a(h_m) + (\boxed{D} - \boxed{E} h_b)\log_{10}(d) + \boxed{C_m} \quad (6.4)$$

Portanto para esse modelo ajustaremos as constantes A, B, C, D, E e  $C_m$ .

### 6.1.3 – Constantes de Ajuste para o modelo COST 231-Walfisch-Ikegami

Sabemos que a equação que descreve a perda de sinal do modelo de modelo COST 231-Walfisch-Ikegami, seguindo as características da cidade de Apodi/RN é dada por;

$$L_{rst} = -16,9 - 10\log_{10}(w) + 10\log_{10}(f) + 20\log_{10}(\Delta hm) + L_{ori} \quad (6.5)$$

Onde,

$$L_{ori} = -10 + 0,354\varphi; \quad \text{Para } 0 \leq \varphi < 35^\circ \quad (6.6)$$

$$L_{bsh} = -18 \log_{10}(1 + \Delta hb) \quad \text{Para } hb > ht \quad (6.7)$$

$$L_t = 42,6 + 26\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) \quad (6.8)$$

Assim, suas constantes de ajuste de acordo com as características da cidade são:

$$L_{rst} = \boxed{A} - \boxed{B} \log_{10}(w) + \boxed{C} \log_{10}(f) + \boxed{D} \log_{10}(\Delta hm) + L_{ori} \quad (6.9)$$

Onde,

$$L_{ori} = \boxed{E} + \boxed{F} \varphi; \quad \text{Para } 0 \leq \varphi < 35^\circ \quad (6.10)$$

$$L_{bsh} = \boxed{G} \log_{10}(1 + \Delta hb) \quad \text{Para } hb > ht \quad (6.11)$$

$$L_t = X + Y \log_{10}(d) + Z \log_{10}(f) \quad (6.12)$$

Como o modelo COST 231-Walfisch-Ikegami analisa de forma mais aprofundada o ambiente de propagação, o número de variáveis a serem otimizadas é maior.

#### 6.1.4 – Estratégia e características do algoritmo genético utilizado na otimização

Para otimizar os modelos estudados anteriormente, a ideia básica é otimizar suas constantes de ajuste já descritas no item anterior, assim, obteremos novos valores para essas constantes que descrevem de forma mais fiel a potência do sinal recebido na cidade de Apodi/RN.

A estratégia base utilizada em nosso algoritmo genético para otimização consiste em gerar uma população com valores aleatórios utilizando codificação real e por meio de uma primeira seleção são retirados os indivíduos mais aptos para realizar as operações de cruzamento e mutação, até que seja atingido um critério de parada.

A seguir tem-se a descrição das principais estratégias usadas no Algoritmo Genético:

- **Estratégia de seleção:** seleciona aleatoriamente indivíduos da população para serem aplicado nas constantes de ajustes, em seguida, calcula-se a perda de sinal com aqueles indivíduos selecionados, se o resultado for um valor que esteja dentro do intervalo especificado para o valor medido *in loco* o indivíduo é selecionado.
- **Estratégia de Cruzamento:** buscando otimizar os indivíduos pré-selecionados, a operação de cruzamento é mediada por um sorteio poderá realizar a troca das três últimas casas decimais após a vírgula de dois indivíduos selecionados, ou seja, se temos o *cruzamento(A, B)* e se  $A=2,5522$  e  $B=3,6633$ , após o cruzamento  $A=2,5633$ .
- **Estratégia de mutação:** como os indivíduos já foram pré-selecionados, então se entende que já são valores bons, assim, a operação de mutação, mediante a restrição de uma taxa de mutação, será realizada soma ou subtração de 0,01 ao indivíduo.
- **Estratégia de Avaliação:** usaremos o erro quadrático médio, usando os valores da perda de sinal calculado e medido.

$$EQM = - \sum_i \frac{(L_{calc} - L_{medido})^2}{n} \quad (6.13)$$

Em que:

$L_{\text{calc}}$  – é a perda de sinal calculado;

$L_{\text{medido}}$  – é a perda de sinal medido *in loco*;

$n$  - é número de termos.

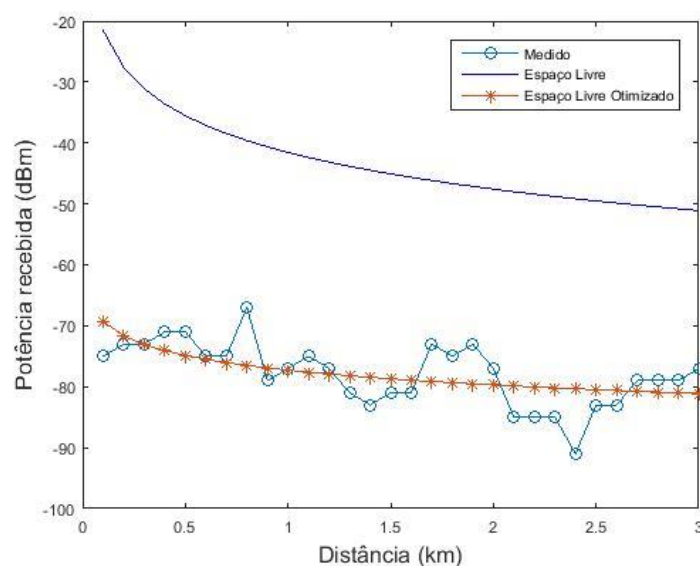
$i$  – é igual a quantidade de amostras (para nosso caso  $i = 30$ ).

- **Critério de parada:** temos duas táticas: a primeira será quando erro quadrático médio chegar a um valor desejado; a segunda será quando chegar a um limite de gerações, daí o Algoritmo Genético escolhe o menor erro quadrático médio e utiliza o mesmo para otimização. Em nosso trabalho, utilizamos as duas táticas, mas, em todas as execuções o critério de parada que foi atendido foi o do limite de gerações.

## 6.2 – OTIMIZAÇÃO PARA A ROTA A

Com os modelos de propagação definidos, rotas traçadas, aparelhos calibrados, dados coletados e estratégia para o Algoritmo Genético definida, pode-se aplicar ao Algoritmo Genético e analisar os resultados obtidos após a otimização. Para cada modelo será plotado um gráfico que relaciona a potência recebida medida, o modelo sem otimização e o modelo com otimização, além de um gráfico relacionando a quantidade de gerações pelo erro quadrático médio. Para o modelo de espaço livre temos a seguinte otimização:

Figura 6.1 - Otimização para o modelo de Espaço Livre – Rota A



Fonte: Autor (2017)

No modelo de espaço livre foram otimizadas as constantes A, B e C, cujos valores estão mostrados na tabela a seguir.

Tabela 6.1 - Constantes Otimizadas para o modelo Espaço Livre – Rota A

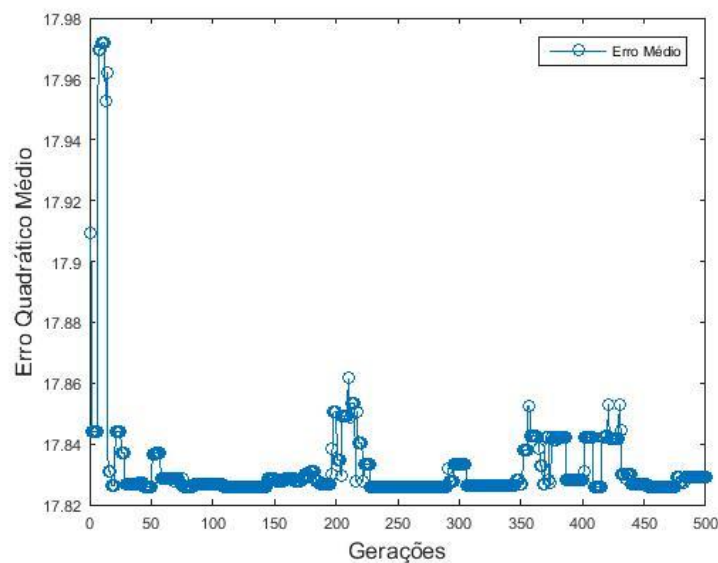
Parâmetros	Padrão	Otimizado
A	32,45	42,0326
B	20	8,0326
C	20	28,0326

Fonte: Autor (2017)

Conforme visto, o modelo de espaço o livre é um dos mais simples, pois leva em consideração apenas a distância e frequência utilizada, por esse motivo podemos ver claramente na Figura 6.1 que o valor sem otimização está com um grande erro em relação ao valor medido. Assim, após a otimização temos na Tabela 6.3 os valores para as constantes de ajuste A, B e C que reduzem consideravelmente o erro.

Com relação à quantidade de gerações e erro quadrático médio, temos o seguinte gráfico.

Figura 6.2 - Relação entre o Erro Quadrático Médio e as Gerações – Rota A

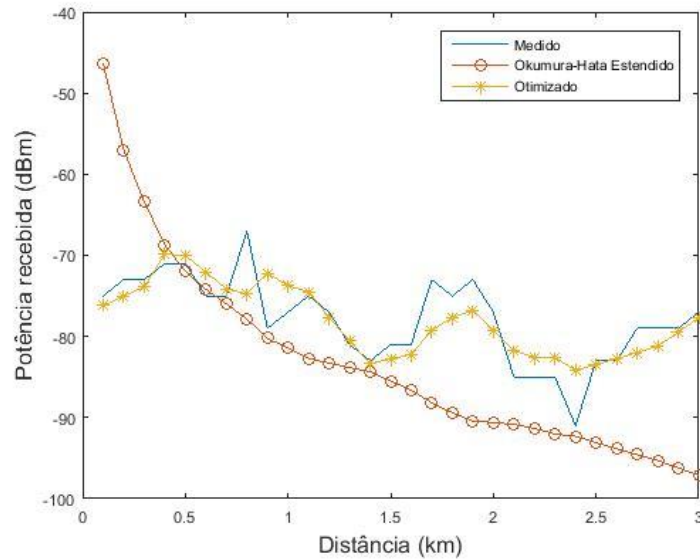


Fonte: Autor (2017)



Para o modelo Okumura-Hata Estendido temos a seguinte otimização:

Figura 6.3 - Otimização modelo Okumura-Hata Estendido - Rota A



Fonte: Autor (2017)

No modelo de Okumura-Hata Estendido foram otimizadas as constantes A, B, C, D, E e  $C_m$  cujos valores estão mostrados na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 - Constantes Otimizadas para o modelo Okumura-Hata Estendido – Rota A

Parâmetros	Padrão	Otimizado
A	46,3	16,7015
B	33,9	9,0066
C	13,86	-59,6616
D	44,9	-60,9734
E	6,55	-39,2409
$C_m$	0	-5,9834

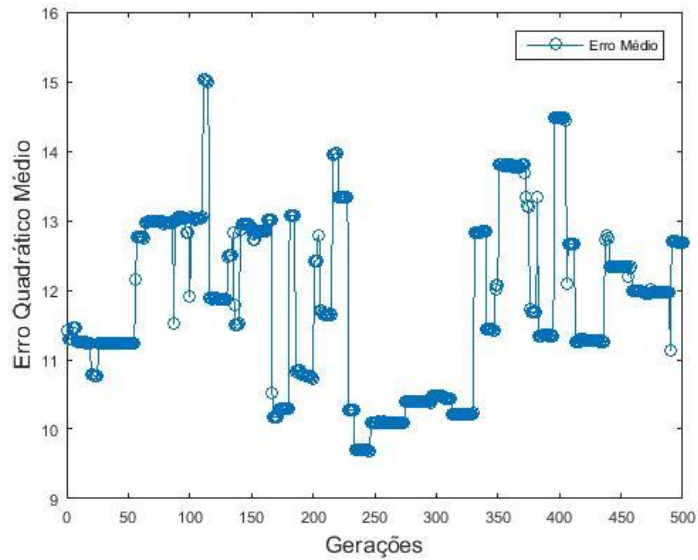
Fonte: Autor (2017)

O modelo Okumura-Hata Estendido já trás uma análise mais completa do ambiente de propagação, pois, além de levar em consideração altura do transmissor, altura do receptor e distância também levar em consideração características do tipo do ambiente (rural ou urbano). Por esse motivo, esse modelo sem otimização se aproxima da perda de sinal medida, como

podemos ver na Figura 6.3, mas, com a otimização podemos ver que o resultado é bem mais satisfatório. Assim, após a otimização temos na Tabela 6.2 os valores para as constantes de ajuste A, B, C, D, E e  $C_m$  que reduzem consideravelmente o erro.

Com relação à quantidade de gerações e erro quadrático médio, temos o seguinte gráfico.

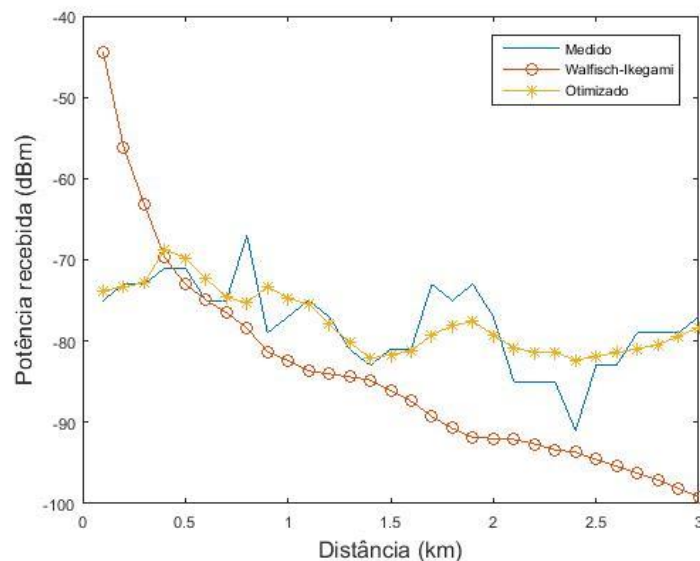
Figura 6.4 - Relação Erro Quadrático Médio pela quantidade de Gerações – Rota A



Fonte: Autor (2017)

Para o modelo Cost 231-Walfisch-Ikegami temos a seguinte otimização:

Figura 6.5 - Otimização modelo COST 231-Walfisch-Ikegami – Rota A



Fonte: Autor (2017)

No modelo de Cost 231-Walfisch-Ikegami foram otimizadas as constantes A, B, C, D, E, F, G, X, Y e Z descritas anteriormente, cujos valores estão mostrados na tabela a seguir.

Tabela 6.3 - Constantes Otimizadas para o modelo COST 231-Walfisch-Ikegami – Rota A

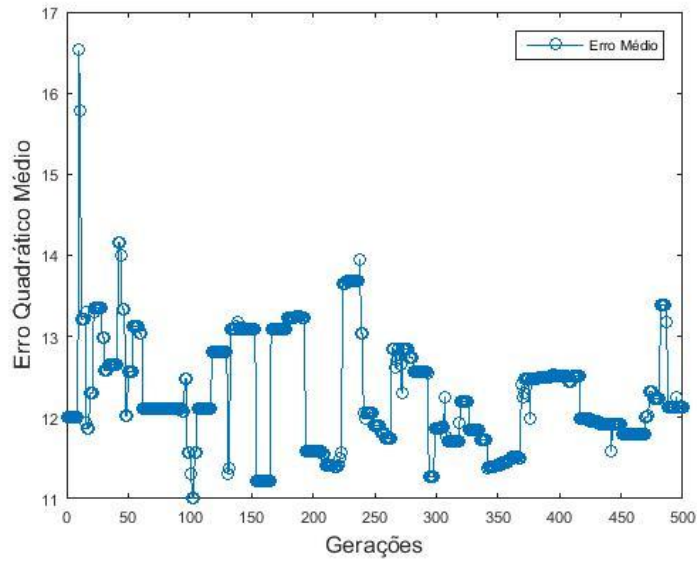
Parâmetros	Padrão	Otimizado
A	-16,9	15,0554
B	10	-0,4873
C	10	1,0042
D	20	1,0042
E	10	9,3701
F	0,35	6,2791
G	-18	41,1771
X	42,6	31,986
Y	26	-17,0554
Z	20	-13,8072

Fonte: Autor (2017)

O modelo Cost 231-Walfisch-Ikegami é o modelo que possui constantes de ajustes, pois além de levar em consideração altura do transmissor, altura do receptor, distância e o tipo de região, ele leva em consideração o fenômeno da propagação guiada quando existe linha de visada direta (LOS - *line of sight*) entre a estação-base (ERB) e o móvel na direção de uma rua cercada por edifícios. Por esse motivo esse modelo sem otimização se aproxima da perda de sinal medida, como podemos ver na Figura 6.5, mas, com a otimização podemos ver que o resultado é bem mais satisfatório. Assim, após a otimização temos na Tabela 6.3 os valores para as constantes de ajuste A, B, C, D, E, F, G, X, Y e Z que reduzem consideravelmente o erro.

Com relação a quantidade de gerações e erro quadrático médio, temos o seguinte gráfico.

Figura 6.6 - Relação Erro Quadrático Médio pela quantidade de Gerações – Rota A



Fonte: Autor (2017)

Na Tabela 6.4 podemos visualizar os valores do erro quadrático médio e desvio padrão dos modelos estudados, antes e depois da otimização. Assim pode-se comprovar a eficiência do Algoritmo Genético para a otimização das constantes de ajuste.

Tabela 6.4 - Desempenho dos modelos após a otimização para a Rota A

Modelos	Sem otimização		Com otimização	
	EQM (dB)	Desvio Padrão(dB)	EQM (dB)	Desvio Padrão(dB)
Espaço Livre	1245,1235	7,3868	17,8259	2,9667
Okumura-Hata E.	131,9134	12,1377	9,69	4,3136
Walfisch-Ikegami	158,1704	12,8787	11,0107	3.9383

Fonte: Autor (2017)

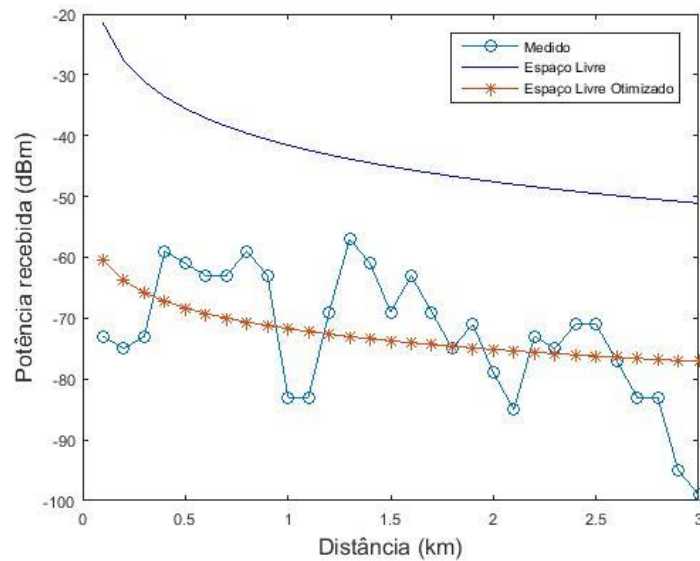
Podemos observar na Tabela 6.4 que os modelos Espaço Livre, Okumura-Hata Estendido e COST 231 Walfisch-Ikegami apresentaram erros quadráticos médios e desvio padrão bem menores, logo, podemos afirmar que para esses modelos a otimização ocorreu de forma adequada.

Conforme os dados da Tabela 6.4, também podemos afirmar que o modelo de propagação que melhor se adapta a realidade da cidade de Apodi/RN, seria o Okumura-Hata Estendido, isso porque, o mesmo possui o menor erro quadrático médio após a otimização.

### 6.3 – OTIMIZAÇÃO PARA A ROTA B

Para a otimização dos modelos ao longo da rota B, seguimos de forma análoga rota A, portanto, a seguir temos as Figuras e tabelas com os resultados obtidos após a otimização.

Figura 6.7 - Otimização para o modelo de Espaço Livre – Rota B



Fonte: Autor (2017)

No modelo de espaço livre foram otimizadas as constantes A, B e C, cujos valores estão mostrados na Tabela 6.5:

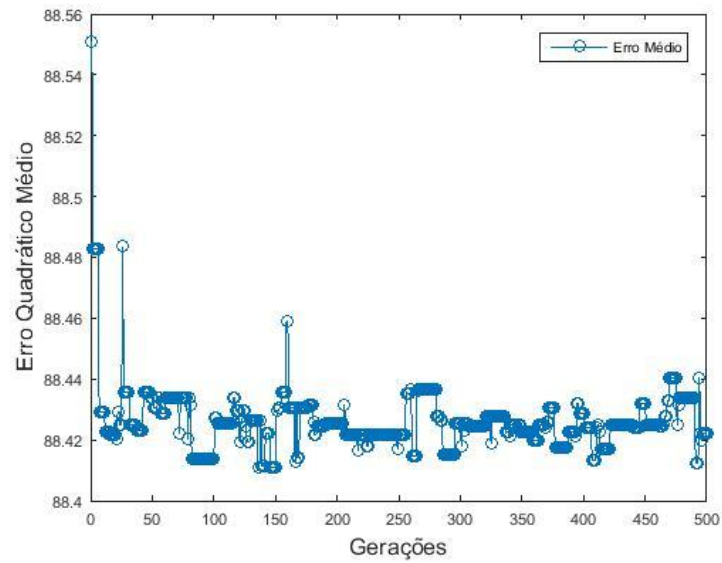
Tabela 6.5 - Constantes Otimizadas para o modelo Espaço Livre – Rota B

Parâmetros	Padrão	Otimizado
A	32,45	13,0339
B	20	11.3303
C	20	35,2339

Fonte: Autor (2017)

Com relação a quantidade de gerações e erro quadrático médio, temos o seguinte gráfico.

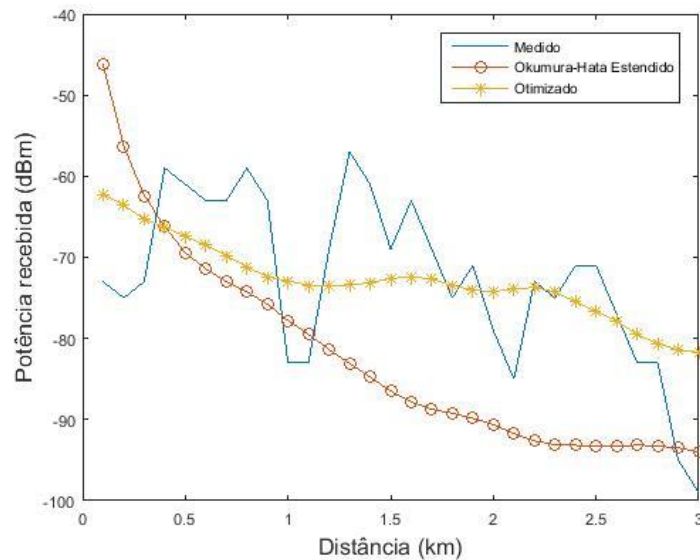
Figura 6.8 - Relação entre o Erro Quadrático Médio e as Gerações – Rota B



Fonte: Autor (2017)

Para o modelo Okumura-Hata Estendido temos a seguinte otimização:

Figura 6.9 - Otimização modelo Okumura-Hata Estendido – Rota B



Fonte: Autor (2017)

No modelo de Okumura-Hata Estendido foram otimizadas as constantes A, B, C, D, E e  $C_m$  cujos valores estão mostrados na Tabela 6.6:

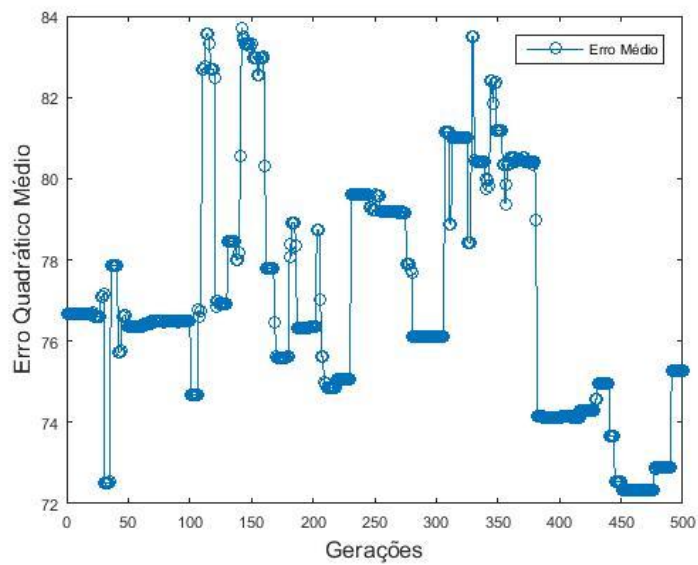
Tabela 6.6 - Constantes Otimizadas para o modelo Okumura-Hata Estendido – Rota B

Parâmetros	Padrão	Otimizado
A	46,3	55,0026
B	33,9	-11.9726
C	13,86	-11.6726
D	44.9	-62.9926
E	6,55	-46.9726
C <sub>m</sub>	0	91.0074

Fonte: Autor (2017)

Com relação à quantidade de gerações e erro quadrático médio, temos o seguinte gráfico.

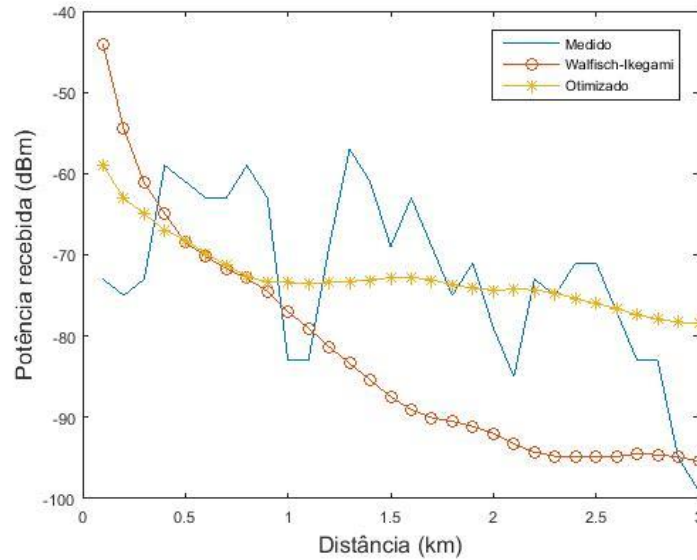
Figura 6.10 - Relação Erro Quadrático Médio pela quantidade de Gerações – Rota B



Fonte: Autor (2017)

Para o modelo Cost 231-Walfisch-Ikegami temos a seguinte otimização:

Figura 6.11 - Otimização modelo COST 231-Walfisch-Ikegami – Rota B



Fonte: Autor (2017)

No modelo de Cost 231-Walfisch-Ikegami foram otimizadas as constantes A, B, C, D, E, F, G, X, Y e Z cujos valores estão mostrados na Tabela 6.7:

Tabela 6.7 - Constantes Otimizadas para o modelo COST 231-Walfisch-Ikegami – Rota B

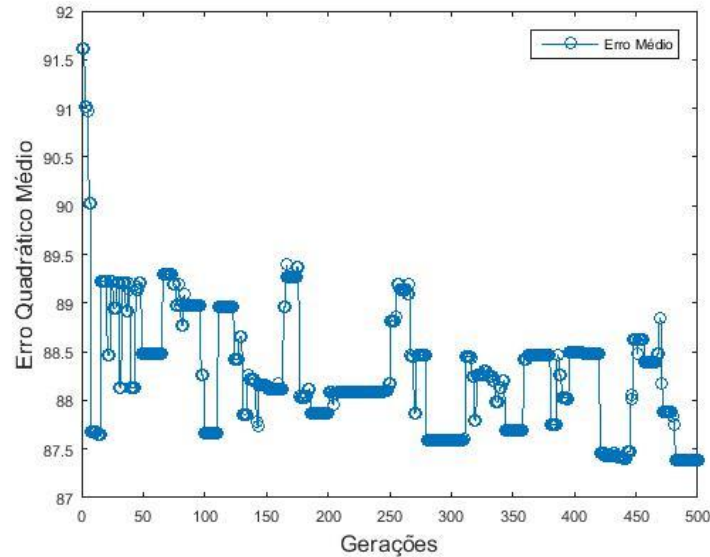
Parâmetros	Padrão	Otimizado
A	-16,9	8.0036
B	10	-0.99638
C	10	50.0037
D	20	9.0037
E	10	24.9931
F	0,35	-22.0069
G	-18	12.0031
X	42,6	-17.997
Y	26	-6.997
Z	20	-6.997

Fonte: Autor (2017)



Com relação a quantidade de gerações e erro quadrático médio, temos o seguinte gráfico.

Figura 6.12 - Relação Erro Quadrático Médio pela quantidade de Gerações – Rota B



Fonte: Autor (2017)

Na tabela 6.8 podemos visualizar os valores do erro quadrático médio e desvio padrão dos modelos estudados, antes e depois da otimização. Assim podemos comprovar a eficiência do algoritmo genético para a otimização das constantes.

Tabela 6.8 - Desempenho dos modelos após a otimização – Rota B

Modelos	Sem otimização		Com otimização	
	EQM (dB)	Desvio Padrão(dB)	EQM (dB)	Desvio Padrão(dB)
Espaço Livre	968,2899	7,3868	88,4108	4,1847
Okumura-Hata E.	251.9543	12.5698	72.3168	4.8083
Walfisch-Ikegami	278.2969	13.7945	87.3852	4.4317

Fonte: Autor (2017)

Os modelos Espaço Livre, Okumura-Hata Estendido e COST 231 Walfisch-Ikegami apresentaram erros quadráticos médios e desvio padrão menores, logo, podemos afirmar que para esses modelos a otimização ocorreu de forma adequada.

Como o percurso da rota B, em sua maior parte, é caracterizado por uma região rural, temos que essa otimização descreve um melhor modelo para zona rural e conforme os dados da Tabela 6.8, também podemos afirmar que os modelos de propagação que melhor se adapta a realidade da cidade de Apodi/RN, seria o Okumura-Hata Estendido e COST 231 Walfisch-Ikegami, isso porque, possuem o menor erro quadrático médio.

#### 4.3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foram apresentados aos resultados obtidos realizando as otimizações dos modelos de propagação utilizados, para isso usamos o Algoritmo Genético para otimizar os parâmetros de cada modelo.

Posteriormente, realizamos uma comparação entre o erro quadrático médio e desvio padrão de cada modelo sem otimização e após a otimização, desse modo mostrando que o Algoritmo Genético atendeu as expectativas e destacamos qual melhor modelo se aplica para cidade de Apodi/RN.

## CAPÍTULO 7 – CONCLUSÃO

A telefonia móvel surgiu, inicialmente, buscando conectar as pessoas pelo serviço de voz, atualmente, sabemos que essa realidade mudou drasticamente, isso porque, hoje temos uma imensa gama de serviços atrelados a telefonia móvel. A demanda de tráfego de informações cresce a cada dia, com os serviços de voz, vídeo chamadas, mensagens e etc., e se não bastasse o crescimento dos serviços, esses fazem com que os usuários móveis passem cada vez mais tempo conectados, consumindo cada vez mais dados e largura de banda.

Foi desenvolvida então, a tecnologia 3G, para dar suporte a esse imenso crescimento de consumo de dados. Mas apenas uma nova tecnologia não é suficiente para proporcionar ao usuário uma melhor qualidade na recepção de sinal móvel. Surge a necessidade de também determinar um modelo de predição de sinal mais adequado para aquela tecnologia e região. Existem diversos modelos que podem descrever a perda de sinal, mas nem sempre eles se aplicam de forma eficiente a uma determinada região ou cidade.

Neste contexto, o presente trabalho propôs uma otimização de três modelos já consagrados na literatura, são eles: Modelo Espaço Livre, Okumura-Hata Estendido e COST 231 Walfisch-Ikegami, para descrever a potência recebida do sinal usado a tecnologia 3G com frequência de 1800 MHz, para cidade de Apodi/RN. Foi proposto o método de otimização usando Algoritmos Genéticos com dados coletados *in loco*, na tentativa de minimizar o erro entre os valores medidos e os valores preditos.

Inicialmente, para os modelos sem otimização, vimos que esses apresentavam um erro quadrático médio elevado como podemos comprovar nas tabelas 5.2 e 5.3. Daí a necessidade da otimização para ajustar o modelo à realidade da cidade e tentar reduzir ao máximo o erro.

Desta forma, o Algoritmo Genético demonstrou ser uma ferramenta eficiente como vimos na tabela 6.4 e 6.8, após a otimização das constantes de ajustes dos modelos, o valor do erro quadrático médio caiu consideravelmente bem como o desvio padrão. Assim, com a otimização os modelos se tornam mais eficientes para descrever a potência recebida pelo usuário de telefonia móvel.

Ainda podemos observar em nosso trabalho que o modelo que obteve melhor desempenho, foi o Okumura-Hata Estendido, isso porque obteve menor erro. Também, pode-se observar que a rota que melhor descreve a potência recebida para a zona urbana da cidade de Apodi/RN, é a rota A, isso porque em sua trajetória apresenta as principais características da cidade para o meio urbano. Já a rota B, descreve melhor a potência recebida para a zona rural,

isso porque suas características apresentadas ao longo do percurso de coleta são, em grande parte, rurais.

Por fim, concluímos que o objetivo do trabalho foi alcançado, visto que Algoritmo Genético conseguiu realizar a otimização dos modelos de propagação de forma eficiente e satisfatória, e conseguiu-se determinar um modelo de predição para descrever a potência recebida do sinal móvel para a cidade de Apodi/RN de forma a ter a menor atenuação e proporcionar uma melhor qualidade dos serviços aos usuários.

## 7.1 – TRABALHOS FUTUROS

Como trabalho futuros, propõe-se realizar o estudo para outras rotas, e com outro método de otimização e compra-lo com realizado neste trabalho. Assim, será obtido um melhor modelo de predição de sinal.

Também propõe-se realizar o novo estudo usando algoritmos genéticos para otimizar outros modelos de predição existentes como: modelo *Stanford University Interim* (SUI) e modelo ECC-33. Daí determinar se possuem uma melhor representação para a predição de sinal na cidade de Apodi/RN.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, Marcelo Sampaio; QUEIROZ, Wamberto José Lira de. **Ondas eletromagnéticas e teoria de antenas**. São Paulo: Érica, 2010.

ANATEL. Agência Nacional de Telecomunicações. **Pesquisa de satisfação e qualidade percebida – Serviço móvel pessoal pré-pago – Resultados 2016**. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br/consumidor/pesquisa-de-satisfacao-e-qualidade/2016>. Acesso em: 26 de julho de 2017.

ASSIS, Katiane Estevam Gurgel de. **Comparação entre os modelos clássicos de propagação aplicados a sistemas de comunicações sem fio**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Caraúbas, 2015.

ÁVILA, Sergio Luciano. **Algoritmos genéticos aplicados na otimização de antenas refletoras**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Novembro, 2002.

BARBOZA, A. O. **Simulação e técnicas da computação evolucionário aplicadas a problemas de programação linear inteira mista**. Tese de Doutorado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), CPGEI, Curitiba, PR, 2005. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/74>. Acesso em 03 de outubro de 2017.

BEASLEY, D.; BULL, D. R.; MARTIN, R. R. **An overview of genetic algorithms: Part 1, fundamentals**, 1993.

CAVALCANTE, Gustavo Araújo. **Otimização de modelos de predição da perda de propagação aplicáveis em 3,5GHZ utilizando algoritmos genéticos**. Natal, RN, 2010. Disponível em: [https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/15319/1/GustavoAC\\_\\_DISSERT.pdf](https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/15319/1/GustavoAC__DISSERT.pdf).> Acesso em: 26 de julho de 2017.

COSTA J. S. M., **Uma metodologia para predição do campo elétrico de radiodifusão sonora em ondas médias utilizando interferências bayesianas**, PP 30-39, Dissertação de Mestrado, PPGEE-UFPA 2013.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Informações Completas Município de Apodi/RN**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/apodi/panorama>>. Acesso em 05 de outubro de 2017.

LEITE, Cristiano de Andrade. **Ferramenta de predição para otimização da cobertura de rede celular**. Universidade Luterana do Brasil (ULBRA). 2011. Disponível em: [http://www.ulbra.inf.br/joomla/images/documentos/TCCs/2011\\_01/TCCI\\_SI\\_CristianoLeite.pdf](http://www.ulbra.inf.br/joomla/images/documentos/TCCs/2011_01/TCCI_SI_CristianoLeite.pdf). Acesso em: 25 de setembro de 2017.

LINDEN, Ricardo, **Algoritmos Genéticos**. 2. ed. Brasport. Rio de Janeiro, 2008.

HAYKIN, Simon; MOHER, Michael. **Sistemas modernos de comunicação wireless** / Simon Haykin, Michael Moher: tradução de Glayson Eduardo de Figueiredo, José Lucimar do Nascimento. Porto Alegre: Bookman, 2008.

MÜLLER, André Frotta. **Equipamento de biotelemetria para monitoramento em tempo real do teste da caminhada de seis minutos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Porto Alegre, 2004.

NOGUEIRA, Heber Valdo. **Algoritmo genético compacto com dominância para seleção de variáveis**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de Informática (INF), Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Goiânia, 2017. Disponível em: <http://www.inf.ufg.br/mestrado/sites/www.inf.ufg.br.mestrado/files/uploads/Dissertacoes/Dissertacao%20Heber%20Valdo%20Nogueira.pdf>. Acesso em: 26 de julho de 2017.

OKUMURA, Y. et al., **Field strength and its variability in VHF and UHF landmobile radio service**, Reviews of the Electrical Communications Laboratory (Japan), Vol. 16, 1968.

PEREIRA, Marco Antonio Betini. **Análise de modelos de propagação na área urbana da região de Curitiba – PR na faixa de frequência de 1800 MHz** / Marco Antonio Betini Pereira. Curitiba: UFPR/ Setor de Tecnologia / Departamento de Engenharia Elétrica, 2007.

PINHEIRO, Márcio Rodrigues. **Planejamento de rede LTE utilizando aproximação híbrida de modelo empírico outdoor: médio e técnica de algoritmo genético**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Belém, 2015. Disponível em: <http://www.ppgee.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/MARCIO%20RODRIGUES%20PINHEIRO.pdf>. Acesso em: 30 de julho de 2017.

VALENTE, Alexandre M. C.; RODRIGUES, Josiane C.; PINHEIRO, Márcio R. **Otimização de modelos de perda de propagação da rede LTE 1800 MHz utilizando algoritmo genético**. SANTARÉM, PA, 2016. Disponível em: <http://www.sbrt.org.br/sbrt2016/anais/ST33/1570275262.pdf>. Acesso em: 30 de julho de 2017.

VELLASCO, Marley Maria R.; PACHECO, Marco Aurélio C.; CUNHA FILHO, Guilherme Francisco V. da. **Dimensionamento otimizado de redes de comunicação sem fio 802.11 usando algoritmos genéticos**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: [http://rica.ele.puc-rio.br/media/Revista\\_rica\\_n6\\_a10.pdf](http://rica.ele.puc-rio.br/media/Revista_rica_n6_a10.pdf). Acesso em: 30 de julho de 2017.

VILANOVA, A. C.; CARRIJO, G. A. **Otimização usando algoritmo genético de um modelo de propagação baseado em equações parabólicas**. HOLOS, Ano 28, Vol 6. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/viewFile/1029/620>. Acesso em: 26 de julho de 2016.

RAPPAPORT, T. S. **Comunicação sem fio: princípios e práticas**. 2. ed. / Theodore S. Rappaport; tradução Daniel Vieira revisão técnica Luiz Carlos Pessoa Albini. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

**ANEXOS**

ANEXO A - Dados coletados *in loco* e tratados

Distância da ERB (m)	Elevação Rota A (m)	Altura Rota A (m) (ERB – Receptor)	Potência Recebida (Rota A) (dB)	Elevação Rota B (m)	Altura Rota B (ERB – Receptor) (m)	Potência Recebida (Rota B) (dB)
100	82	31	-75	81	32	-67
200	83	30	-73	77	36	-80
300	84	29	-73	77	36	-73
400	89	24	-71	73	40	-71
500	88	25	-71	72	41	-67
600	85	28	-75	66	47	-74
700	82	31	-75	60	53	-68
800	81	32	-67	53	60	-71
900	84	29	-79	51	62	-66
1000	82	31	-77	56	57	-77
1100	81	32	-75	59	54	-79
1200	77	36	-77	64	49	-69
1300	73	40	-81	68	45	-65
1400	69	44	-83	72	41	-61
1500	70	43	-81	76	37	-75
1600	71	42	-81	78	35	-74
1700	75	38	-73	78	35	-79
1800	77	36	-75	76	37	-86
1900	78	35	-73	75	38	-80
2000	75	38	-77	75	38	-86
2100	72	41	-85	77	36	-89
2200	71	42	-85	78	35	-78
2300	71	42	-85	77	36	-79
2400	69	44	-91	74	39	-83
2500	70	43	-83	71	42	-85
2600	71	42	-83	68	45	-85
2700	72	41	-79	63	50	-93
2800	73	40	-79	60	53	-91
2900	75	38	-79	58	55	-98
3000	77	36	-77	58	55	-100

Fonte: Autor (2017)



## ANEXO B - LISTA DAS ERB's DA OPERADORA CLARO S.A. NA CIDADE DE APODI-RN

DADOS DA ENTIDADE										
<b>Número/Nome:</b>	4180216 - CLARO S.A.									
<b>CNPJ/CPF:</b>	40432544000147	<b>Número FISTEL:</b>	50409307637							
<b>Serviço:</b>	010 - SERVIÇO MOVEL PESSOAL	<b>Qtde. Estações:</b>	4							
Lista de Estação(ões) por Localidade										
Estação	Nome	UF	Município	Bairro	Logradouro	Latitude	Longitude	Data Cadastro	Data 1º Lic.	Última Licença
679352120	RNAPD01	RN	Apodi	CENTRO	RUA JOSÉ M MENEZES - n° S/N	05S394097	37W475280	25/06/2002	09/07/2002	09/06/2017
692271686	RNAPD02	RN	Apodi	CENTRO	RUA ANTONIO LOPES FILHO - n° S/N	05S395836	37W473217	19/03/2010	23/04/2010	18/05/2017
698543165	RNAPD04	RN	Apodi	PORTAL DA CHAPADA	AVENIDA VINGT ROSADO - n° S/N	05S385719	37W480752	28/12/2012	18/02/2013	15/03/2013
698734653	RNAPD05	RN	Apodi	São Sebastião	Travessa Tiradentes - n° 98	05S395396	37W480515	04/03/2013	24/09/2013	23/10/2013

Fonte: ANATEL (2017). Disponível em: <https://sistemas.anatel.gov.br/stel/consultas/ListaEstacoesLocalidade/tela.a>