

APLICAÇÃO DO PERCENTRON DE MÚLTIPAS CAMADAS PARA ESTIMAÇÃO DA COBERTURA DO SINAL DE TELEVISÃO DIGITAL NA CIDADE DE GOIÂNIA

Douglas Dias da Silva

Escola de Engenharia Elétrica e de Computação (EEEC/UFG)
Avenida Universitária, n. 1488, quadra 86, bloco A, 3º piso, Setor Leste Universitário
74605-010 – Goiânia – GO
douglas-dias@hotmail.com

Resumo: Neste artigo são apresentadas informações sobre a intensidade de sinal obtida em campo e em simulações para a recepção *one-seg* de televisão digital na cidade de Goiânia – GO. Objetivando o desenvolvimento de uma ferramenta de estimação da intensidade de sinal, realizaram-se estudos referentes à teoria de redes neurais e suas aplicações, enfatizando a arquitetura Perceptron de Múltiplas Camadas e seu treinamento supervisionado através do algoritmo de retropropagação do erro (HAYKIN,2001). Tal ferramenta foi desenvolvida visando à capacidade de estimar a intensidade de sinal, sendo treinada com os dados obtidos nas medições. Após seu desenvolvimento, a ferramenta foi utilizada para a obtenção da intensidade de sinal para diversos cenários propostos. A estimativa da intensidade de sinal para o cenário com concentração de árvores e ausência de visada direta mostrou-se mais próximo, apresentando o maior percentual de erro da aproximação inferior a 8.03%, da realidade encontrada na cidade de Goiânia, conseqüência da grande concentração de árvores existentes atualmente na área urbana.

Palavra Chave: Redes neurais artificiais, perceptron de múltiplas camadas, televisão digital, cobertura do sinal.

1. Introdução

Em 29 de junho de 2006, o Decreto 5.820 definiu o padrão ISDB-T (do inglês: *Intregated Services Digital Broadcasting Terrestrial*) como base para o padrão do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre (SBTVD-T) e o prazo máximo de 10 anos para a transição entre o padrão analógico para o digital [2].

Um desafio para essa nova tecnologia de radiodifusão é o de determinar se a cobertura do sinal digital terá o mesmo alcance que na difusão analógica, devido à relação custo/benefício entre qualidade e robustez do sinal pode ocasionar na cobertura do sinal.

Neste contexto, o trabalho a seguir explana sobre a aquisição de dados através de medições de campo da intensidade de sinal para o modo de recepção *one-seg* (receptor móvel e/ou portátil). Medições que foram realizadas com a utilização de um analisador de radiofrequência [4] para a obtenção da intensidade de sinal e um GPS para a localização georeferenciada [3].

Os dados obtidos nas medições foram utilizados para o treinamento e validação da rede neural (arquitetura Perceptron de Múltiplas Camadas – MLP), utilizada para a estimação do valor da intensidade de sinal. De posse de uma ferramenta de estimação treinada e validada, várias estimativas foram realizadas para análise de diversos cenários.

Como resultado, o trabalho fornece uma análise entre a estimação de intensidade de sinal para diversos cenários propostos, fazendo um contraponto com a realidade encontrada na cidade de Goiânia [6].

2. Obtenção dos Dados

A caracterização da propagação do sinal de radiofrequência é de extrema importância para a implantação e desempenho de um sistema de transmissão. Nesta seção, serão descritos os equipamentos utilizados na campanha de medidas, os critérios de escolha dos pontos de medições e os dados obtidos.

Para a realização das medições utilizou-se um Sistema de Posicionamento Global (do inglês *Global Positioning System* – GPS) e um Analisador de Radiofrequência. Neste trabalho, utilizou-se o receptor GPS modelo *eTrexVistaHCx*, apresentado na Figura 1, de alta sensibilidade da marca *Garmin*. Esse modelo é equipado com um altímetro barométrico que fornece informação precisa de elevação e perfil vertical de terreno e uma bússola eletrônica [3].



Figura 1 GARMIN - eTrex Vista HCx

O Analisador de Radiofrequência é o equipamento responsável pela medição da intensidade de sinal em uma determinada faixa de frequência. Utilizou-se o analisador de frequência *FieldFox* N9912A do fabricante *Agilent* que possui a funcionalidade de analisador de espectro, o que permite a determinação da intensidade de sinal em dBm para cada ponto de frequência na largura de faixa configurada, Figura 2. Ao analisador de radiofrequência é acoplada uma antena retrátil de altura máxima igual a 1.135 m abrangendo a faixa de frequência de 70 a 1000 MHz e resistência interna de 50 Ω , modelo RH 799 da marca *Diamond Antenna* [4].



Figura 2 Analisador de Radiofrequência *FieldFox* N9912A e Antena Retrátil RH799

O analisador de radiofrequência disponibiliza a opção de exportar, em arquivo extensão .csv (planilha), os dados obtidos da intensidade de sinal (dBm) *versus* frequência. A Figura 3 apresenta o gráfico da intensidade de sinal, para o canal 34 no modo de recepção *full-seg*, obtido com o analisador de espectro configurado para a recepção do sinal de televisão digital da rede televisiva, emissora de televisão que fornece o sinal digital na região metropolitana de Goiânia. Sendo que, no modo de recepção *one-seg*, a portadora central está localizada na frequência ($593 + 1/7$) MHz e a largura de faixa do segmento *one-seg* é igual a 0,43 MHz [8]. Portanto, calculou-se o valor médio da intensidade de sinal para o modo de recepção *one-seg*, alvo deste estudo, através dos valores de intensidade de sinal para a faixa de frequência, obtendo um valor único de intensidade de dBm para um ponto de medição [6].

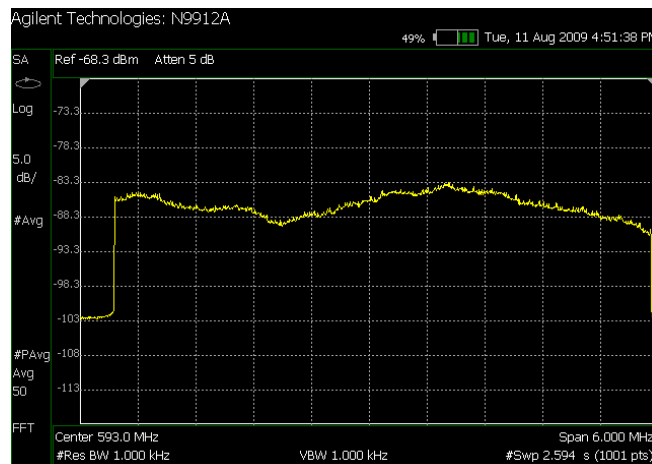


Figura 3 Gráfico de intensidade obtido pelo analisador de espectro

O modo de recepção *one-seg* é destinado aos receptores do tipo portátil, também conhecidos por “*handheld*”, recomendados para telas de exibição de dimensões reduzidas, normalmente até 7 polegadas. Esse modo é capaz de receber e

decodificar apenas sinais de televisão digital terrestre transportados na camada “A” do *transport stream*, apenas sinais de perfil básico [8].

Os pontos de medições foram escolhidos obedecendo a recomendação do Relatório ITU-R BT.2035-1 da *International Telecommunication Union* (ITU) que propõe um conjunto de princípios e procedimentos gerais para a realização de testes, medições e coleta de dados relativos a sistemas de radiodifusão televisiva digital terrestre [5].

Analisando os métodos propostos pelo relatório juntamente com os equipamentos disponíveis, optou-se pela execução do teste de recepção para o modo de recepção portátil. Essa configuração sugere que os pontos de medições localizem-se a cada 3 km em radiais igualmente espaçadas, com no mínimo oito radiais, iniciando-se a uma distância de 3 km da antena transmissora com um tempo de duração do teste entre segundos e minutos [5].

Optou-se por traçar 36 radiais igualmente espaçadas, tendo como ponto de origem a antena transmissora. Os pontos foram demarcados a cada 3 km, iniciando-se a 3 km da antena transmissora, até o primeiro ponto localizado fora dos limites da cidade de Goiânia, Estado de Goiás. Foi estabelecido o tempo de 5 minutos para a duração da medição em cada ponto, tempo suficiente para a estabilização do sinal no analisador de frequência. A Figura 4 apresenta os pontos para medições estabelecidos de acordo com o Relatório ITU-R BT.2035-1, nota-se que existem 189 pontos de medições (pontos) espalhados na cidade de Goiânia em radiais que partem da antena transmissora (triângulo) [6].

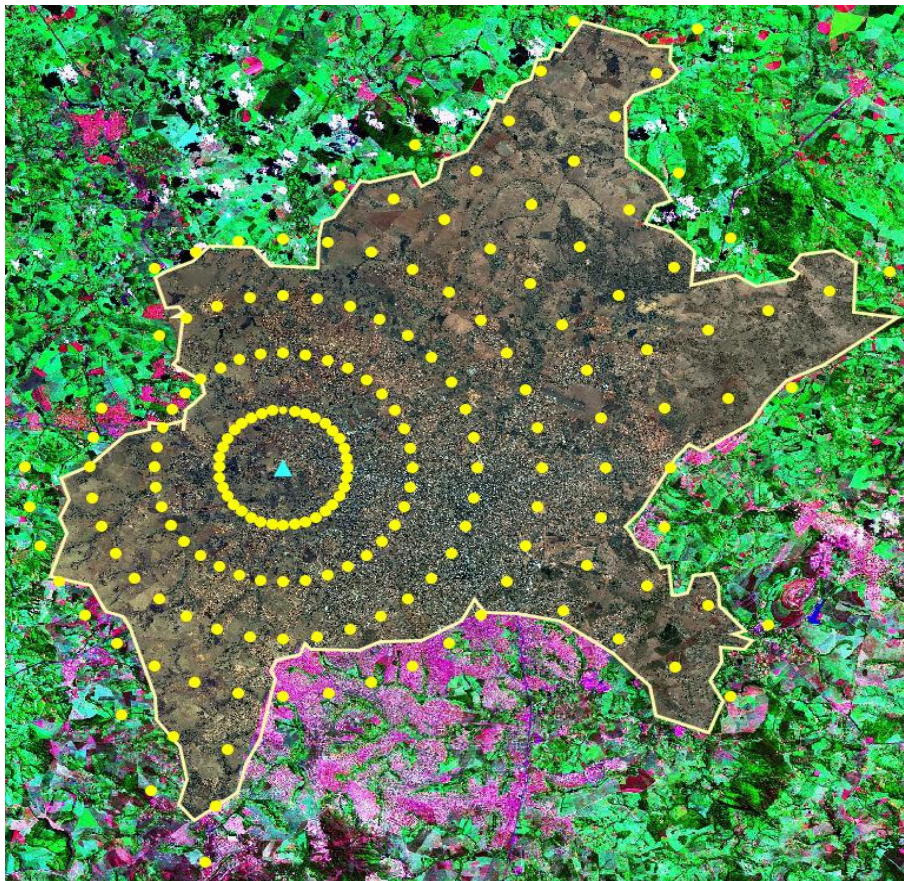


Figura 4: Pontos de medições determinados de acordo com o Relatório ITU-R BT.2035-1.

Com a determinação dos pontos, a campanha ocorreu nos meses de maio e junho de 2009 utilizando os equipamentos descritos anteriormente com a antena a uma altura máxima acima do solo de 2 metros. Em cada ponto foram realizadas anotações sobre fatores da região que influenciam na recepção sinal e valor da intensidade de sinal de televisão digital captada pelo analisador de radiofrequência. Estabeleceram-se quatro características do ambiente de medição que influenciam fortemente a qualidade do sinal recebido, foram elas: visada direta entre as antenas transmissora e receptora, distância em linha reta entre as antenas transmissora e receptora, concentração de prédios e concentração de árvores [6].

A característica visada direta informa se há visada direta entre as antenas transmissora e receptora, ou seja, se há ou não obstrução entre as antenas considerando uma linha reta que as liguem. A distância entre as antenas transmissora e receptora influencia fortemente na qualidade do sinal, pois a intensidade de sinal decai com o acréscimo da distância. A concentração de prédios e a concentração de árvores atuam de forma semelhante, na sua presença há uma degradação na intensidade de sinal devido os obstáculos inseridos pelas edificações ou árvores. A quantificação da concentração de prédios e árvores foi realizada

de forma visual. Considerou-se a presença de árvores ou prédios nas proximidades do ponto medido e em quantidade suficiente para impedir à visualização da localização da antena transmissora, sempre referenciado e orientado pelo GPS [6].

Ao término da campanha de medições, foram aferidos 103 pontos. Os demais pontos (86 pontos) não foram aferidos, pois se localizam na área rural de Goiânia e/ou em propriedade privada cujo acesso era proibido, inviabilizando a aferição dos mesmos. Portanto, dispunha-se de 103 padrões para o treinamento e validação da rede neural, descritos na próxima seção. A Tabela 1 apresenta os valores da intensidade de sinal para o modo de recepção *one-seg* em três pontos aferidos na campanha de medidas [6].

Tabela 1 Intensidade de sinal para o modo *one-seg*

Ponto	Intensidade (dBm)
21	-87,1871566
22	-78,03676674
23	-92,3422349

3. Caracterização da Rede Neural Proposta

Em seu trabalho, HAYKIN(2001) define rede neural artificial (RNA) como um processador maciço e paralelamente distribuído composto por unidades de processamento simples, que têm a tendência de armazenar o conhecimento adquirido.

Nesta seção será apresentada a determinação da melhor configuração da RNA do tipo Perceptron de Múltiplas Camadas (MLP – *Multi-Layers Perceptron*) para o problema proposto. Inicia-se pela escolha da arquitetura da rede neural artificial, ou seja, pela caracterização de cada entrada e saída. Em seguida, é apresentada a forma de normalização e tratamento dos dados a serem utilizados pela rede neural. Finalizando a seção, apresenta-se o treinamento supervisionado da rede neural artificial através do algoritmo de retropropagação com o objetivo de determinar os melhores parâmetros livres e o número de neurônios na camada oculta da rede neural.

3.1. Arquitetura da Rede Neural Artificial

A arquitetura de uma rede neural artificial é definida pela caracterização de suas camadas, ou seja, pela quantidade e características das entradas, dos neurônios da camada escondida e da camada de saída. Neste trabalho, a arquitetura é definida de acordo com os dados obtidos na campanha de medidas.

A arquitetura da rede neural MLP adotada nesta proposta, apresentada na Figura 5, é composta por cinco unidades na camada de entrada e por um neurônio na camada de saída.

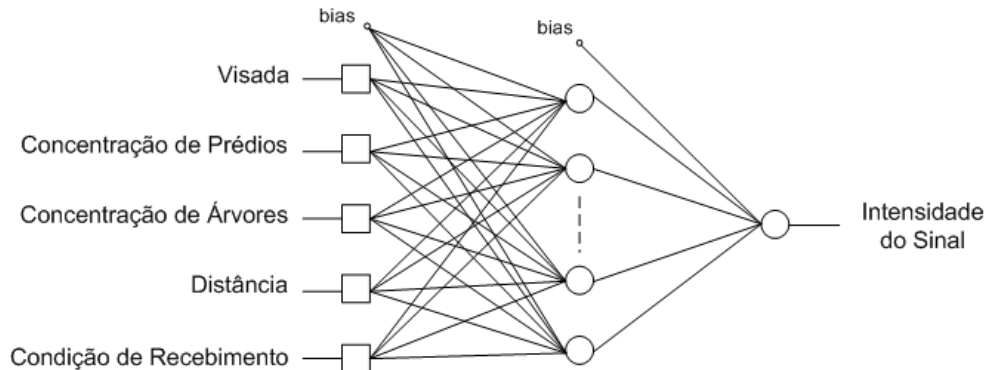


Figura 5: Arquitetura da Rede Neural MLP proposta.

A primeira entrada, denominada “Visada”, fornece à rede a informação de existência ou não de visada direta entre as antenas transmissora e receptora. A segunda entrada, “Concentração de prédios”, informa à rede neural se naquele ponto específico há, ou não, concentração de prédios. A entrada “Concentração de árvores” fornece à rede neural a informação de presença ou ausência de concentração de árvores naquele ponto. A quarta entrada, “Distância”, indica à rede neural a distância, em linha reta, entre a antena transmissora e receptora [6].

A última entrada, “Condição de recebimento”, fornece à rede neural a condição de recebimento específica para o ponto em análise, entrada que é influenciada por diversos fatores que não puderam ser mensurados (como fenômeno de múltiplos percursos, elipsóide de Fresnel, entre outros) [6].

A entrada supracitada foi modelada matematicamente de acordo com os dados obtidos durante a campanha de medição. Sabe-se que, a intensidade de sinal varia de acordo com ambiente no qual está sendo mensurada. Portanto, definiu-se 4 (quatro) grupos distintos, de acordo com as entradas, que são: visada direta, concentração de prédios, concentração de árvores e ausência de visada direta [6].

Em cada ambiente, a intensidade do sinal está submetida a diversos fenômenos, ocasionando variações em seu valor, por exemplo: fenômeno de múltiplos percursos, desvanecimento, refração, reflexão, absorção, entre outros. Como não foi possível realizar as medições dos vários fenômenos presentes nos ambientes, optou-se por modelar matematicamente a entrada “condição de recebimento”, que considerará todas as interferências no ambiente. Tal entrada calcula a pior e a melhor condição de recebimento do ambiente baseando-se na diferença entre a intensidade de sinal medido e a linha de tendência, que é curva logarítmica de aproximação das intensidades de sinal aferidas [6].

A função de ativação utilizada em cada neurônio que compõe a rede neural MLP foi à sigmóide bipolar, variando de -1 a +1. A quantidade de neurônios da camada oculta será determinada na sub-seção seguinte após o treinamento da rede neural. Por último, a camada de saída é composta por um único neurônio de saída que fornece ao usuário o valor da intensidade de sinal em dBm, após desnormalização, relativa as condições de entradas fornecidas a rede neural.

3.2. Tratamento dos Dados

Os dados adquiridos na campanha de medição foram normalizados antes de serem fornecidos a rede neural. Essa normalização foi realizada para todas as entradas e saídas da rede neural, tendo como limite inferior e superior de normalização os valores -0,9 e +0,9 respectivamente. A Equação (1) ilustra como a normalização foi calculada para as entradas “visada”, “concentração de prédios”, “concentração de árvores” e “distância”[6].

$$\text{Ent_Normalizada} = 1.8 \left(\frac{\text{grandeza}}{\max(\text{abs}(\text{grandeza}))} \right) - 0.9, \quad (1)$$

As entradas “visada”, “concentração de prédios” e “concentração de árvores” são do tipo discretas, assumem os valores binários 1 e 0, que representa, respectivamente, a presença e a ausência. Assim sendo, o ambiente que tenha visada direta, terá a entrada normalizada igual à +0,9, caso o ambiente não tenha visada direta, a entrada normalizada será igual a -0,9. O mesmo raciocínio é válido para as entradas “concentração de prédios” e “concentração de árvores”. A entrada “distância”, do tipo contínua, foi normalizada, através da Equação (1), considerando o intervalo de 0 a 30 km [6].

A última entrada, “condição de recebimento”, foi modelada através de um estudo dos dados obtidos na campanha de medição. Os dados foram divididos em 4 (quatro) grupos de acordo com o ambiente (presença de visada direta, concentração de prédios, concentração de árvores e ausência de visada direta), em seguida traçou-se uma linha de tendência para cada grupo, curva logarítmica baseada nas intensidades de sinal mensuradas, para então determinar os valores de condição de recebimento [6].

Através da linha de tendência e dos valores medidos, ambos do mesmo grupo, foi possível determinar a intensidade de sinal aferida que apresenta a maior variação positiva e a intensidade de sinal aferida que apresenta a maior variação negativa quando comparadas com a linha de tendência logarítmica. Considerou-se que o ponto cuja intensidade de sinal aferida apresentou a maior variação positiva, apresenta a melhor condição de recebimento. Visto que, neste ponto a intensidade de sinal encontra-se mais forte do que esperado pela linha de tendência logarítmica, consequência da pouca interferência existente neste ponto em particular [6].

Conhecendo o valor da intensidade de sinal para os pontos de maior e pior condição de recebimento, consequentemente, as maiores variações positiva e negativa, pode-se normalizar os valores da entrada “Condição de Recebimento” para cada grupo descrito acima [6].

O primeiro grupo refere-se aos dados que possui visada direta entre as antenas transmissora e receptora. A Figura 6 apresenta os pontos medidos que possuem visada direta e sua respectiva linha de tendência.

A linha de tendência do grupo de visada direta é regida pela Equação (2). Através da análise da Figura 6 e da Equação (2) conclui-se que o ponto medido de intensidade -70.678 dBm possui a melhor condição de recebimento, ou seja, a maior variação positiva entre o valor medido e a linha de tendência. O ponto medido de intensidade de sinal igual a -80.4233 dBm possui a maior variação negativa, logo, a pior condição de recebimento. Os pontos de melhor e pior condição de recebimento estão destacados em círculos vermelhos na Figura 6.

$$Tv_{one-seg}(d) = -8.3349 \ln(d) - 61.165, \quad (2)$$

onde d é a distância, em km, entre as antenas transmissora e receptora.

O segundo grupo é composto por dados obtidos nos ambientes que apresentam concentração de prédios, consequentemente não possuem visada direta entre as antenas transmissora e receptora. A Figura 7 apresenta os pontos medidos e a linha de tendência para esse grupo.

A Equação (3) apresenta a forma de cálculo para a linha de tendência desse grupo. A partir da Figura 7 e da Equação (3), é possível localizar os pontos com a maior variação positiva e negativa, destacados em círculos vermelhos no gráfico.

O ponto com a maior variação positiva, logo, o que possui a melhor condição de recebimento, possui intensidade de sinal igual a -77.9416 dBm. O ponto com a maior variação negativa, ou seja, a pior condição de recebimento possui intensidade de sinal igual a -93.8921 dBm.

$$Tp_{one-seg}(d) = -10.51\ln(d) - 67.934, \quad (3)$$

onde d é a distância, em km, entre as antenas transmissora e receptora.

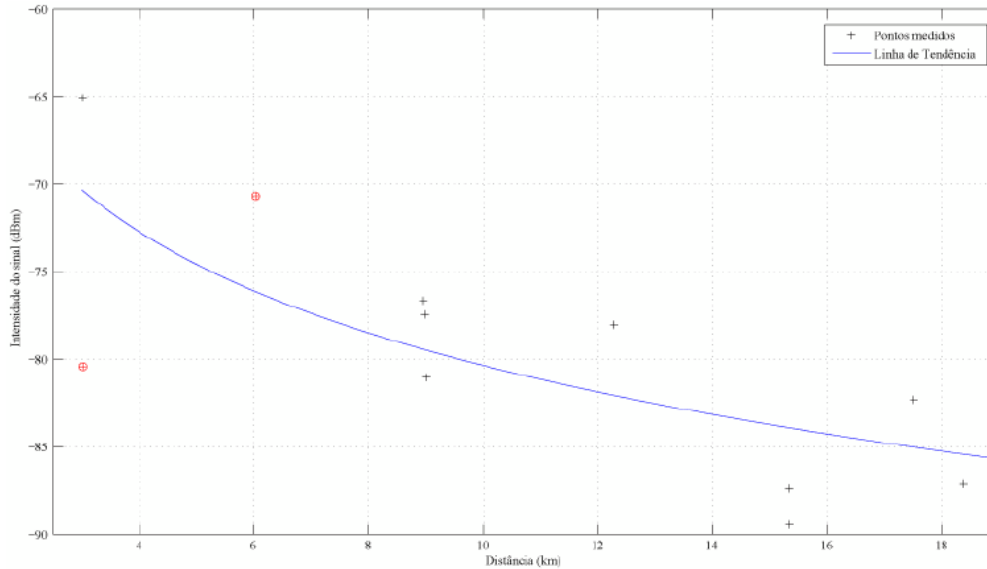


Figura 6 Intensidade de sinal em dBm para os pontos medidos, na recepção *One-seg*, com visada direta e sua respectiva linha de tendência.

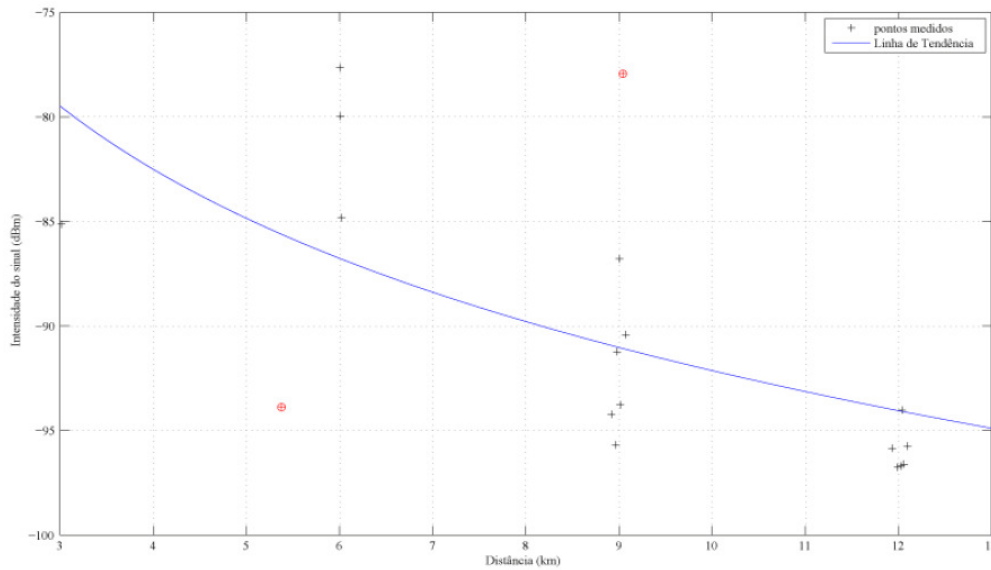


Figura 7 Intensidade de sinal em dBm para os pontos medidos, na recepção *one-seg*, sem visada direta e com concentração de prédios e sua respectiva linha de tendência.

O terceiro grupo é composto pelos pontos medidos nos locais em que havia concentração de árvores, logo, não possuíam visada direta. A Figura 8 apresenta os valores da intensidade de sinal dos pontos medidos pertencentes a esse grupo e sua respectiva linha de tendência, descrita pela Equação (4).

$$Ta_{one-seg}(d) = -3.8378\ln(d) - 83.411, \quad (4)$$

onde d é a distância, em km, entre as antenas transmissora e receptora.

Através da Figura 8 e Equação (4), o ponto com maior variação positiva em relação à linha de tendência possui intensidade de sinal igual a -85.9725 dBm. Enquanto que, o ponto com a maior variação negativa em relação à linha de

tendência possui intensidade de sinal igual a -96.6532 dBm (pontos demarcados de vermelho na Figura 8). O último grupo caracteriza-se pelos dados em que não há presença de concentração de prédios ou de árvores e ausência de visada direta entre as antenas transmissora e receptora. A Figura 9 apresenta os pontos medidos desse grupo, juntamente com sua linha de tendência que é descrita pela Equação (5).

$$Tsv_{one-seg}(d) = -7.2044 \ln(d) - 75.608, \quad (5)$$

onde d é a distância, em km, entre as antenas transmissora e receptora. Os pontos destacados em vermelhos na Figura 9 apresentam a melhor e pior condição de recebimento. O ponto com intensidade de -71.5737 dBm possui a melhor condição de recebimento, ou seja, tem a maior variação positiva entre o ponto medido e a linha de tendência. O ponto com intensidade de -91.25 dBm possui a pior condição de recebimento por ter a maior variação negativa entre o ponto medido e a linha de tendência.

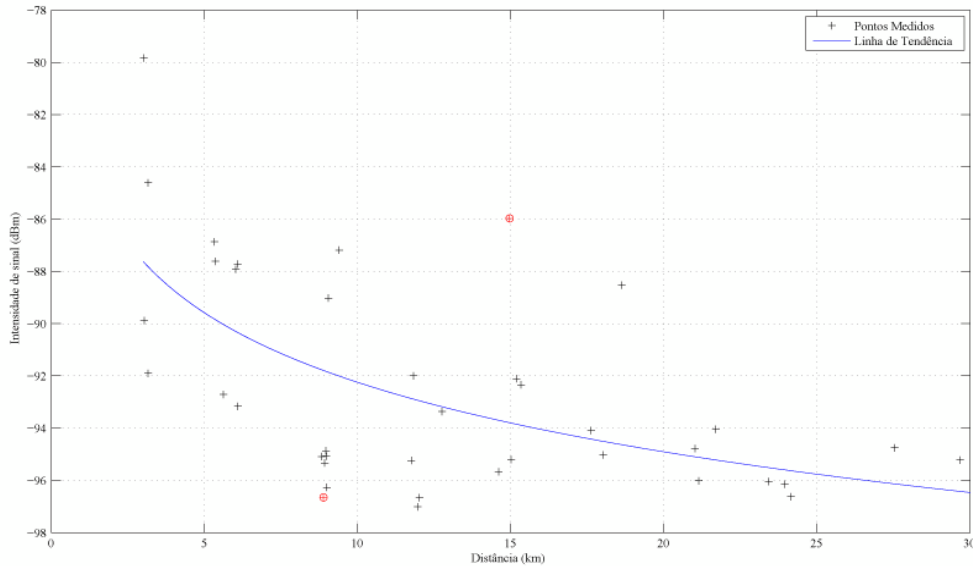


Figura 8 Intensidade de sinal em dBm para os pontos medidos, na recepção *one-seg*, sem visada direta e com a concentração de árvores e sua respectiva linha de tendência.

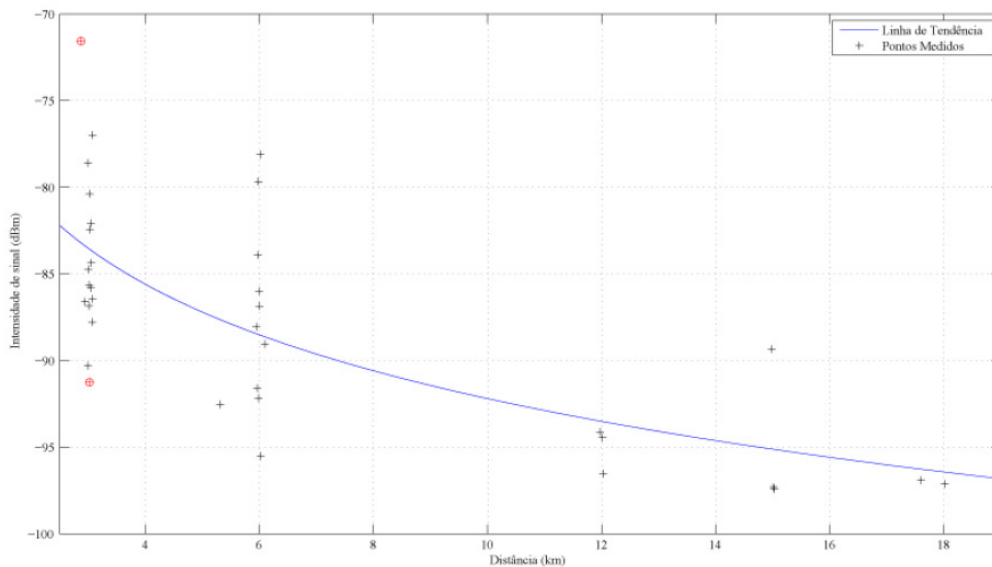


Figura 9 Intensidade de sinal em dBm para os pontos medidos, na recepção *one-seg*, sem visada direta e sua respectiva linha de tendência.

Com o tratamento e a normalização do último grupo de dados da entrada “condição de recebimento”, encerra-se o tratamento dos dados de entrada para o tipo de recepção *one-seg* do sinal de televisão digital. Na próxima subseção, explanar-se-à como o treinamento foi realizado para RNA, proposta na seção anterior, e os resultados obtidos utilizando os dados normalizados e tratados nessa subseção.

3.3. Treinamento

Está subseção descreve o procedimento de treinamento da RNA para a determinação dos parâmetros de treinamento da rede e do número de neurônios localizados na camada escondida. Os 103 pontos aferidos e tratados foram separados em três grupos [6].

O primeiro grupo, com 76 pontos, foi utilizado para o procedimento de treinamento. O segundo grupo, com 14 pontos, foi utilizado no processo de validação cruzada. O terceiro grupo, com 13 pontos, foi utilizado para a validação da estimação da RNA [6].

Realizou-se um treinamento supervisionado utilizando o algoritmo de retropropagação do erro com validação cruzada e sem validação cruzada [6].

O treinamento sem a validação cruzada foi realizado para as configurações descritas na Tabela 2 para 10, 20, 30 e 40 neurônios na camada escondida e um número máximo de 200000 épocas [6].

Tabela 2 Configuração de treinamento sem validação cruzada.

Taxa de Aprendizagem	Momento
0.01	0.7
0.1	0.7
0.01	0.9

Os resultados obtidos no treinamento sem validação cruzada para a recepção *one-seg* são apresentados na Tabela 3. Nessa tabela encontram-se os valores de erro quadrático médio (EQM) de treinamento e de erro quadrático médio de validação da estimação da rede neural com os parâmetros de treinamento da rede determinados no treinamento.

Tabela 3 Resultados do treinamento sem validação cruzada para recepção *one-seg*.

Número de Neurônios na Camada Oculta	Taxa de Aprendizagem	Momento	EQM do Treinamento	EQM na Validação da Estimação
10	0.01	0.7	0.001315127013584	4.201562287662710
10	0.1	0.7	0.000254957004965	2.551261924939340
10	0.01	0.9	0.000606292284925	0.830265294948846
20	0.01	0.7	0.002955272222229	8.406586117818940
20	0.1	0.7	0.000331838792433	1.252661383392180
20	0.01	0.9	0.000674540280874	1.272698457676000
30	0.01	0.7	0.001302698066466	5.415829911826560
30	0.1	0.7	0.000228756564493	1.848060660236730
30	0.01	0.9	0.000742875851410	1.953812760104900
40	0.01	0.7	0.001544403311226	5.156553137684260
40	0.1	0.7	0.000302777471649	3.124341523423750
40	0.01	0.9	0.000890503530734	2.772602508024510

Analisando a Tabela 3, conclui-se que a rede neural com 10 (dez) neurônios na camada oculta, com taxa de aprendizagem igual a 0.01 e momento igual a 0.9 no processo de validação da estimação, possui o menor erro quadrático médio. Portanto, torna-se a melhor configuração para um treinamento sem validação cruzada.

O treinamento com validação cruzada para a recepção *one-seg* foi realizado para 10, 20 e 30 neurônios na camada oculta, para diversas configurações de treinamento, utilizando de 200000 épocas. A Tabela 4 apresenta os erros quadráticos médios dos treinamentos realizados com validação cruzada para as várias configurações de treinamento, também apresentada na Tabela 4 [6].

Tabela 4 Resultados do treinamento com validação cruzada para recepção *one-seg*.

Número de Neurônios na Camada Oculta	Taxa de Aprendizagem	Momento	EQM do Treinamento	EQM na Validação da Estimação
10	0.1	0.6	0.00002883701803	0.337865130912671
10	0.1	0.7	0.000008116288683	0.115978817296214
10	0.1	0.9	0.000090343804094	3.87125035091333
10	0.08	0.9	0.000053342236334	1.50473772075667
20	0.1	0.7	0.000051151270765	0.331301401617008
20	0.1	0.9	0.000101643774873	0.416887536421968
30	0.1	0.7	0.000050012535419	0.211622804952027
30	0.1	0.8	0.000048116628634	0.281682773569327

Através da análise da Tabela 4, determinou-se que a melhor configuração de rede neural é a que contém 10 neurônios na camada oculta e seu treinamento realizado com uma taxa de aprendizagem igual a 0.1 e momento igual a 0.7. Essa determinação é baseada no menor erro quadrático médio do treinamento e na validação da estimação da rede neural.

A escolha do erro quadrático médio como critério de definição a arquitetura da rede neural, baseia-se no fato de que a RNA estimará um valor aproximado para intensidade de sinal em um determinado ponto. Portanto, quanto menor o erro oferecido pela RNA maior será a precisão e aproximação de sua estimação. Após os treinamentos com e sem validação cruzada, a arquitetura da rede neural utilizada neste trabalho para a recepção *one-seg* foi determinada, Figura 10. Assim, a rede neural escolhida possui 10 neurônios na camada e foi treinada com validação cruzada, taxa de aprendizagem igual a 0.1 e momento igual 0.7. Com a arquitetura da rede neural definida, realizou-se um teste de estimação, na tentativa de observar o poder de extrapolação da RNA para a entrada “distância”. A intensidade de sinal de um ponto localizado a 1.534 km da antena, fora do intervalo de distância utilizado no treinamento e validação, possui o ambiente caracterizado conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Tabela 5 Características do ambiente para o ponto localizado a 1.534 km

	Valores Normalizados
Visada Direta	-0.9 (não possui visada direta entre as antenas)
Concentração de Prédios	-0.9 (não possui concentração de prédios)
Concentração de Árvores	-0.9 (não possui concentração de prédios)
Distância	-0.80796 (utilizando Equação (1))
Condição de Recebimento	-0.761397

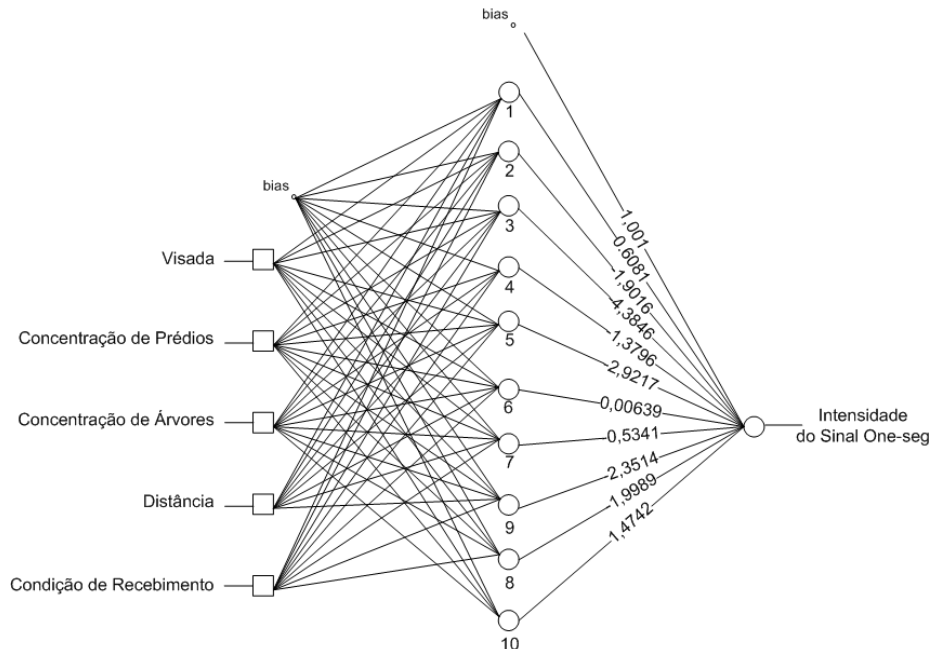


Figura 10 Arquitetura da rede neural obtida após o treinamento para o modo de recepção *one-seg*.

Para o modo de recepção *one-seg*, o valor da intensidade de sinal medida no local foi igual a -84.944466 dBm. Utilizando dos valores de intensidade de sinal e distância entre as antenas transmissora e receptora, calculou-se a condição de recebimento do ponto localizado a 1.534km sendo igual a -0.761397, equação (5). O valor estimado pela rede neural, considerando os valores de entrada listados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, foi de -85.5827448 dBm, frente ao valor real medido de -84.944466, resultando em um erro quadrático médio igual a 0.4073998 e divergência de aproximadamente 0.7514%.

4. Previsão da Cobertura do Sinal de Televisão Digital

A proposta deste artigo é de desenvolver uma ferramenta baseada em RNA capaz de estimar com precisão o valor da intensidade de sinal, em dBm, em um determinado ponto da cidade de Goiânia. O modelo da RNA é baseado em algumas características do ambiente onde o ponto desejado se situa. Utilizando essa ferramenta baseada em RNA, alguns mapas de intensidade de sinal para a cidade de Goiânia, a partir de alguns cenários descritos a seguir, foram estimados.

4.1 Cenários

Concebeu-se três cenários distintos para a estimação da intensidade de sinal através da MLP treinada na seção anterior. Para cada cenário, foram gerados três mapas de intensidade com diferentes valores de condição de recebimento: um mapa para a melhor condição de recebimento, um mapa para condição mediana de recebimento e um mapa para a pior condição de recebimento [6]. Para que a estimativa feita pela rede neural em todos os cenários siga um padrão de localização, ou seja, pontos de referência e área, traçou-se 360 radiais com origem na antenna transmissora. Em cada radial, determinou-se pontos, que tiveram sua intensidade de sinal estimadas, com um passo de 90 metros a partir da distância de 90 metros da antenna transmissora até a distância máxima de 30 quilômetros da antenna transmissora [6].

Foram adicionados, em todos os mapas utilizados e produzidos por este trabalho, quatro marcadores para auxiliar na identificação e localização, denominados de marcadores de localidade. O triângulo preto central é a antenna transmissora da rede televisiva, localizada no Morro do Mendanha. Os demais três triângulos pretos representam de cima para baixo, respectivamente, o prédio da Reitoria da Universidade Federal de Goiás (UFG), o Bloco A da Escola de Engenharia Elétrica e de Computação (EEEC) da UFG e o Morro do Serrinha. A linha preta indica a posição do azimute zero, consequentemente, o norte geográfico. A Figura 11 apresenta o relevo da região metropolitana de Goiânia com os demarcadores estipulados [6].

O primeiro cenário, denominado cenário A, caracteriza-se pela presença ou ausência de visada direta, sendo o relevo a única obstrução da visada entre as antenas transmissora e receptora. Para tanto, através da ferramenta SIGANATEL (Sistema de Informações Geográficas da Agência Nacional de Telecomunicações) criou-se o mapa de relevo centrado na antenna transmissora com raio de 30 km, englobando a região metropolitana de Goiânia e arredores. Tal ferramenta fornece o valor da altitude do relevo para cada passo de 90 metros, a Figura 11 apresenta o mapa de relevo obtido a partir dos dados fornecidos pela SIGANATEL [6]. As entradas da rede neural, no cenário A, são caracterizadas pela presença ou não de visada direta, dependendo da característica do relevo. Pela ausência de concentração de prédios, pela ausência de concentração de árvores e pela condição de recebimento. A RNA foi usada para estimar a intensidade de sinal para essas entradas e para cada passo das 360 radiais [6].

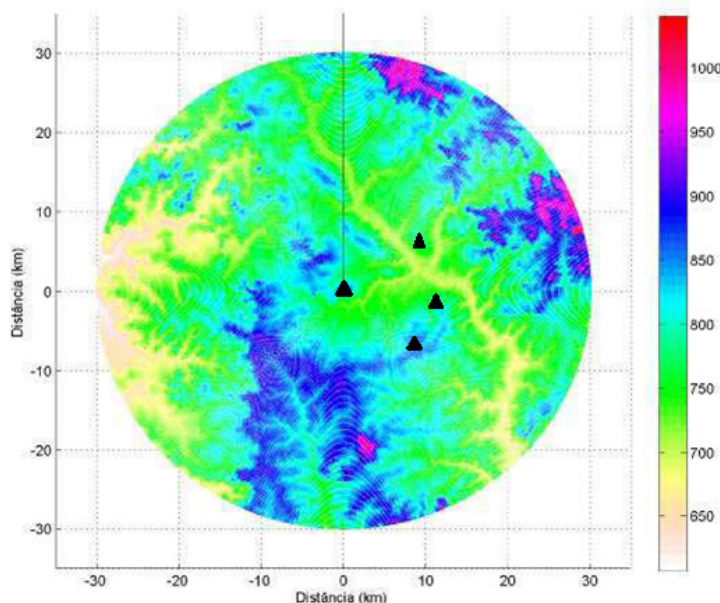


Figura 11 Mapa de relevo, centrado na antenna transmissora da rede televisiva, com os valores de altitude em metros.

O segundo cenário, denominado B, caracteriza-se pela ausência de visada direta, pela presença de concentração de árvores, pela ausência de concentração de prédios, pela variação da distância de 90 m a 30 km a partir da antena transmissora e pela condição de recebimento [6].

O terceiro cenário, denominado C, é composto de ausência de visada direta, pela concentração de prédios, pela ausência de concentração de árvores, pela variação da distância de 90 m a 30 km a partir da antena transmissora e pela condição de recebimento [6]. A Tabela 6 fornece as características de cada cenário utilizado para a estimação da rede neural.

Tabela 6 Configurações dos cenários propostos para a estimação pela rede neural

	Cenário A	Cenário B	Cenário C
Visada Direta	Depende do relevo	Ausência	Ausência
Concentração de Prédios	Ausência	Ausência	Presença
Concentração de Árvores	Ausência	Presença	Ausência
Distância	De 90 m até 30 km	De 90 m até 30 km	De 90 m até 30 km
Condição de recebimento	Melhor, Neutra e Pior	Melhor, Neutra e Pior	Melhor, Neutra e Pior

Para cada cenário proposto, foram estimados três mapas de intensidade de sinal, cada um dos mapas será relativo a um valor de condição de recebimento. Os cenários propostos tem o objetivo de fornecer valores para as entradas da RNA, baseando-se nas características observadas em campo no momento da aferição da intensidade de sinal. A aplicação da RNA nos cenários propostos indicará como a intensidade do sinal estimada se comporta frente às obstruções comumente encontradas em regiões urbanas (como concentração de edificações, parques e reservas ambientais).

4.2. Cobertura Estimada

A análise da cobertura estimada para o modo de recepção *one-seg* será realizada para cada cenário descrito na subseção anterior para três valores de entrada “condição de recebimento”, que são: pior condição de recebimento, condição de recebimento neutra e melhor condição de recebimento. Juntamente com os mapas da intensidade de sinal estimado, foram demarcados os valores de intensidade de sinal medidos em campo (valores reais) cujos ambientes de medições sejam condizentes com as características dos cenários utilizados para a estimação.

Para o cenário A, cujas características de entrada estão descritas na Tabela 6, foram gerados três mapas de estimação da intensidade de sinal. A Figura 12 apresenta o mapa de estimação da intensidade de sinal obtido pela rede neural para a pior condição de recebimento juntamente com os pontos medidos com visada direta e sem visada direta, porém, sem a presença de concentração de árvores e ausência de concentração de prédios.

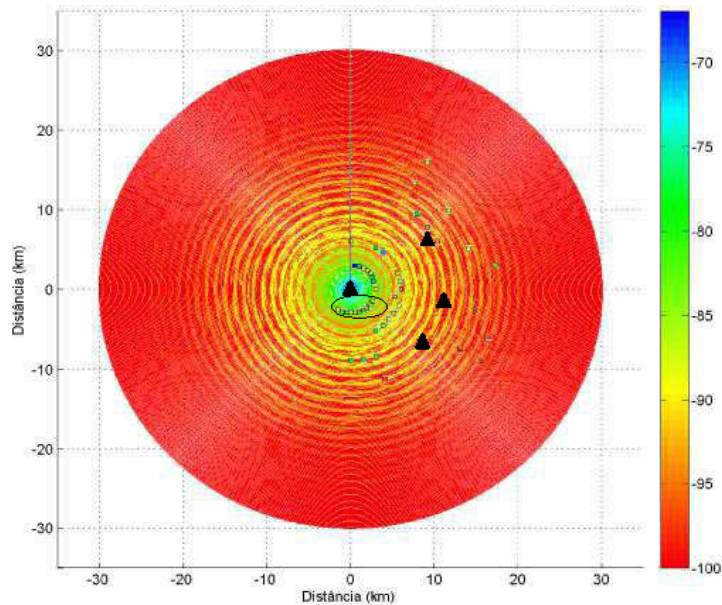


Figura 12 Mapa de estimação da intensidade de sinal em dBm, recepção *one-seg*, para o cenário A com a pior condição de recebimento.

Analisando o mapa da Figura 12, observa-se que a estimação da rede neural para este cenário apresenta melhor similaridade entre medições reais e estimadas pela RNA para algumas regiões. As estimações realizadas na região situadas à direita dos marcadores de localidade estão em discrepância com os valores medidos. Assim, essa região não foi considerada como uma estimação válida. O contrário ocorre com a região localizada abaixo do marcador de localidade antena, onde nessa região a intensidade estimada do sinal para este cenário aproxima-se da intensidade de sinal medida em campo, portanto a região próxima a esse arco é válida. De forma geral, para este cenário o erro percentual de aproximação da intensidade de sinal estimada igual a 9.58486 %. Enquanto que, para a área demarcada pela elipse o erro percentual de aproximação da intensidade de sinal estimada é igual a 1.7933 %.

A Figura 13 apresenta o mapa de estimação da intensidade de sinal obtido pela rede neural para o cenário A com a melhor condição de recebimento. Observa-se que não há uma região bem definida em que a estimação da intensidade de sinal obtida pela RNA se aproxime dos valores de intensidade de sinal dos pontos medidos. De forma geral, o mapa apresenta erro percentual de aproximação da intensidade de sinal igual a 10.81068 %. O cenário A com a melhor condição de recebimento não foi considerado válido para a estimação da intensidade de sinal na grande Goiânia através da RNA, pois não apresentou região definida com erro percentual baixo.

Concluindo a análise do cenário A, a Figura 14, apresenta o mapa de estimação da intensidade de sinal para uma condição de recebimento neutra. A estimação para a cenário proposto apresentou, de forma geral, erro percentual de aproximação da intensidade de sinal igual a 5.5172 %. Analisando o mapa estimado juntamente com os valores de intensidade de sinal dos pontos medidos, constata-se que não há regiões bem definidas em que a estimação se aproxime da intensidade dos pontos medidos. Apesar do erro percentual de aproximação, o cenário A com uma condição de recebimento neutra não foi considerado válido para estimação, pois apresentou região bem delimitada em que a estimação e o valor real sejam próximos, apenas pontos esparsos.

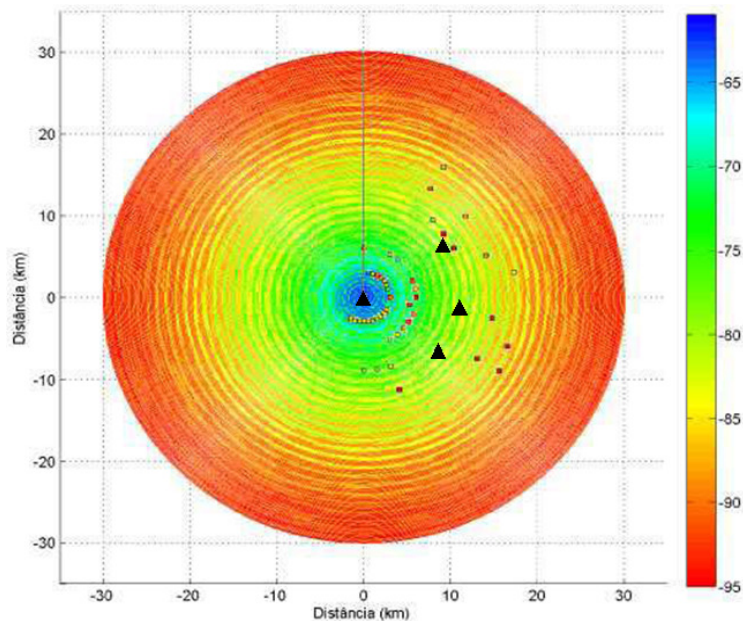


Figura 13 Mapa de estimação de intensidade de sinal em dBm, recepção *one-seg*, para o cenário A com a melhor condição de recebimento.

Comparando as medidas realizadas e os valores estimados pela RNA, a estimativa realizada pela RNA para o cenário A com a pior condição de recebimento é a mais apropriada para a realidade da grande Goiânia, ou seja, é a estimativa que apresentou região delimitada em que o erro percentual de aproximação da intensidade estimada e o valor real foi pequeno (1.7933%).

Em seguida, será realizada a análise para o Cenário B, cujas características de entrada estão descritas na Tabela 6, para as três condições de recebimento. A Figura 15 apresenta o mapa da estimação da intensidade de sinal para o cenário B com a pior condição de recebimento, juntamente com os pontos medidos onde há concentração de árvores e ausência de visada direta.

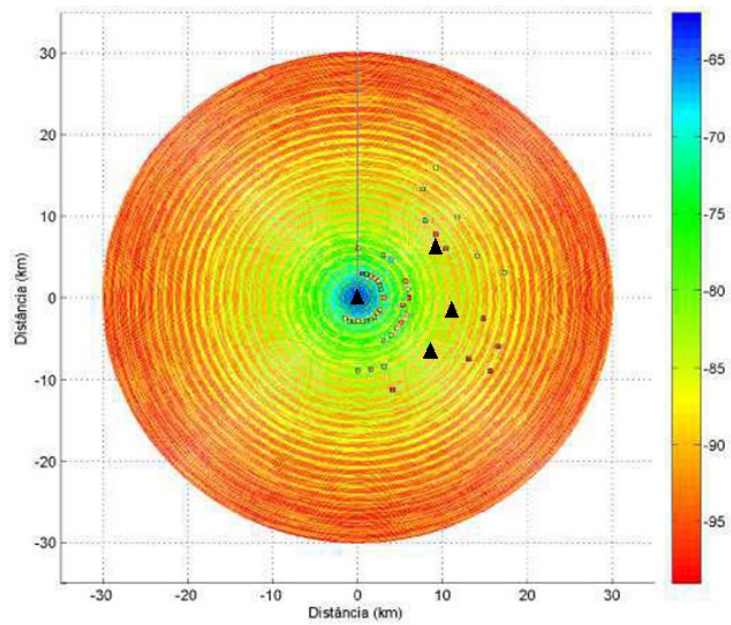


Figura 14 Mapa de estimacão de intensidade de sinal em dBm, recepo *one-seg*, para o cenário A com condio de recebimento neutra.

O cenário B para a pior condio de recebimento apresentou, de forma geral, erro percentual de aproximao da intensidade de sinal estimada igual a 5.01232%. Analisando a Figura 15, observa-se que a região localizada  direita dos marcadores de localidade (triângulos) possui uma estimacão de intensidade de sinal próxima dos valores aferidos em campos. Esta região apresentou erro percentual de aproximao, da estimacão de intensidade de sinal e valores reais, igual a 1.747831%. Portanto, essa região pode ser considerada válida para a estimacão da intensidade de sinal deste cenário e condio de recebimento propostos.

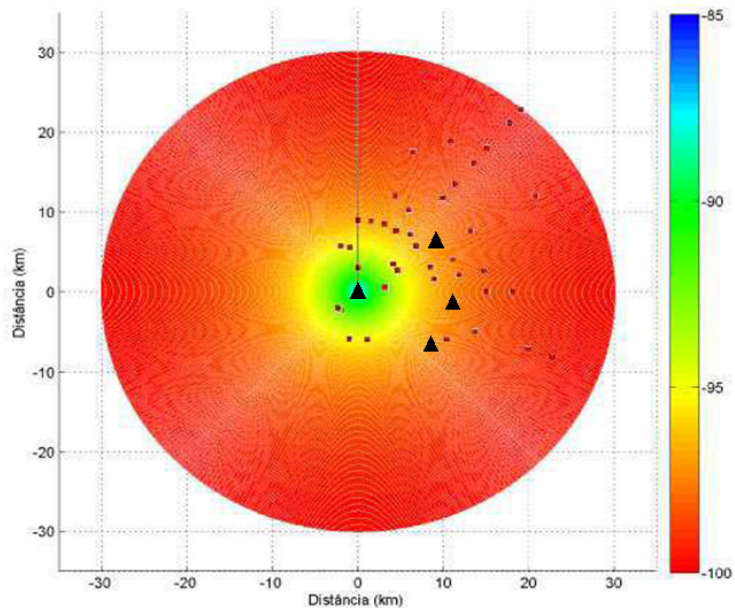


Figura 15 Mapa de estimacão de intensidade de sinal em dBm, recepo *one-seg*, para cenário B com a pior condio de recebimento.

A Figura 16 apresenta o mapa de estimacão da intensidade de sinal para o cenário B com a melhor condio de recebimento. Analisando o mapa estimado e os pontos medidos que se encaixam nas características do cenário B, observa-se que somente a região mais afastada da antena possui uma estimacão de intensidade de sinal coerente com as intensidades de sinal medidas.

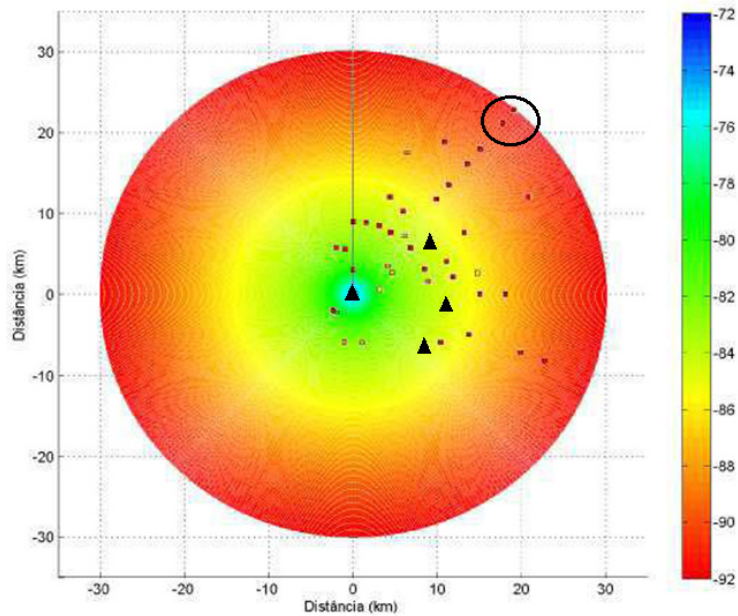


Figura 16 Mapa da estimaco de intensidade de sinal em dBm, recepo *one-seg*, para o cenário B com a melhor condio de recebimento.

Nesta regio o erro percentual de aproximaco da intensidade estimada é igual a 3.6208%, enquanto que, para o cenário como todo o erro percentual de aproximaco é igual a 8.027382. Logo, a estimativa para o cenário B para a melhor condio de recebimento  valida apenas para a regio mais afastada.

O mapa da estimaco de intensidade de sinal para o cenário B com uma condio de recebimento neutra e os valores das intensidades de sinal dos pontos medidos em que o ambiente se encaixa nas caractersticas do cenário B  apresentando na Figura 17. Neste cenário e condio de recebimento, calculou-se o erro percentual de aproximaco da intensidade de sinal estimada igual a 3.5079%. Comparando as intensidade de sinal estimada e as intensidades de sinal dos pontos medidos, observa-se que há uma regio bem definida em que há aproximaco entre as intensidades de sinal aferidas e estimadas pela RNA. Essa regio localiza-se radialmente à direita dos marcadores de localidade, apresentando erro percentual de aproximaco da intensidade de sinal igual a 3.4907%. Outra regio válida encontra-se no arco central do mapa de estimaco, em que a estimaco aproxima-se com a intensidade de sinal dos pontos medidos, com erro percentual de aproximaco igual a 0.3466%.

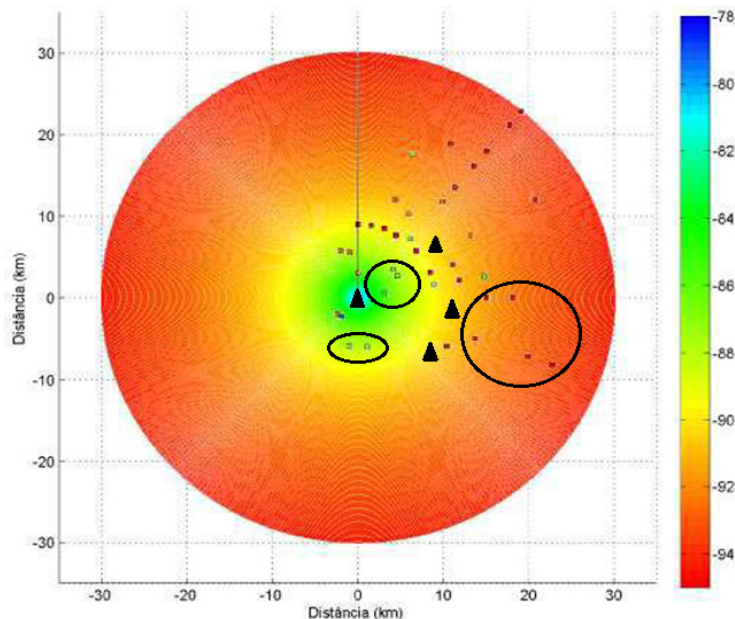


Figura 17 Mapa da estimaco de intensidade de sinal em dBm, recepo *one-seg*, para o cenário B com condio de recebimento neutra.

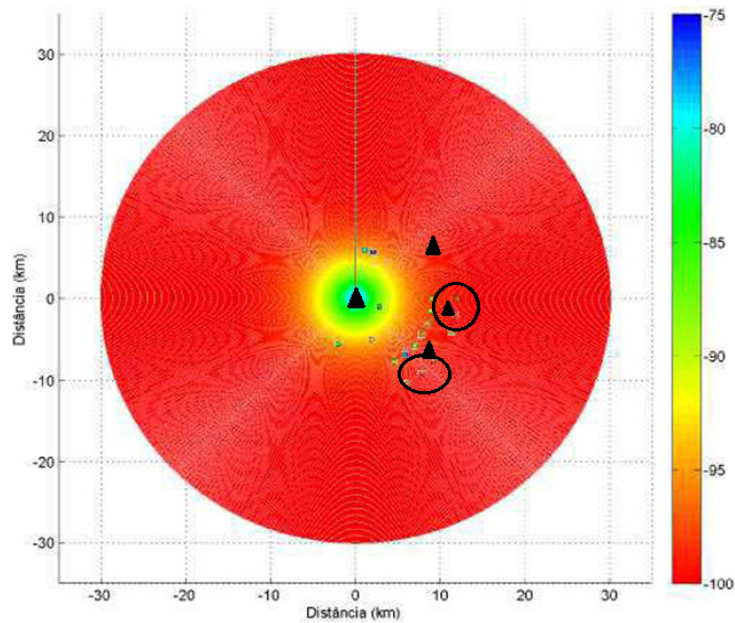


Figura 18 Mapa da estimativa de intensidade de sinal em dBm, recepção *one-seg*, para o cenário C com a pior condição de recebimento.

A estimativa da intensidade de sinal para o cenário B, considerando as três condições de recebimento, se mostrou mais próxima da realidade encontrada na cidade de Goiânia quando comparada com as medições realizadas, consequência da grande presença de concentração de árvores na cidade de Goiânia e redondezas.

Por fim, são apresentados os resultados encontrados para a estimativa da intensidade de sinal para o cenário C, cujas características de entrada estão descritas na Tabela 6, para os três valores de condição de recebimento. A Figura 18 apresenta o mapa da estimativa da intensidade de sinal para o cenário C com a pior condição de recebimento e os pontos medidos com concentração de prédios e sem visada. Este cenário, considerando a pior condição de recebimento, apresentou erro percentual de aproximação da intensidade de sinal estimada igual a 7.43367%. Ao analisá-lo, observa-se que há uma região em que há concordância com a intensidade de sinal estimada e a medida. Essa região localiza-se nas redondezas dos marcadores de localidade EEEC e Serrinha, apresentando erro percentual de aproximação da intensidade estimada igual a 3.4344%. Logo, a estimativa feita pela rede neural considerando o Cenário C com a pior condição de recebimento é válida em uma região delimitada e restrita.

O mapa da estimativa da intensidade de sinal estimada para o cenário C com a melhor condição de recebimento e as intensidades de sinal reais referentes aos pontos medidos em concordância com as características do cenário C é apresentado na Figura 19. O erro percentual de aproximação da intensidade de sinal estimada, para este cenário e condição de recebimento, é igual a 13.7543%. Nota-se que há uma região delimitada próxima e acima da antena transmissora em que a intensidade de sinal estimada pela rede aproxima-se com a intensidade de sinal obtida através das medições, apresentando erro percentual de aproximação da intensidade de sinal estimada igual a 6.6433%. Logo, há uma região delimitada em que a estimativa da intensidade de sinal feita pela rede está em concordância com as intensidades nessa região.

Finalizando a análise do cenário C, a Figura 20 apresenta o mapa da estimativa da intensidade de sinal para este cenário com uma condição de recebimento neutra, juntamente com as intensidades de sinal obtidas nas medições para os ambientes em concordância com o cenário C. Tal cenário apresentou, de forma geral, um erro percentual de aproximação da intensidade de sinal estimada igual a 6.18989%. Pela análise do mapa de intensidade, observa-se que não há uma região delimitada em que a intensidade de sinal estimada aproxima-se com a intensidade de sinal medida.

Logo, o cenário C para uma condição de recebimento neutra não possui uma região delimitada em que a intensidade de sinal estimada coincida com a intensidade de sinal medida. Observa-se a presença de uma região a direita dos marcadores em que as intensidades do sinal tendem a se aproximar, mas sem resultados expressivos.

No cenário C, há regiões bem definidas em que a estimativa de intensidade de sinal é válida e coerente com a realidade da cidade de Goiânia. Porém, a estimativa para uma condição de recebimento neutra não é totalmente válida, pois, os valores de intensidade de sinal não se aproximam.

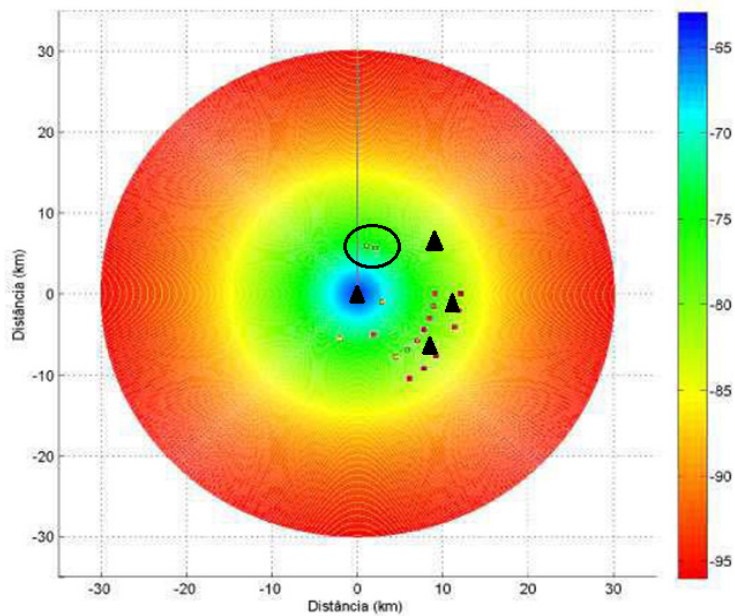


Figura 19 Mapa da estimativa da intensidade de sinal em dBm, recepção *one-seg*, para o cenário C com a melhor condição de recebimento.

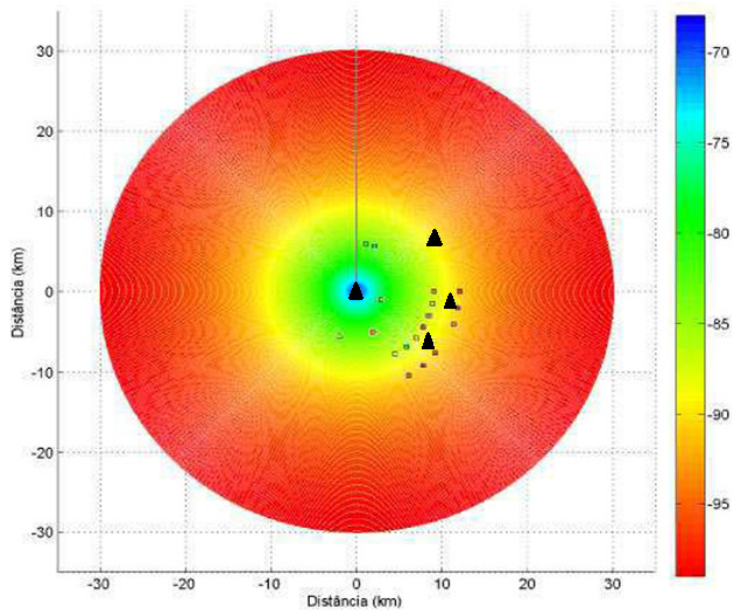


Figura 20 Mapa da estimativa da intensidade de sinal em dBm, recepção *one-seg*, para o cenário C com condição de recebimento neutra.

Interrelacionando os três cenários propostos, espera-se que o cenário A, cuja visada é obstruída somente pela característica do relevo e a ausência de concentração de prédios e de árvores, tenha a melhor intensidade de sinal estimada. Visto que, as obstruções que influenciam negativamente na intensidade do sinal estão reduzidas a interferência ou não do relevo. No outro extremo, espera-se que o Cenário C possua a pior intensidade de sinal estimada, pois a intensidade de sinal é afetada pela obstrução não somente do relevo, mas também pela concentração de prédios. Verificando as intensidades de sinal dos mapas estimados pela RNA e o esperado, disposto acima, devido à característica do ambiente, nota-se que, para uma mesma condição de recebimento, o cenário A possui a melhor intensidade de sinal estimada, ou seja, os valores de intensidade de sinal são superiores dos demais cenários. Enquanto que, o cenário C possui a pior intensidade de sinal estimada.

Analisando um único cenário, nota-se que o valor intensidade de sinal estimada decai a medida com que a condição de recebimento varia de melhor para a pior. Tal conclusão é válida, visto que a condição de recebimento representa as interferências que afetam a intensidade de sinal. Quanto pior for à condição de recebimento, maior será a interferência sofrida

pelo sinal transmitido. Portanto, considerando um mesmo cenário, o mapa gerado com a melhor condição de recebimento terá os maiores valores de intensidade de sinal estimada. Enquanto que, o mapa gerado com a pior condição de recebimento terá os menores valores de intensidade de sinal estimada.

5. Conclusão

Este trabalho apresentou os resultados da estimação da intensidade de sinal para o modo de recepção *one-seg* de televisão digital através da rede neural artificial com a arquitetura do perceptron de múltiplas camadas.

Os dados utilizados para o treinamento da rede neural artificial foram adquiridos através de uma campanha de medidas realizadas nos meses de maio e junho de 2009. Através do treinamento, a RNA teve sua arquitetura definida baseada no menor erro quadrático médio de treinamento, próximo de 9.10^{-6} , e no menor erro quadrático médio de validação da estimação, próximo de 0.1159.

A estimação de intensidade de sinal feita para os cenários proposto, para o modo de recepção *one-seg*, resultou em delimitações de regiões em cada cenário que estão próximas das intensidades de sinal obtidas pela campanha de medidas nessas regiões.

Na estimação da intensidade de sinal para a recepção *one-seg*, o cenário A (visada influenciada pelo relevo, ausência de concentração de prédios e árvores) foi validado apenas para a pior condição de recebimento. O cenário B (ausência de visada, ausência de concentração de prédios e presença de concentração de árvores), para as três condições de recebimentos, se mostrou mais próximo da realidade encontrada na cidade de Goiânia ao ser comparado com as medições realizadas, apresentando os menores erros percentuais de aproximação da intensidade de sinal estimada pela RNA, consequência da grande concentração de árvores na cidade.

O cenário C (ausência de visada, presença de concentração de prédios e ausência de concentração de árvores) apresentou-se inválido para as estimativas realizadas para a condição neutra de recebimento. Para as outras condições de recebimento obtiveram-se regiões delimitadas em que as estimativas estão próximas dos valores aferidos.

Os mapas de estimação de intensidade de sinal gerados para os três cenários, para uma mesma condição de recebimento, revelam que a intensidade de sinal é melhor para o cenário A (cenário em que a visada é obstruída somente pelo relevo) e que a pior intensidade de sinal encontra-se no cenário C (cenário em que há concentrações de prédios). Assim, nas regiões em que há concentração de prédios o sinal será mais degradado do que regiões em que há concentração de árvores e das regiões em que não há concentração de prédios ou árvores.

Referências Bibliográficas

- [1] TERRESTRE, F. do Sistema Brasileiro de T.D. *Fórum do Sistema Brasileiro de TV Digital Terrestre*. 2008. Disponível em: [HTTP://www.forumsbtvd.org.br](http://www.forumsbtvd.org.br). Acesso em: 5 de julho de 2009.
- [2] JURÍDICOS, P. da República Casa Civil Subchefia para A. *Decreto 5.820 – Dispõe sobre a implantação do SBTVD-T, estabelece diretrizes para a transição do sistema de transmissão analógica para o sistema de transmissão digital do serviço de radiodifusão de sons e imagens e do serviço de retransmissão de televisão, e dá outras providências*. Brasília, 2006.
- [3] GARMIN. *GARMIN – eTrex Vista HCx*. 2009. Disponível em: [HTTP://www.garmin.pt/](http://www.garmin.pt/)>. Acesso em: 20 junho 2009.
- [4] TECHNOLOGIES, A. *User's Guide Agilent FieldFox RF Analyzer N9912A*. USA, janeiro 2009.
- [5] UNION, I. T. *Report ITU-R BT.2035-1 – Guidelines and techniques for the evaluation of digital terrestrial television broadcasting systems*. USA, 2004.
- [6] SILVA, D.D. *A Utilização de Redes Neurais Artificiais na Estimação da Cobertura do Sinal de Televisão Digital*. Dissertação de Mestrado, EEEC – Universidade Federal de Goiás, Brasil, agosto 2009.
- [7] HAYKIN, S. *Redes Neurais, Princípios e prática*. Segunda edição. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- [8] TÉCNICAS, A. B. N. *ABNT NBR 15604 – Televisão Digital Terrestre – Receptores*. Rio de Janeiro, 2008.