4 Equipamento Experimental e Medições

4.1 Transceptor em 60 GHz

A base do equipamento de medições é constituída de dois transceptores, componentes de um sistema ponto, a ponto, utilizado para conexão de LAN's (*Local Area Networks*), cujas características são apresentadas abaixo:

Faixa de frequências de operação: 57 - 64 GHz;
Potência entregue aos terminais da antena: 10 mW (+10dBm);
Tipo de antena original: parabólica 13 in de diâmetro;
Ganho da antena: 41 dBi
Largura de feixe: 0,9 graus, entre os pontos de 3 dB, em relação à direção de máxima irradiação;
Distância máxima de operação: 1,142 m

Estes transceptores foram adquiridos pelo Exército Brasileiro (EB), em 2010, em convênio com a Pontifícia Universidade Católica (PUC), para a realização de estudos na faixa de ondas milimétricas. A PUC iniciou o processo de substituição das antenas parabólicas originais por antenas de abertura, de modo a adaptar o sistema ao ambiente móvel. □

Figura 4.1: Transceptor de 60 GHz.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312997/CA

Devido à desistência do aluno que conduzia o trabalho, os equipamentos ficaram armazenados até o início do ano de 2014, no Centro Tecnológico do Exército (CeTEx). Neste ano, o autor iniciou gestões junto ao EB para que o rádio fosse cedido, por empréstimo, à PUC.

4.1.1 Caracterização dos transceptores

Após a chegada dos transceptores, o processo de caracterização dos rádios foi iniciado. De início, os rádios foram alimentados e conectados a um *notebook*, com o programa de monitoramento do rádio instalado. Foi verificado que o consumo de corrente, da unidade a ser utilizada como receptor, estava abaixo do valor especificado no manual. A Figura 4.2 mostra o teste realizado. Após a autorização do EB, o equipamento foi aberto para identificação da avaria e caraterização dos componentes.

Figura 4.2: Verificação do funcionamento dos transceptores.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312997/CA

Após a abertura do equipamento, medições de tensão e corrente foram efetuadas, em cada componente da unidade avariada, para identificar os elementos que não estavam consumindo corrente. Foi verificado que o multiplicador de frequências da cadeia de recepção, mostrado na Figura 4.2, consumia um valor de corrente bem abaixo do especificado. Foi iniciado, portanto, o processo para a aquisição do referido item. O novo componente chegou à PUC em 10 de novembro de 2014.

Em paralelo, foi iniciada a identificação dos componentes, conforme mostra a Figura 4.3. Não foi possível efetuar a caracterização de cada componente individualmente, devido aos seguintes fatores:

- O equipamento disponível é resultado de uma solução customizada que a empresa integradora solicita ao fabricante dos componentes. As características dos componentes não constam, portanto, do catálogo do fabricante, onde são disponibilizadas informações sobre itens padronizados;

- A desmontagem completa do rádio só poderia ser feita com a autorização do EB. O tempo necessário para se obter a referida autorização somado ao tempo necessário para se caracterizar cada componente, separadamente, comprometeria o cronograma do trabalho;

- Não havia disponibilidade de equipamentos de medida na faixa de frequência de operação dos componentes do rádio;

Optou-se, portanto, aproveitando o processo de aquisição, consultar o fabricante sobre as funções dos componentes das cadeias de transmissão e recepção dos rádios. As funções dos referidos componentes são mostradas na Figura 4.3

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312997/CA

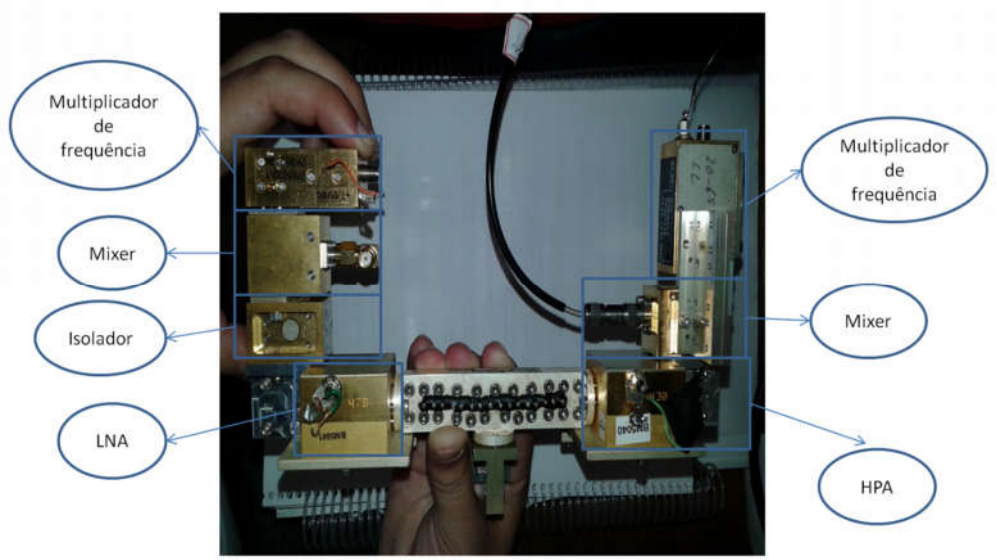

Figura 4.3: Componentes de RF

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312997/CA

Com as informações do fabricante e testes efetuados no rádio, foi possível identificar os principais componentes e, após a instalação do novo multiplicador de frequências, o modo de operação dos transceptores foi caracterizado:

- Na operação de transmissão, o sinal de banda base, proveniente da placa de processamento, alimenta um *mixer* que também recebe alimentação de um multiplicador de frequências o qual, por sua vez, é alimentado por um oscilador local, conforme mostrado na 4.3. O sinal de saída do *mixer* é então, aplicado a um amplificador de alta potência e transmitido.

- Na recepção, o sinal passa por um amplificador de baixo ruído e é aplicado a um *mixer*, que recebe, também, um sinal proveniente de um multiplicador de frequências o qual, por sua vez, recebe alimentação de um oscilador. O sinal de saída do *mixer* é, também, um sinal em banda base o qual será aplicado `a uma placa de processamento.

4.2 Antena Transmissora

As antenas originais foram retiradas e uma antena do tipo corneta foi instalada no transceptor, destinado a funcionar como unidade transmissora. Esta antena possui polarização vertical e abertura de 30 graus no sentido longitudinal

do rádio e 60 graus no sentido transversal. A antena corneta foi escolhida para fornecer algum grau de diretividade ao *setup*, necessário aos sistemas que operam em ondas milimétricas, devido ao efeitos de atenuação no espaço livre e gases atmosféricos. Ao mesmo tempo, a antena escolhida permite espalhar a energia no ambiente, de modo a permitir a formação de multipercursos. Desta forma, será possível estudar as características dispersivas do canal, no domínio do tempo. A Figura 4.4 mostra a antena transmissora instalada em um dos transceptores.

Figura 4.4: Antena Transmissora.

A Figura 4.5 mostra o diagrama tridimensional da antena transmissora. Esta antena possui uma largura de feixe de 30 graus, em relação ao ponto de 3 dB e um ganho de 12 dBi.

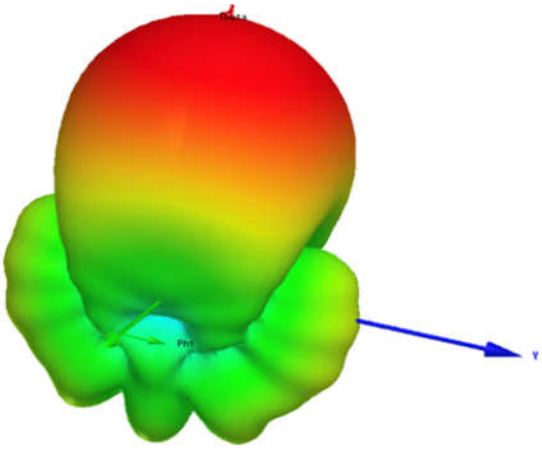

Figura 4.5: Diagrama tridimensional da antena transmissora

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312997/CA

4.3 Antena Receptora

A antena receptora será uma das antenas cornetas corrugadas desenhadas no capítulo 3, as quais tem uma largura de feixe de 112 e 115 graus, com 1 e 3 fendas circulares, respectivamente. Com o uso destas antenas, teremos a possibilidade de captar a maior quantidade do sinal espalhado para, assim, permitir mobilidade nesta faixa de frequência. Os diagramas de radiação das antenas são mostrados na Figura 4.6

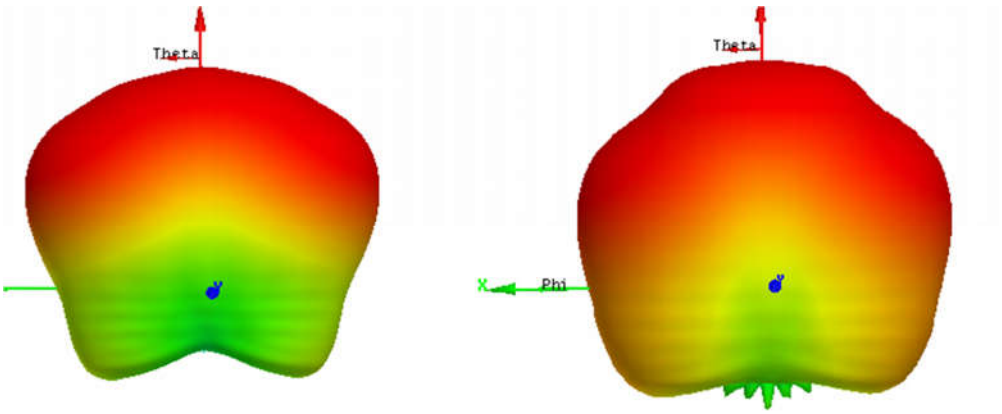

Figura 4.6: Diagrama tridimensional da antena com uma fenda (esquerda) e com 3 fendas (direita)

4.4 Testes das Antenas

Para a parte de medições da antena, desafortunadamente nosso laboratório não tem uma câmara anecóica para poder caracterizá-la, nem equipamentos, como analisador de espectro ou geradores de sinal que trabalhem numa frequência de 60 GHz, então, para poder verificar a largura de feixe da antena, trabalhou-se em banda básica, para isso introduzimos uma PN de 150 MHz no transmissor, com um gerador vetorial de sinais (ANRITSU, modelo MG 3700A) centrada em diferentes frequências, de 100 MHz até 1200 MHz, com incrementos de 100 MHz. O receptor, localizado a uma distância aproximada de 1 metro, distância maior aos 360 mm mínimos requeridos para trabalhar em campo distante, foi girado de 0 a 80 graus, cada 5 graus, tanto para a esquerda como para a direita. Para colher e armazenar os resultados, foi utilizado um analisador de sinais

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312997/CA

(ANRITSU, modelo MP 1800). A montagem dos transceptores é mostrada na seguinte figura 4.7.

Figura 4.7: Montagem dos transceptores.

O sinal recebido no analisador pode ser observado na Figura 4.8, onde claramente pode se observar uma portadora centrada em 100 MHz, que é o sinal enviado como se mostra na Figura 4.9, onde se pode ver o sinal gerado pelo gerador.

Figura 4.8: Analisador de Espectro.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312997/CA

Figura 4.9: Gerador de Sinais.

Para girar a antena nos diferentes ângulos, foi usada uma planilha com linhas retas que indicam diferentes ângulos, variando de 0 até 80 graus para cada lado, esquerda e direita.

Figura 4.10: Plataforma com os diferentes ângulos de medições

Deve ser levado em conta que, na realidade, as antenas não podem ser caracterizadas, devido à falta do equipamento necessário, então foi feita a caracterização do sistema completo e num ambiente não ideal, que foi o laboratório de propagação da UFF. Isto implica que o sinal terá muitas perdas que não podem ser controladas. Este teste foi realizado tanto para a antena de 1 fenda como para a antena de 3 fendas. Os resultados obtidos foram analisados com ajuda do *software* MATLAB, com o qual foram obtidos os níveis de sinal da portadora recebida e comparada cada vez que o receptor mudava o ângulo de azimute. Estes dados foram plotados num só gráfico e a Figura 4.11 mostra um dos resultados para a antena de 1 fenda e a Figura 4.12 mostra um dos resultados para a antena de 3 fendas.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312997/CA

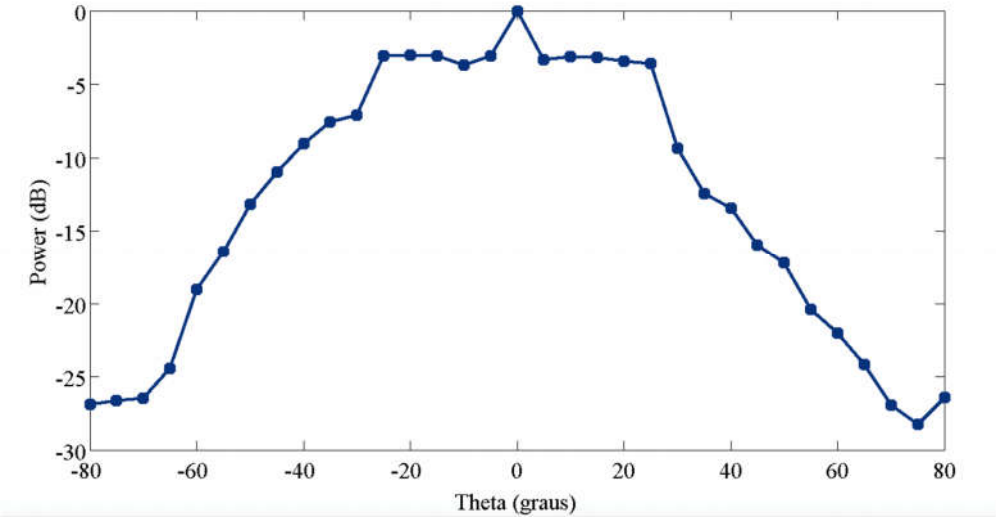

Figura 4.11: Potência recebida vs Ângulo de medição, para antena de uma fenda.

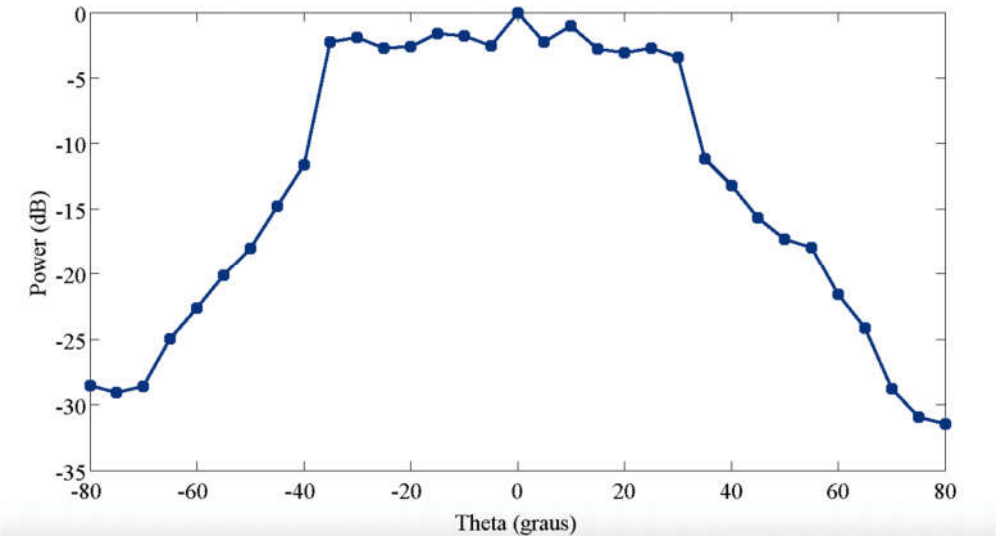

Figura 4.12: Potência recebida vs Ângulo de medição, para antena de três fendas.

Como podemos notar, o sinal decai muito à medida que o ângulo de medição cresce, mas também se percebeu que o receptor recebe o sinal até, aproximadamente, 60-65 graus a cada lado, depois deste ângulo a potência do sinal é menor que o ruído. Este comportamento era esperado, já que as antenas foram projetadas para receberem o sinal até uma ângulo de 56 graus a cada lado. A largura de feixe obtido com as medições é de 50 graus para a antena com 1 fenda e de 65 graus para a antena com 3 fendas.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312997/CA

Os resultados práticos são menores que os resultados simulados, isto é devido principalmente à falta de tratamento de materiais das antenas, lembramos que estas antenas foram feitas no departamento de Mecânica da PUC que não tem equipamentos muito precisos. Como podemos ver na Tabela 3.3, as dimensões da antena de 1 fenda deveriam ser 1 mm para a largura de fenda, 1mm para o espaçamento entre fendas e 0.45 mm de profundidade da fenda, tudo isto para poder obter uma largura de feixe de 112 graus aproximadamente. Mas se tivéssemos dimensões de 1 mm, 1mm e 0.60 mm respectivamente para os parâmetros mencionados anteriormente, a largura de feixe cai para 53 graus aproximadamente.

Observando a tabela 3.21, verificamos que para obter 115 graus de largura de feixe com a antena de 3 fendas, as dimensões deveriam ser de 1.15 mm para a largura das fendas, 0.35 mm para a profundidade das fendas e finalmente 1 mm para o espaçamento entre fendas, mas se tivéssemos dimensões de 1.15 mm , 0.35 mm e 1.45 mm respectivamente para os parâmetros mencionados anteriormente, a largura de feixe da antena de 3 fendas cai para 60 graus aproximadamente.

Com estes exemplos, que não são únicos, observamos que a variação de decimas ou inclusive centésimas de milímetros produz um decaimento grande na largura de feixe das antenas. Então confirmamos que a falta de alta precisão e falta de tratamento dos materiais na construção destas antenas, foram as principais causas para encontrar resultados práticos menores aos resultados simulados.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1312997/CA