

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**CARACTERIZAÇÃO DE ENLACE DE**  
**MICROONDAS**

**CECÍLIA MAGALHÃES FRANCISCO**  
**GLENDA MONTIJO SALVIANO**

**ORIENTADOR: LEONARDO R.A.X. DE MENEZES**

**PROJETO FINAL**  
**ENGENHARIA ELÉTRICA**

**BRASÍLIA / DF: ABRIL /2002**

## **AGRADECIMENTOS**

Foram cinco anos de muitos estudos e trabalhos para que o nosso sonho fosse , finalmente, realizado. Pais, mães, vós e toda família, foi uma pena não podermos compartilhar vários finais de semana juntos. Mas o apoio de vocês foi o que nos deu força para conseguirmos chegar até aqui. À família de Brasília, as várias noites em claro foram muitas, mas o crescimento que vocês nos proporcionaram é inquestionável. À de Goiânia, muito obrigada pela torcida e pelos ótimos momentos que nos fizeram passar.

Tudo começou em Circuitos Elétricos 1, onde começamos a ter um contato mais concreto com a Engenharia Elétrica. Depois, há uma ano e meio, o nosso grande coordenador Leonardo R.A.X de Menezes nos propôs a realização deste projeto. Professor, muito obrigada por estar presente no início e no fim do nosso curso e por tudo que nos ensinou.

Agradecemos também a todo Departamento de Engenharia Elétrica, aos nossos amigos e, principalmente, a Deus que sempre esteve conosco.

## RESUMO

Com a criação do curso de Engenharia de Redes houve uma sobrecarga na rede Departamento de Engenharia Elétrica. Assim, os professores Luiz Fernando Ramos Mollinaro e Leonardo R.A.X de Menezes idealizaram um enlace de rádio entre o ENE e o RNP. O aluno Cleidimar Garcia Pereira colocou em prática esta proposta inicial. Ele fez um enlace com três rádios e quatro antenas: uma no RNP, uma no ENE e duas no HUB. Mas, devido ao fato de a velocidade de transmissão ainda estar baixa, o professor Leonardo R.A.X propôs a caracterização e otimização do enlace

Foram feitas medidas de RF e os subenlaces GAT- HUB e RNP-HUB foram observados no tempo com o auxílio do programa WaveMANAGER/AP. Foi verificado que o subenlace RNP-HUB possuía uma alta perda de pacote e que o nível de potência do GAT – HUB estava abaixo do nível aceita pelo rádio.

Com a análise de todos os dados coletados e de todos os gráficos, fechamos a rede para o acesso externo, mudamos as frequências para outras com VSWR mais baixa e filtramos os protocolos não utilizados para evitar o tráfego redundante causado pelo *overhead*.

Agora, tem-se um enlace transmitindo a 12 Mbps com uma utilização de 100 %, o que comprova o quanto foi importante a caracterização do enlace de microondas.

# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....</b>	<b>5</b>
<b>CAPÍTULO 2 - CONCEITOS TEÓRICOS.....</b>	<b>6</b>
2.1- ONDAS ELETROMAGNÉTICAS.....	6
2.2 – COEFICIENTE DE REFLEXÃO, PERDA DE RETORNO E VSWR.....	8
2.3- ESPECTRO DE FREQUÊNCIA.....	10
2.3.1- <i>O que é o Espectro de frequência?</i> .....	10
2.3.2- <i>Por Que Medir o Espectro?</i> .....	12
2.4- ANALISADOR DE ESPECTRO SUPERHETERODINO.....	12
2.5- TECNOLOGIA ETHERNET.....	15
2.5.1- <i>Formato de um quadro Ethernet</i> .....	16
2.6 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO.....	17
<b>CAPÍTULO 3- CARACTERÍSTICAS DO ENLACE DE MICROONDAS .....</b>	<b>18</b>
3.1- INTRODUÇÃO.....	18
3.2- MONITORAMENTO DO RÁDIO.....	19
<b>CAPÍTULO 4 - CARACTERIZAÇÃO DO ENLACE DE MICROONDAS GAT – RNP .....</b>	<b>22</b>
4.1 - 1ª ETAPA – MEDIDAS DE RF.....	22
4.1.1 <i>Caracterização Dos Elementos</i> .....	22
4.1.2 - <i>Espectro de Frequência do Rádio</i> .....	24
4.1.3 – <i>Coefficiente de Reflexão</i> .....	26
4.2 – 2ª ETAPA: COMPORTAMENTO NO TEMPO.....	27
4.2.1 – <i>GAT – HUB</i> .....	27
4.2.2- <i>RNP- HUB</i> .....	34
4.3 - CONCLUSÕES DAS ANÁLISES.....	37
<b>CAPÍTULO 5 – SOLUÇÕES .....</b>	<b>39</b>
5.1- RESULTADO.....	39
<b>CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO.....</b>	<b>41</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>42</b>
<b>apendice A.....</b>	<b>43</b>
<b>APENDICE B.....</b>	<b>52</b>
<b>APENDICE C.....</b>	<b>61</b>
<b>APENDICE D.....</b>	<b>70</b>

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

O tráfego da RedUnB utiliza uma fibra óptica, com taxa de transmissão de 2 Mbps, e se conecta com a Rede Nacional de Pesquisa. Mas, o tráfego aumentou muito devido ao aumento da demanda de computadores e da criação no curso de Engenharia de Redes de Comunicação, congestionando a rede. Levando em conta estes fatores, os professores Luiz Fernando Ramos Mollinaro e Leonardo R.A.X de Menezes idealizaram um enlace de rádio entre o ENE e a RNP. Assim, o aluno de graduação Cleidimar Garcia Pereira colocou em prática esta proposta inicial dos professores. O enlace estava transmitindo, mas não na eficiência adequada.

O objetivo do projeto foi o de caracterizar e otimizar a conexão já existente entre o Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Brasília e a Rede Nacional de Pesquisa RNP.

O trabalho está dividido em cinco capítulos além desta parte introdutória. No segundo capítulo, são abordados conceitos teóricos que se relacionam direta ou indiretamente com os assuntos mais importantes do enlace analisado. São descritas ondas eletromagnéticas, coeficiente de reflexão, perda de retorno e VSWR. Além disso, é dado o conceito de um espectro de frequência, um analisador de espectro e a tecnologia que serviu de base para a montagem e o funcionamento do enlace ENE-RNP.

No capítulo 3, encontra-se as características iniciais do enlace. O conhecimento delas foi muito importante e serviu de base para uma posterior análise. Assim, com algumas medidas dos cabos, conectores e acoplador descritas no capítulo 4, a próxima etapa a ser realizada, o direcionamento do rádio, foi direcionada. Este foi feito com o uso do programa WaveMANAGER- AP. Assim, o enlace de microondas GAT- RNP foi caracterizado. Para um melhor entendimento, isto foi realizado em duas etapas, sendo a primeira a descrição das medidas de RF e a segunda o comportamento no tempo. Foram feitos, então, vários gráficos que demonstram a análise feita.

A solução para o nosso problema pode ser entendida no capítulo cinco e, no último, está a síntese de nossos resultados com suas devidas conclusões.

## CAPÍTULO 2 - CONCEITOS TEÓRICOS

Neste CAPÍTULO são abordados alguns conceitos importantes que ajudarão na compreensão do projeto, como:

Ondas Magnéticas

Coeficiente de reflexão

Espectro de frequência

Analizador de espectro

Ethernet

Coeficiente de Correlação

### 2.1- ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

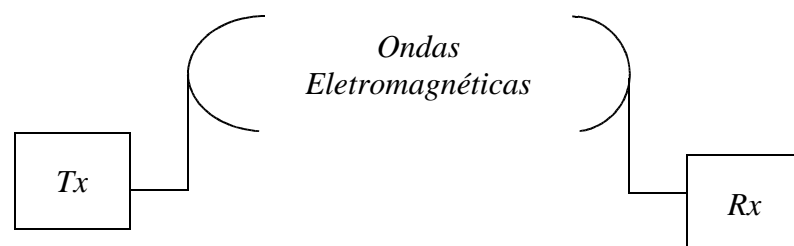


Figura 2.1 – Sistema via rádio

As ondas eletromagnéticas[6] são aquelas que irradiam pelo espaço dispensando a existência de quaisquer meios físicos para a transmissão. Os sistemas via rádio dependem das condições de propagação e estão sujeitos a interferências, mas possuem ótima flexibilidade para implantações e são muito utilizados em comunicação a longa distância.

Pela figura 2.2 podemos visualizar melhor a configuração de um sistema de comunicação via rádio.

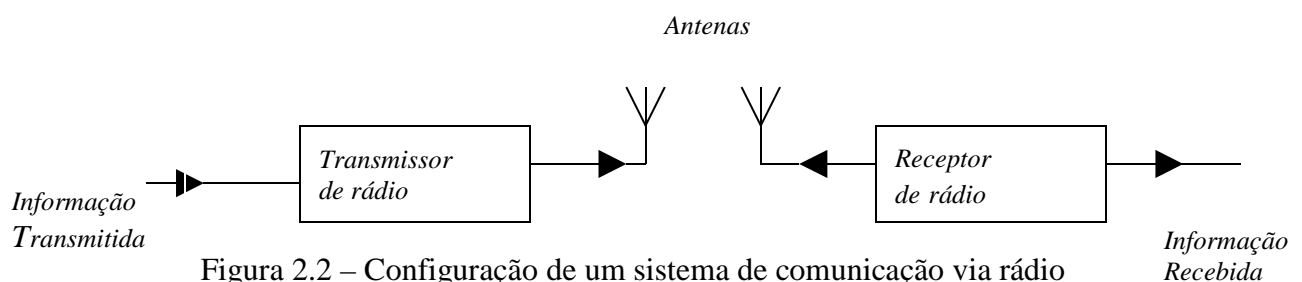


Figura 2.2 – Configuração de um sistema de comunicação via rádio

Para o estudo de um sistema como o descrito acima é importante saber as características das antenas, dos transmissores e dos receptores assim como está descrito na tabela 2.1

TABELA 2.1 - Descrição de um sistema de comunicação via rádio

ANTENAS	TRANSMISSORES	RECEPTORES
Frequência de operação	Frequência de operação	Frequência de operação
Ganho	Potência de saída	Sensibilidade
Diretividade	Atenuação de harmônicos	Seletividade
Impedância característica	Impedância de saída	Impedância de entrada
Tipo de polarização	Tipo de modulação	Tipo de modulação

O transmissor de rádio é um equipamento eletrônico especificamente projetado para gerar sinais modulados, com frequência e nível de potência compatíveis com a distância a ser alcançada pela transmissão. Suas três funções básicas são: geração e modulação da portadora e a amplificação do sinal modulado.

A figura 2.3 mostra o diagrama de blocos de um transmissor de rádio básico, o qual contém três circuitos essenciais: o oscilador de portadora, o modulador e o amplificador de potência. O oscilador gera a portadora de radiofrequência, necessária ao procedimento de modulação.

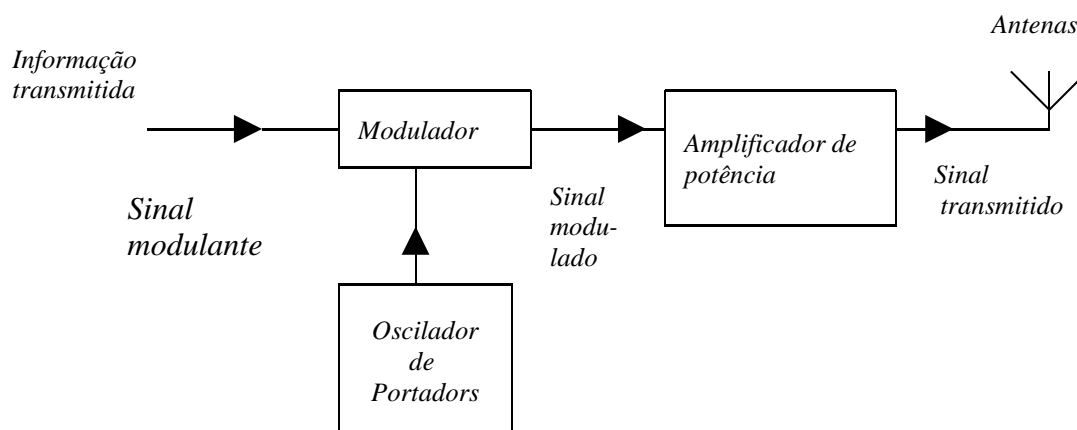


Figura 2.3 – Diagrama de blocos de um rádio básico

O receptor de rádio é um equipamento eletrônico cuja finalidade é já recepção de sinal modulados de radio – frequência. Isso exige que os receptores de rádio possuam, pelo menos, duas características: seletividade e sensibilidade.

A seletividade é a capacidade de discriminar sinais de diferentes frequências sendo conseguida pelo uso de filtros.

A sensibilidade, que é a capacidade de operar com sinais de pequena intensidade, é conseguida pelo uso de amplificadores.

Além de selecionar e amplificar o sinal, os receptores devem proceder sua demodulação. Para cumprir essas funções, os receptores precisam utilizar diversos circuitos diferentes. Um receptor básico pode ser feito a partir de apenas dois circuitos: um amplificador sintonizado e um demodulador, como na figura abaixo.

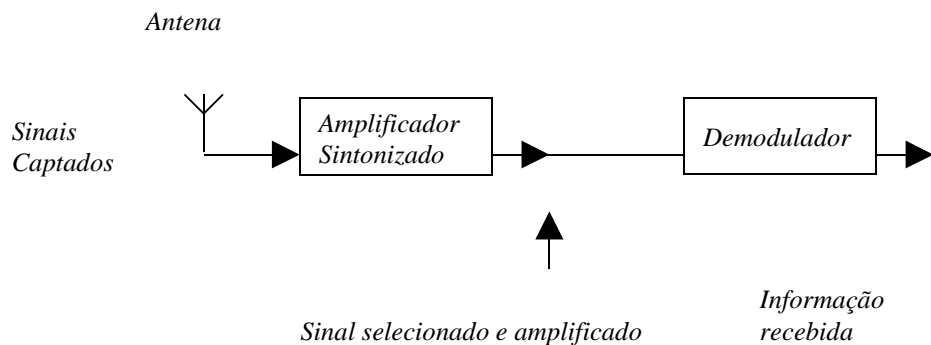


Figura 2.4 – Diagrama de blocos de um receptor

## 2.2 – COEFICIENTE DE REFLEXÃO, PERDA DE RETORNO E VSWR

A figura 2.5 mostra uma linha de transmissão sem perdas com impedância característica igual a  $Z_0$  e terminada em uma carga de impedância  $Z_L$  [4].

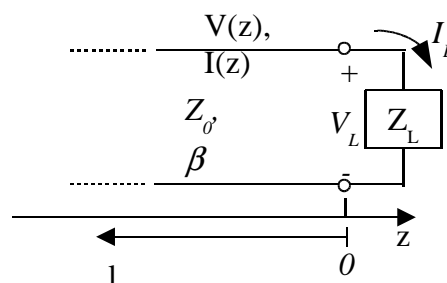


Figura 2.5 – Linha de Transmissão terminada na carga  $Z_L$



Assumindo que uma onda incidente de forma  $V_0^+ e^{-j\beta z}$  é gerado por uma fonte em  $z < 0$ . A razão entre a tensão e a corrente ao longo da linha é a impedância característica da linha  $Z_0$ . Porém, a linha é terminada em uma carga arbitrária  $Z_L \neq Z_0$ , a razão entre a tensão e a corrente na carga deve ser  $Z_L$ . Portanto, uma onda refletida deve ser excitada com amplitude apropriada para satisfazer esta condição. A tensão total na linha pode ser escrita como na equação 2.1, como a soma entre onda incidente e a onda refletida.

$$V(z) = V_0^+ e^{-j\beta z} + V_0^- e^{-j\beta z} \quad (2.1)$$

Similarmente, a corrente total pode ser descrita como na equação 2.2:

$$I(z) = \frac{V_0^+}{Z_0} e^{-j\beta z} - \frac{V_0^-}{Z_0} e^{-j\beta z} \quad (2.2)$$

A tensão total e a corrente na carga são relacionadas pela impedância da carga, então no ponto  $z = 0$ , temos:

$$Z_L = \frac{V(0)}{I(0)} = \frac{V_0^+ + V_0^-}{V_0^+ - V_0^-} Z_0 \quad (2.3)$$

Resolvendo a equação 2.3 para  $V_0^-$ , temos:

$$V_0^- = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} V_0^+ \quad (2.4)$$

Normalizando a tensão refletida pela tensão incidente, temos o que chamamos de coeficiente de reflexão:

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.5)$$

Quando  $\Gamma = 0$ , não existe onda refletida, neste caso, podemos dizer que a carga  $Z_L$  está casada com a linha de transmissão.

Quando a carga não está casada com a linha de transmissão, nem toda a potência disponibilizada pelo gerador é entregue para a carga. A esta perda damos o nome de perda de retorno(RL),e é definida como:

$$RL = -20 \log |\Gamma| dB \quad (2.6)$$

Podemos rescrever a tensão total em função do coeficiente de reflexão da seguinte forma:

$$\begin{aligned} V(z) &= V_0^+ [e^{-j\beta z} + \Gamma e^{j\beta z}] \\ I(z) &= \frac{V_0^+}{Z_0} [e^{-j\beta z} - \Gamma e^{j\beta z}] \end{aligned} \quad (2.7)$$

Fazendo o modulo da tensão total, chegaremos a seguinte equação:

$$|V(z)| = |\bar{V}_0^+| \left| 1 + |\Gamma| e^{j(\theta - 2\beta l)} \right| \quad (2.8)$$

Onde  $l = -z$  é a distância positiva medida a partir da carga no ponto  $z = 0$ , e  $\theta$  é a fase do coeficiente de reflexão ( $\Gamma = |\Gamma| e^{j\theta}$ ). Este resultado mostra que a magnitude da tensão oscila com a posição  $z$  ao longo da linha. O valor máximo ocorre quando o termo da fase  $e^{j(\theta - 2\beta l)} = 1$ , e nos dado pelo a equação 2.9:

$$V_{\max} = |\bar{V}_0^+| (1 + |\Gamma|) \quad (2.9)$$

O valor mínimo ocorre quando o termo da fase  $e^{j(\theta - 2\beta l)} = -1$ , e é dado por:

$$V_{\min} = |\bar{V}_0^+| (1 - |\Gamma|) \quad (2.10)$$

Como a medida que  $|\Gamma|$  aumenta a medida que a razão entre  $V_{\max}$  e  $V_{\min}$  aumentam, então podemos definir uma medida de descasamento de uma linha, chamada de voltage standing wave ratio (VSWR), podendo ser definida como:

$$VSWR = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.11)$$

A VSWR varia entre 1 e  $\infty$ , sendo que a carga está casada quando a  $VSWR = 1$ .

## 2.3- ESPECTRO DE FREQUÊNCIA

### 2.3.1- O que é o Espectro de frequência?

A janela de referência usual é o tempo[3]. Por ela nota-se quando certos eventos ocorrem. Isto acontece para eventos elétricos e, usando um osciloscópio para verifica-se instantaneamente o valor de um evento elétrico em particular em função do tempo, isto é, a forma de onda de um sinal no domínio do tempo.

Segundo Fourier, qualquer sinal no domínio do tempo é composto por uma ou mais ondas senoidais de apropriada frequência, amplitude e fase. Então, com um filtro podemos decompor um determinado sinal em ondas senoidais separadas, ou componentes espectrais, que podem ser estimadas independentemente. Em outras palavras, pode-se transformar o sinal no domínio do tempo para o seu domínio da frequência equivalente.

Portanto, o espectro é um conjunto de ondas senoidais que, combinadas apropriadamente, formam um sinal no domínio do tempo.

A figura 2.6 mostra a forma de onda de um sinal composto por várias frequências, sendo um conjunto de mais de uma onda senoidal.

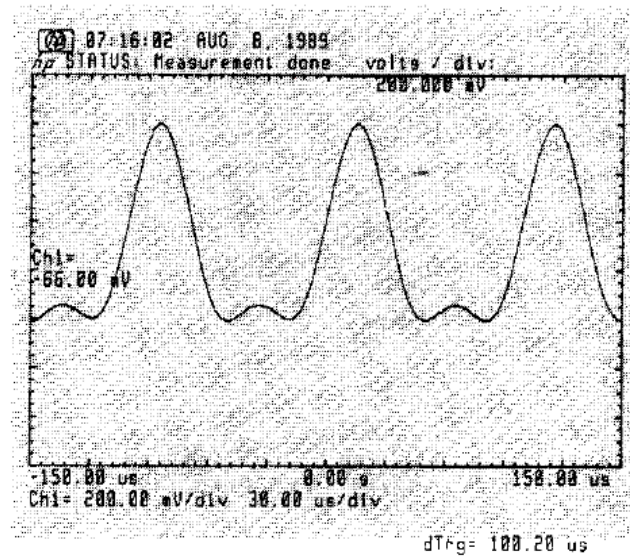


Figura 2.6 – Sinal composto no domínio do tempo

Na figura 2.7, tem-se o mesmo sinal no domínio do tempo e no domínio da frequência. No domínio da frequência, está o gráfico da amplitude versos a frequência de cada onda senoidal no espectro. Como mostra o espectro, o sinal é composto por duas ondas senoidais, sendo que a Segunda onda senoidal é chamada de 2º harmônico.

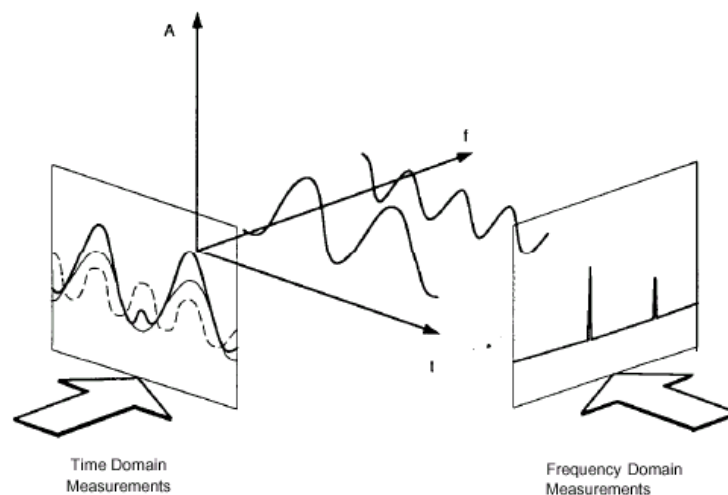


Figura 2.7 – Relação entre o domínio do tempo e da frequência

### 2.3.2- Por Que Medir o Espectro?

Como nos exemplos das figuras 2.6 e 2.7, o domínio da frequência é melhor para determinar os componentes harmônicos de um sinal. As pessoas da área de telecomunicações são extremamente interessadas nas distorções harmônicas. Por exemplo, num sistema de radio celular, deve-se checar para que as harmônicas de um sinal não interfiram em um outro sistema. Existe, também um grande interesse nas distorções das mensagens que são moduladas por uma portadora. As intermodulações de terceira ordem podem ser particularmente problemáticas, por que as componente de distorção podem cair dentro da faixa de frequência de interesse e não poder ser filtrada.

## 2.4- ANALISADOR DE ESPECTRO SUPERHETERODINO

Existem várias arquiteturas de analisadores de espectro[3], a mais utilizada é a superheterodina devido a sua boa performance em relação ao range de frequência, à sensibilidade e ao range dinâmico.

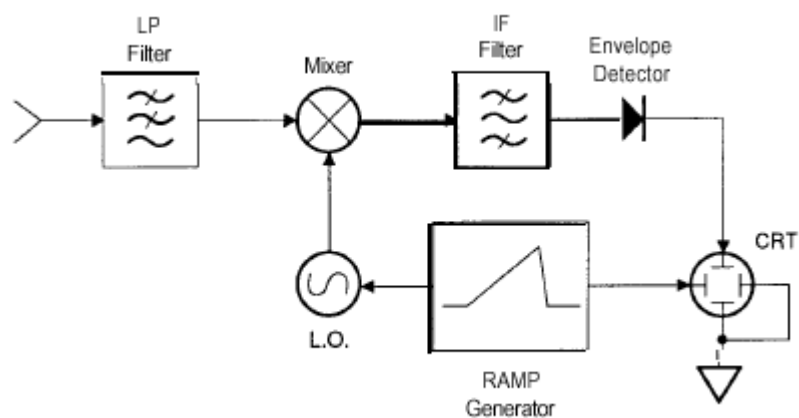


Figura 2.8 – Analisador de Espectro Superheterodino

A figura 2.8 é um diagrama de blocos simplificado de um analisador de espectro Superheterodino. Heterodino significa mixar frequência, ou seja, transladar frequência, e super refere-se a frequências acima do limite audível. Referindo-se ao diagrama de blocos da figura 2.8, nós vemos que o sinal de entrada passa a através de um filtro passa – baixa para um *mixer*, onde é mixado com o sinal de um oscilador local (LO). Como o *mixer* é um dispositivo não – linear , sua saída inclui não apenas os dois sinais originais, mas também seus harmônicos e as somas e diferenças dos sinais originais. Se qualquer um dos sinais mixados cair na banda passante do filtro intermediário, este sinal será amplificado, retificado

pelo detetor de envelopes, digitalizado e acionará o prato vertical do tubo de raio catódico (CRT) que produzirá uma deflexão vertical na tela do analisador. Um gerador de rampa deflete os raios na direção horizontal. O gerador de rampa também sintoniza o oscilador (LO), assim a frequência do oscilador muda na mesma proporção em que a voltagem da rampa muda.

O eixo horizontal da tela é calibrado em frequência e cresce linearmente da esquerda para direita. Já o eixo vertical é calibrado em amplitude, os analisadores oferecem a escolha da escala linear calibrada em volts ou logarítmica calibrada em dB. A figura 2.9 mostra uma típica tela de um analisador de espectro.

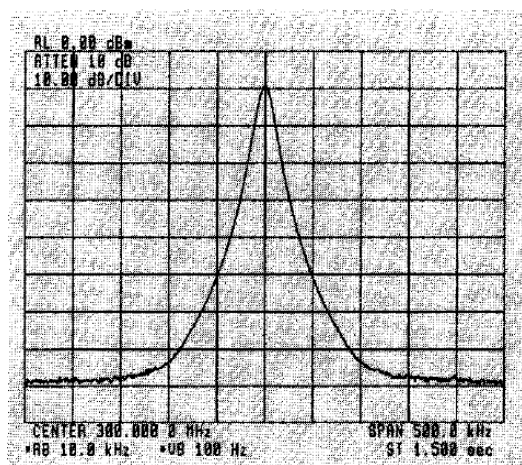


Figura 2.9 – Tela típica de um analisador de espectro

Voltando para a figura 2.8, surge uma questão, para qual frequência o analisador deve ser sintonizado? Sintonia é uma função da frequência central do filtro IF, do range de frequência do LO e do range de frequência que é permitido passar pelo filtro passa – baixa.

Vamos assumir que nós queremos analisar um range de 0 a 2,9 GHz. Suponhamos que IF é igual a 1 GHz. Como esta frequência está dentro do range desejado, nós podemos ter um sinal de entrada igual a 1 GHz. E como a saída de um *mixer* também inclui os sinais originais de entrada, nós teríamos uma saída constante do *mixer* para IF independente da frequência do LO. Portanto, IF deve estar fora do range de frequência a ser analisado. Para o range de 0 a 2,9 GHz, nós podemos escolher IF igual a 3,6 GHz.

E qual deve ser o range do LO para a faixa de frequência analisada? Se nós começarmos LO na frequência IF ( $LO - IF = 0$ ) e sintonizarmos deste ponto até 2,9 GHz acima de IF, nós podemos cobrir o range de frequência com o produto do *mixer*  $LO - IF$ . Usando esta informação, nós podemos gerar a seguinte equação de sintonia:

$$f_{sig} = f_{LO} + f_{IF}$$

Onde  $f_{\text{sig}}$  = frequência do sinal

$f_{\text{LO}}$  = frequência do oscilador local

$f_{\text{IF}}$  = frequência intermediária

Então, para  $f_{\text{IF}}$  igual a 3,6 GHz,  $f_{\text{LO}}$  varia de 3,6 GHz a 6,5 GHz.

A figura 2.10 ilustra o processo de sintonia do analisador. Na figura se  $f_{\text{LO}}$  não é alto o suficiente para fazer com que o produto do *mixer*  $f_{\text{LO}} - f_{\text{sig}}$  caia na banda passante de IF, não existirá resposta na tela. Se nós ajustarmos o gerador de rampa para sintonizar LO em uma frequência mais alta, este produto pode cair na banda passante de IF, então, uma resposta na tela será vista.

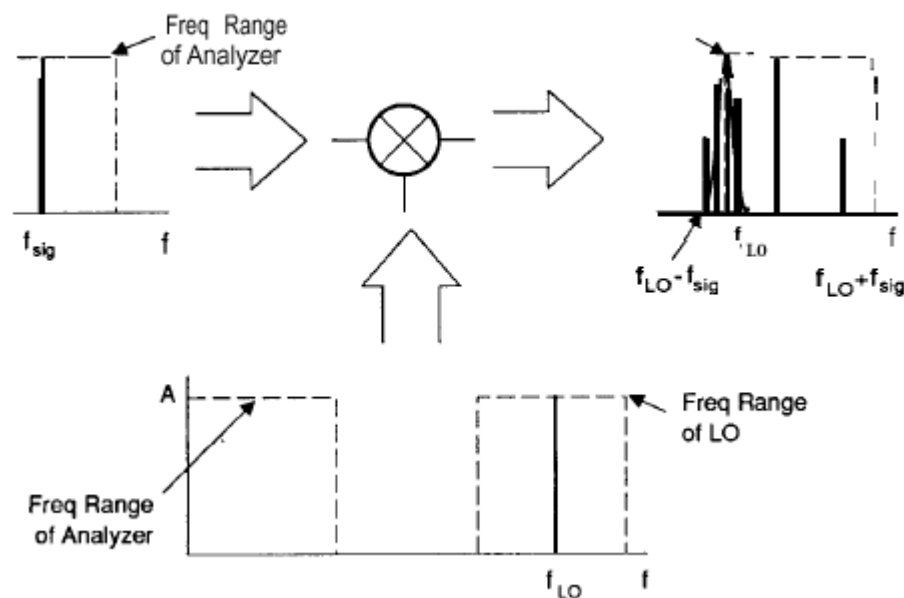


Figura 2.10 - Sintonia do analisador

O filtro passa baixa procura garantir que frequências fora do range não produzam deflecção na tela do analisador de espectro.

A figura 2.8 descreve um analisador de espectro de uma única banda. O que fazer para analisar frequências de 2,9 GHz a 22 GHz?

Como queremos frequências altas, o filtro passa baixa deve ser removido. Outro fator a ser considerado é a sintonia do analisador. Anteriormente foi visto que a frequência de IF não deve ficar dentro do range de medida, como queremos analisar frequências acima de 2,9 GHz IF deve ser menor do que 2,9 GHz, por exemplo, 321,4MHz. Deste modo poderemos analisar frequências acima de 2,9 GHz. A figura 4 mostra este tipo de arquitetura.

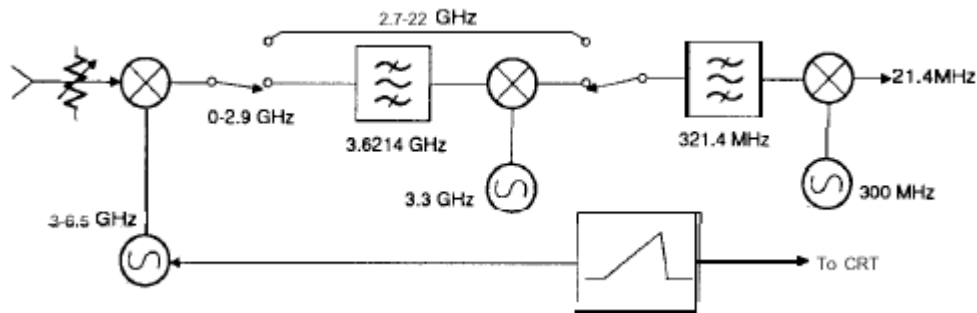


Figura 2.11 – Diagrama de blocos para baixas e altas frequências

Com este último diagrama de blocos, conseguimos ter uma visão geral de como funciona um analisador de espectro superheterodino. Visão esta que colaborou na utilização do analisador de espectro de uma forma mais eficiente e eficaz.

## 2.5- TECNOLOGIA ETHERNET

Esta é uma tecnologia de rede local popular[5], de comutação de pacotes, criada em 1970. Ela é de barramento de difusão (broadcast) de 10 Mbps com método de entrega sem garantia e controle de acesso distribuído. É um barramento porque todas as estações compartilham um único canal de comunicação; é de difusão (broadcast) porque todos os transceptores recebem cada uma das transmissões.

O controle de acesso à Ethernet é distribuído porque a Ethernet não tem nenhuma autoridade central para permitir acesso. O esquema de acesso é chamado CSMA/CD. Isto ocorre porque vários equipamentos podem acessar a Ethernet simultaneamente e cada um deles estabelece se o meio está livre ou não detectando a presença ou não de sinal.

Quando um transceptor inicializa uma transmissão, o sinal não consegue alcançar todos os locais da rede, simultaneamente. Ele percorre o cabo a aproximadamente 80 % da velocidade da luz. Assim, é possível que dois transceptores detectem que a rede está disponível e inicializem uma transmissão ao mesmo tempo. Quando dois sinais elétricos se sobrepõem, ambos tornam-se inválidos. Tais incidentes são chamados colisões.

A forma com que a Ethernet lida com as colisões é simples. Cada transceptor monitora o cabo enquanto ele está transmitindo e verifica se algum sinal incomum interfere na transmissão. Quando uma colisão é detectada, a interface do host interrompe a transmissão, espera que a atividade cesse e tenta inicializá-la novamente. Mas tudo isto é feito com muito cuidado e, para isto, a Ethernet usa uma política chamada binary exponential backoff, na qual um transmissor espera um tempo aleatório após a primeira colisão.

A Ethernet padrão tem 10 Mbps e um endereçamento de 48 bits. Normalmente, o endereço da Ethernet pode ser lido pela máquina na interface de hardware do host. Os endereços físicos são associados ao hardware da interface da Ethernet. Transferindo a interface do hardware para uma nova máquina ou substituindo uma interface do hardware que tenha apresentado problemas podemos alterar o endereço físico da máquina.

Um endereço da Ethernet, de 48 bits, pode ter mais utilidade do que simplesmente especificar um único computador destino. Um endereço pode ser de três tipos:

- O endereço físico de uma interface de rede (unicast)
- O endereço de difusão (broadcast) da rede
- Um endereço multicast

O endereço de difusão é reservado para o envio simultâneo a todas as estações. Os endereços de multicast provêm uma forma limitada de difusão.

O modelo de referência OSI é composto de sete camadas físicas, enlace, redes, transportes, sessão, apresentação e aplicação. Dentre elas, a Ethernet deve ser considerada uma conexão no nível de enlace de dados, o qual equivale ao nível 2 do modelo mencionado. Os quadros da Ethernet possuem vários comprimentos, sendo que não há nenhum inferior a 64 octetos ou superior a 1.518 octetos. Assim como em todas as redes de comutação de pacotes, cada quadro da Ethernet possui um campo com o endereço de seu destinatário. A Tabela 2.2 ilustra o formato do quadro da Ethernet que possui o endereço físico de origem e o de destino.

TABELA 2.2 – Formato de um quadro de Ethernet

8 octetos (preâmbulo)	6 octetos (endereço de destino)	6 octetos (endereço de origem)	2 octetos (tipo de quadro)	64-1500 octetos (dados do usuário)	4 octetos (CRC)
--------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------	---------------------------------------	--------------------

### 2.5.1- Formato de um quadro Ethernet

O preâmbulo consiste em 64 bits de 0s e 1s alternados com o propósito de ajudar no recebimento de nós sincronizados. O CRC de 32 bits ajuda a interface na detecção dos erros de transmissão.



## 2.6 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO

O coeficiente de correlação é uma medida que descreve em um único número a dependência entre duas variáveis[7].

**Definição :** Dado n pares de valores  $(x_1, y_1), (x_2, y_2) \dots (x_n, y_n)$  chama-se coeficiente de correlação entre duas variáveis X e Y a

$$Corr(X, Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{DP(X)} \right) \left( \frac{y_i - \bar{y}}{DP(Y)} \right)$$

Onde DP(X) e DP(Y) são os desvios padrões das variáveis X e Y respectivamente.

Quando a correlação é negativa significa que as duas variáveis possuem uma dependência inversa, ou seja, quando uma aumenta a outra diminui.

O módulo do coeficiente de correlação varia de 0 a 1, quando a correlação é 0 as variáveis são completamente independentes. Quando varia entre 0 e 0,3 a dependência é fraca., entre 0,3 e 0,5 é de fraca para média, entre 0,5 e 0,7 é de média para alta e acima de 0,7 é considerada alta, ou seja as variáveis são bastante dependentes.

## CAPÍTULO 3- CARACTERÍSTICAS DO ENLACE DE MICROONDAS

### 3.1- INTRODUÇÃO

O projeto feito do rádio enlace ENE- RNP teve como objetivo criar uma conexão de alta velocidade entre o Departamento de Engenharia Elétrica da Unb e a Rede Nacional de Pesquisa- RNP[5]. Os equipamentos foram instalados no GAT ( prédio do grupo de apoio técnico do departamento ).

A configuração do enlace de microondas junto às redes da UnB e da RNP foi feita da seguinte forma:

- Na RNP, a conexão rádio/roteador é feita no padrão Ethernet e a conexão roteador/rede, também é feita no padrão Ethernet. A conexão com a rede foi feita de modo muito simples, sendo necessário, para tanto, apenas a conexão direta do mesmo ao roteador e a configuração da tabela de roteamento.
- No GAT, a conexão foi feita junto a um switch, também utilizando o padrão Ethernet.
- Na UnB, a conexão entre o GAT e o laboratório de redes foi feita passando-se através do anel óptico da RedUnB .

Na figura 3.1 vemos a configuração da rede.

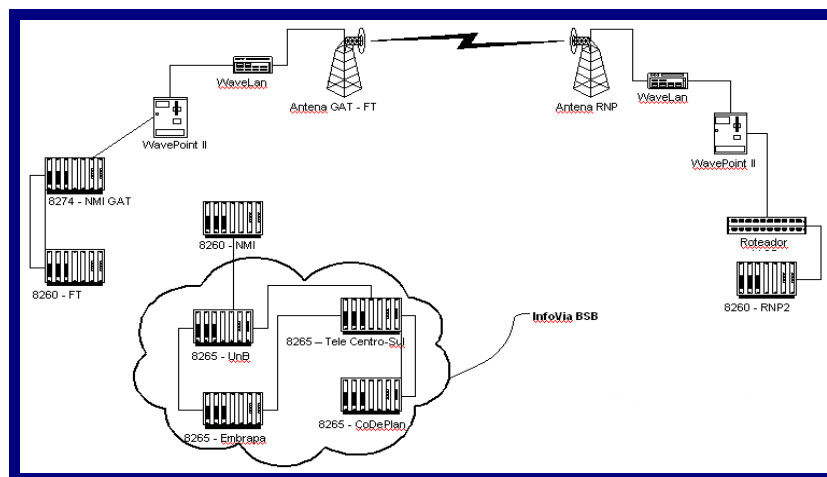


Figura 3.1 - Backbone ENE – RNP

O link de microondas é constituído por dois subenlaces em visada direta, sendo um de 600 metros entre os prédios do SG-11 ( FT/ UnB) e do HUB, e outro de 3750 metros entre os prédios do HUB e da RNP, tendo ainda um repetidor de sinal no prédio do HUB.

O enlace é composto por 3 rádios e 4 antenas parabólicas com alimentador em dipolo e com ganho de 21dBi sendo uma localizada na RNP, uma no ENE, e duas no repetidor ativo localizado sobre o HUB. Os rádios digitais presentes no enlace possuem uma potência nominal de saída de 15 dBm e sensibilidade de recepção de -91 dBm.

Considerando-se o enlace GAT-HUB , temos uma potência de recepção nos rádios de -58,60 dBm. Isto, levando-se em conta a distância de 600 metros e uma margem de desvanecimento de 20 dB.

Levando em conta a distância de 3750 HUB-RNP e uma margem de desvanecimento de 20 dBm, encontramos a potência de recepção de -89,52 dBm

O rádio digital possui uma banda de 20 MHz, BER menor que  $10^{-5}$  e sua configuração permite a utilização de onze canais distintos.

O rádios foram configurados com as seguintes frequências:

- no GAT-HUB foi usado o canal 3 com 2,422 GHz
- no HUB-RNP utilizou-se o canal 11 com 2,462 GHz

### **3.2- MONITORAMENTO DO RÁDIO**

No link está instalado o software WaveMANAGER/AP[1] , o qual utiliza o protocolo TCP/IP para se comunicar com os dispositivos WavePOINT-II. Este programa é usado para conectarmos a unidade WavePOINT-II[2] e alterar a configuração de endereços IP padrão .

O WaveMANAGER/AP monitora a rede de uma localização central, ou seja, de um escritório do administrador da LAN. Este utilitário pode ser usado para mostrar as medidas de teste do link entre uma unidade WavePOINT-II de sua escolha e um dispositivo WaveLAN conectado com a unidade selecionada WavePOINT-II. E ainda, mostrar medidas de comunicação via rádio para áreas em nossa rede que não podem ser facilmente monitoradas.

O utilitário WaveMANAGER/AP pode ser executado em ambas estações conectadas a Ethernet e estações sem fio, WaveLAN. Para executar medidas e diagnósticos, as estações WaveMANAGER/AP devem ser conectadas à infraestrutura da rede que permite às estações acesso às unidades WavePOINT-II usando o protocolo TCP/IP.

A todo WaveLAN IEEE existe um endereço MAC associado e que deve ser único para cada estação. Neste projeto há dois enlaces ponto-a-ponto e nos quais existem 3 rádios digitais ( WavePOINT-II) e 4 placas. O rádio no GAT e na RNP possuem apenas um cartão de rede. O rádio no HUB tem 2 cartões. Cada um possui um MAC. Há um endereço IP entre os rádios e outro entre os MAC dos cartões existentes nos rádios. Ao MAC do cartão no GAT

existe um MAC associado ao HUB e ao outro MAC do cartão no HUB existe um cartão na RNO. Os endereços MAC dos cartões são estes na tabela abaixo:

TABELA 3.1- Endereços MAC

Local	MAC Address
GAT	00-60-1D-1B-D8-0F
HUB (cartão 1)	00-60-1D-04-9F-25
HUB (cartão2)	00-60-1D-04-A0-7C
RNP	00-60-1D-04-65-19

O cartão adaptador WaveLAN IEEE 802.11 não é muito diferente de outro tipos de cartões adaptadores para LAN's interligadas por cabos. Ele suporta todos os protocolos que são usados nos adaptadores Ethernet padrão. O cartão WaveLAN permite colocar workstations na rede sem a necessidade de mudar o cabeamento da rede e as conexões com o hub .

Para a monitoração da infraestrutura da rede, pode-se usar as seguintes ferramentas: Site Monitor e Link Test do WaveMANAGER/CLIENT e Remote Statistics e Remote Link Test do WaveMANAGER/AP. Este último foi o programa utilizado.

O WaveMANAGER/AP monitora a relação sinal-ruído (SNR). Esta identifica a qualidade da comunicação do rádio entre a estação local e a remota.

O programa exibe a SNR, o nível de potência, o ruído e a quantidade de pacotes recebidos em valores percentuais. Além disso, indica a qualidade do link utilizando o sistema de cores de acordo para as medidas da relação sinal-ruído e de perda de pacote como mostra a tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Níveis de qualidade

Cor	Qualidade de comunicação	SNR	Perda de Pacote
Verde	Ideal, nenhuma intervenção é requerida	Acima de 50%	Menor que 1,0%
Amarelo	Adequada, nenhuma intervenção é requerida	Entre 20 e 30%	Entre 1,0% e 2,0%
Vermelho	Ruim, é necessário intervenção	Abaixo de 20%	Acima de 2,0%
Branca	Nenhuma conexão	Nenhuma conexão	Nenhuma conexão

Quanto menor a SNR, pior a qualidade do sinal. A relação sinal-ruído pode depender de dois fatores:

- Sendo a potência do sinal recebido baixa, significa que as estações estão fora de alcance.
- O ruído estando muito elevado é um indicador de que o rádio está sofrendo interferência.

A perda de pacote pode ser ocasionada pelos seguintes fatores:

- Alto tráfego na rede
- Presença de tráfego redundante

Portanto, com o programa WaveMANAGER/AP podemos monitorar o rádio e identificar alguns problemas.

## **Capítulo 4 - Caracterização do Enlace de Microondas GAT – RNP**

Caracterizar um enlace de microondas é analisá-lo em relação aos parâmetros de potência, banda do sinal e coeficiente de reflexão das antenas. Além disso, é também fazer uma análise do comportamento do enlace no tempo.

Com a caracterização do enlace é possível identificar seus problemas e obter soluções para melhorá-lo.

Neste projeto, será analisado o link GAT-RNP, o qual foi descrito anteriormente. O procedimento que usamos foi dividido em duas etapas:

Na primeira etapa foram feitas as medidas de rádio – frequência, ou seja, de potência transmitida e do coeficiente de transmissão da antena.

Na Segunda etapa, foi utilizado o programa WaveMANAGER/AP que nos possibilitou a verificação do comportamento do enlace no tempo.

### **4.1 - 1ª ETAPA – MEDIDAS DE RF**

As medidas de radio-frequência foram feita com o rádio que se localiza no GAT.

Na realização destas medidas foram usados os equipamentos abaixo:

- 1 Gerador de varredura programável Wilton modelo 6637B<sup>1</sup>
- 1 Analisador de espectro HP 8593E
- 4 Cabos
- Conectores
- 1 Atenuador 20 dB
- 1 Acoplador

#### **4.1.1 Caracterização Dos Elementos**

Para a realização da primeira etapa, foram medidas as perdas de inserção<sup>2</sup> de todos os elementos que seriam usados, os quais foram os seguintes:

- 4 Cabos
- 1 Acoplador
- 1 Atenuador de 20 dB

---

<sup>1</sup> - Gerador de varredura é um equipamento que produz um sinal com resposta em frequência dentro de uma determinada faixa.

<sup>2</sup> - Perda de inserção é a perda causada pela dissipação de energia dentro do dispositivo.

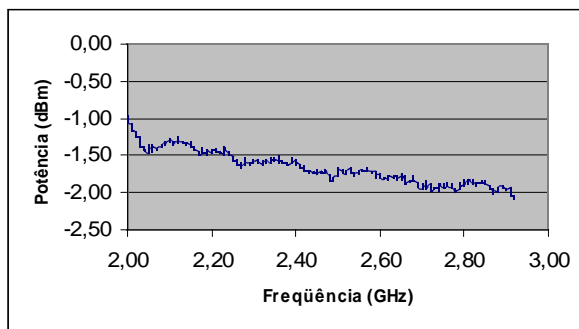
Para a realização do procedimento foram seguidos os seguintes passos:

- 1- O elemento a ser medido foi conectado ao gerador de funções e ao analisador de espectro como mostra a figura 4.1.
- 2- O gerador de varredura foi configurado para transmitir um sinal de 0 dBm na faixa de frequência de 2 a 3 GHz.
- 3- O analisador de espectro foi configurado com a frequência central de 2,466 GHz , span de 921,40 MHz e tempo de varredura de 15 segundos. E, assim, foi possível a perda causada pelo dispositivo medido.

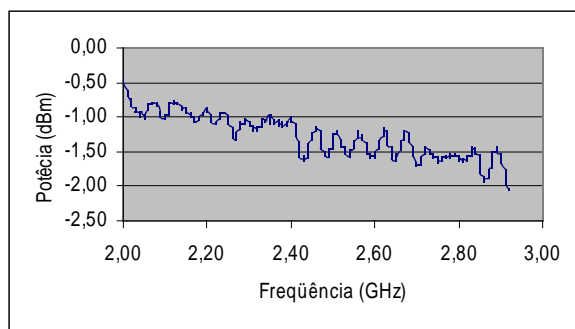


Figura 4.1: Montagem

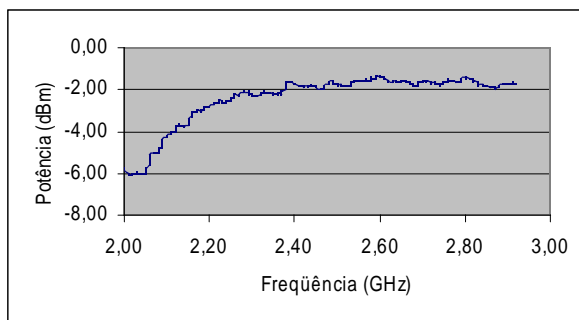
Após os procedimentos acima, foi obtida a perda de inserção para cada dispositivo, mostrada na Figura 4.2.



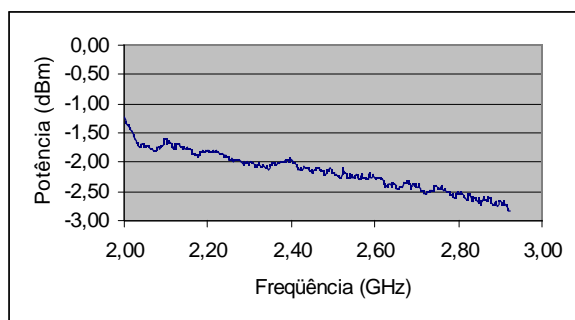
(a) Cabo 1



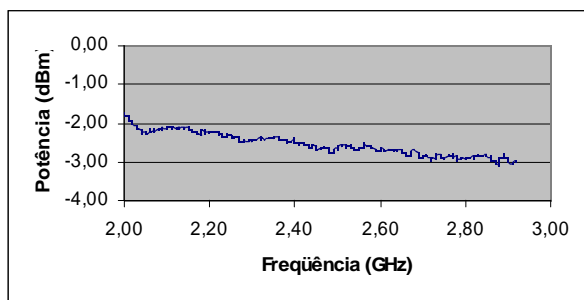
(b) Cabo 2



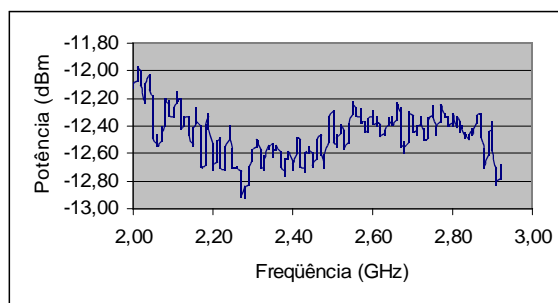
(c) Cabo3



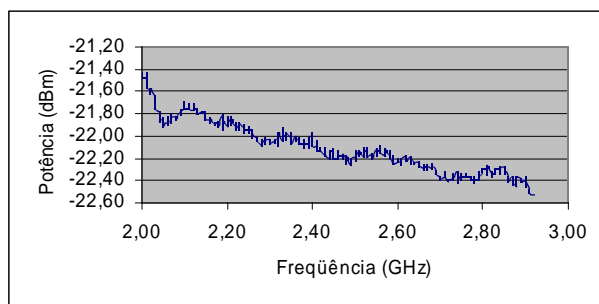
(d) Cabo4



(e) Saída 1 do acoplador



(f) Saída 2 do acoplador



(g) Atenuador

Figura 4.2 – Medidas de perda de inserção

Estas medidas foram utilizadas para subtrair o efeito das perdas de inserção nas próximas medidas.

#### 4.1.2 - Espectro de Frequência do Rádio

Conectando o rádio ao atenuador de 20dB ( este foi utilizado para proteger o analisador de espectro) e este ao analisador de espectro de acordo com a figura 4.3, foi possível visualizar o espectro do rádio.

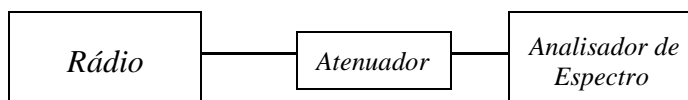


Figura 4.3 – Montagem para a análise do espectro do rádio

O analisador de espectro foi configurado para frequência central de 2,4 GHz, span de 200 MHz e tempo de varredura de 20 ms.

A figura 4.4 mostra o espectro do rádio depois de eliminados os efeitos das perdas do cabo e do atenuador.



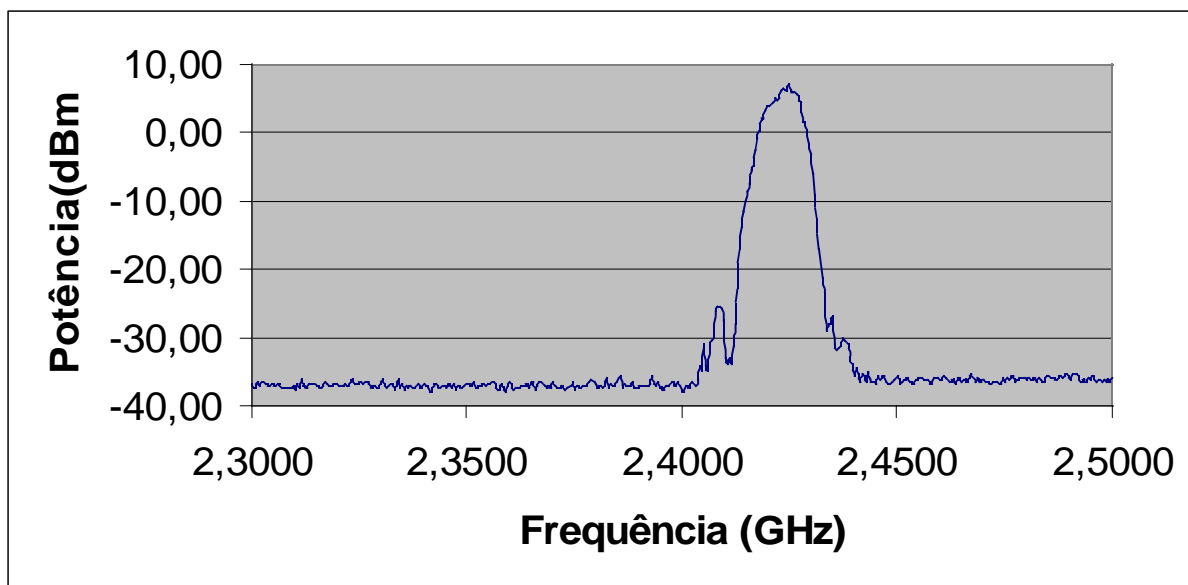


Figura 4.4: Espectro do rádio

A partir destas medidas, tem-se:

- Potência Máxima: 7,02 dBm
- Frequência Central: 2,424 GHz
- Banda de Frequência (quando decai 3dB) : 7,07 MHz

Assim, pode-se verificar diferenças entre os valores medidos e os especificados, como mostra a tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Diferença entre a medição e o especificado

	<b>ESPECIFICADO</b>	<b>MEDIDO</b>
<b>Potência</b>	15 dBm	7,02 dBm
<b>Frequência central</b>	2,422 GHz	2,424 GHz
<b>Banda</b>	20 MHz	7,07 MHz

Para fazer estas medidas o rádio foi desconectado da rede, como este é um rádio CDMA que varia a potência de acordo com a o tráfego demandado, ao ausência de tráfego pode ter gerado estas diferenças.

#### 4.1.3 – Coeficiente de Reflexão

Para verificar a perda de retorno, conectou-se o analisador de espectro e o gerador de varredura ao acoplador que, por sua vez, foi ligado à antena. Verifica-se melhor esta montagem pela figura 4.5.

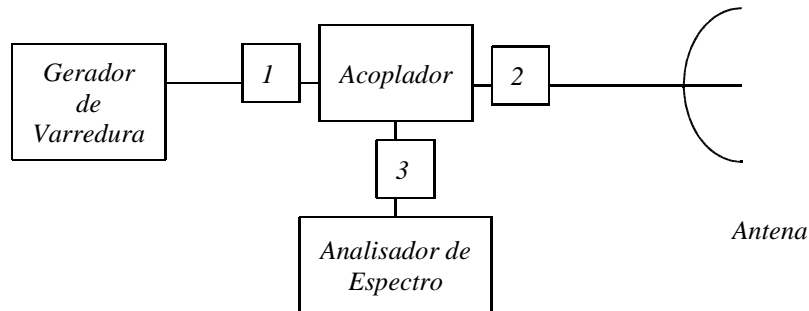


Figura 4.5 – Montagem para medição do coeficiente de reflexão

Sabe-se que a transmissão no acoplador só é realizada em dois sentidos: da porta 1 para a 2 e da porta 2 para a 3. Por causa deste efeito, a energia refletida pela antena passa da porta 2 para a porta 3, assim com o analisador de espectro pode-se ver quanto da potência transmitida pelo gerador de varredura foi refletida pela antena.

Ajustou-se o gerador de varredura para transmitir a potência de 0 dBm na faixa de 2,0 a 3,0 GHz.

Configurou-se o analisador de espectro para frequência central de 2,45 GHz, span de 100 MHz e tempo de varredura de 15 segundos.

O resultado desta medição pode ser visualizado na figura 4.6.

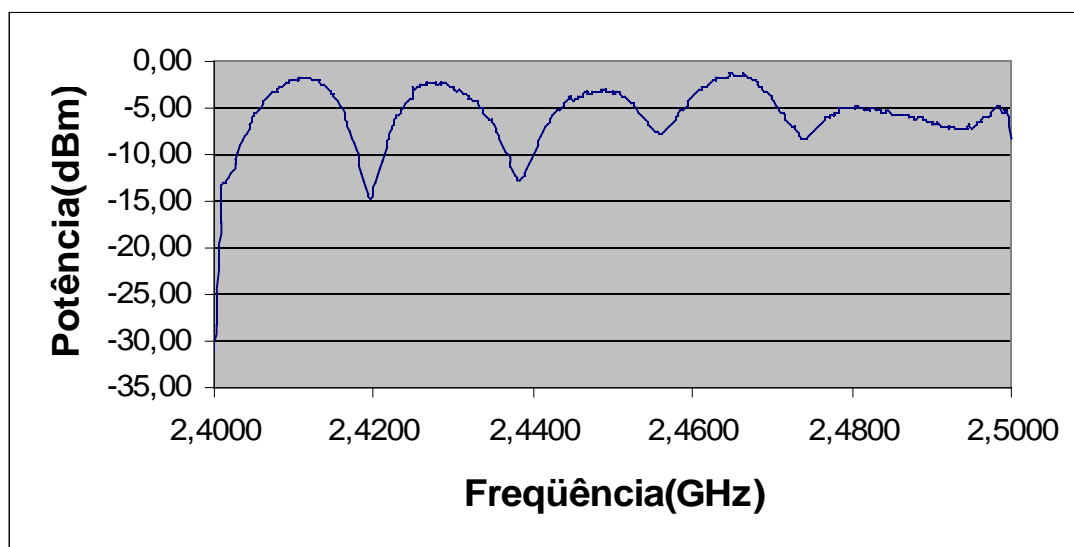


Figura 4.6 – Potência Refletida

A figura 4.6 mostra que na maior parte da faixa de frequência de funcionamento do rádio a antena está descasada. A tabela 4.2 mostra o coeficiente de reflexão e a VSWR para algumas frequências importantes.

Tabela 4.2 – Coeficiente de Reflexão e VSWR

<b>Frequência(GHz)</b>	<b>Coeficiente de Reflexão</b>	<b>VSWR</b>
2,400	0,027	1,06
2,420	0,19	1,48
2,422	0,34	2,04
2, 440	0,23	1,60
2,462	0,75	6,94

A frequência 2,4 GHz é a que possui o menor coeficiente de reflexão, infelizmente o rádio não tem canais que funcionem nesta frequência. A frequência 2,42 GHz e 2,44 GHz são respectivamente o segundo e terceiros picos de menor VSWR.

A frequência 2,422 GHz foi configurada para o subenlace GAT – HUB, e de acordo com a tabela 4.2, para ela, o coeficiente de reflexão da antena é de 0,34, ou seja, 12% da potência é refletida pela antena.

Já a frequência 2,462 foi configurada para o subenlace HUB – RNP. A tabela 4.2 mostra que o coeficiente de reflexão da antena, neste caso, é de 0,75. Isto significa que 56% da potência é refletida pela antena. Um coeficiente de reflexão tão alto quanto este, além de impedir com que mais da metade da potência não seja transmitida, causa a degradação do sinal. O motivo de tal fato seria a soma da potência refletida à transmitida.

## **4.2 – 2ª ETAPA: COMPORTAMENTO NO TEMPO**

O comportamento do rádio no tempo foi analisado com a ajuda do WaveMANAGER/AP. Este programa cria arquivos log que facilitam o nosso trabalho, possibilitando medições a cada 60 segundos.

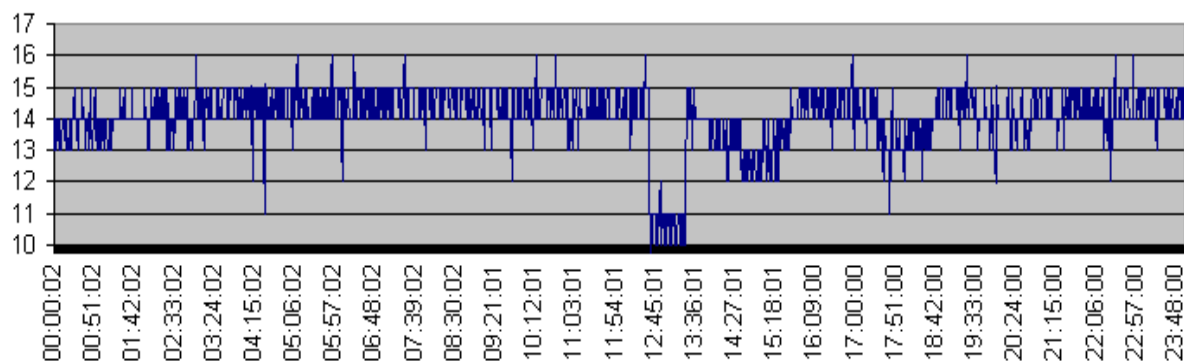
Em primeiro lugar, analisamos o sub-enlace GAT- HUB durante uma semana. Depois, realizamos o mesmo procedimento entre RNP-HUB.

### **4.2.1 – GAT – HUB**

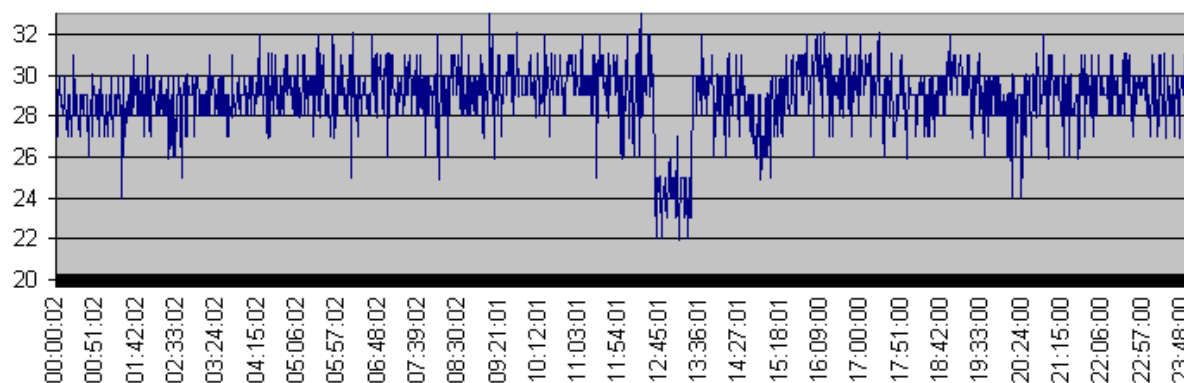
As características do rádio de grande interesse para a realização do nosso projeto são : relação sinal- ruído, potência recebida, ruído e perda de pacote. Conseguimos, então, com o uso do WaveMANAGER , a obtenção de todas elas.

No período de 13 a 20 de setembro de 2001 foram coletados os dados do subenlace GAT – HUB. Nos apêndice A, B e C estão, respectivamente, os gráficos da relação sinal-ruído, do nível do sinal e do ruído versos a hora de cada dia medido.

Na figura 4.7 tem-se a SNR do dia 15 de setembro de 2001.



(a) SNR – GAT



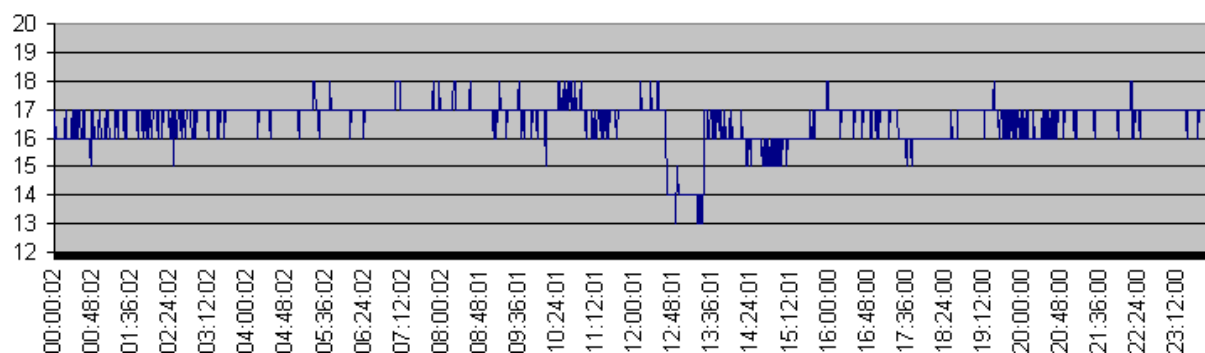
(b) SNR - HUB

Figura 4.7 – Relação sinal ruído em 15/09/2001

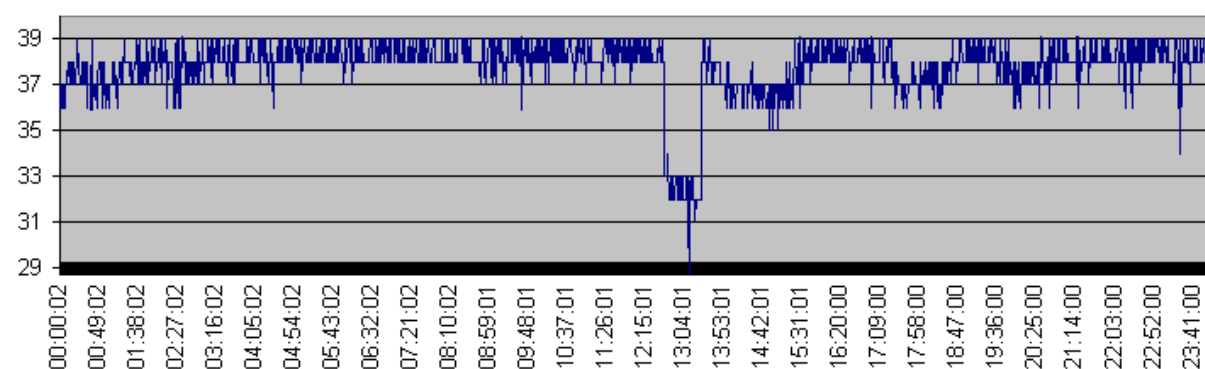
Na figura 4.7 (a) pode-se ver que em media a relação sinal ruído no GAT varia de 12 a 15%, com exceção do horário de 12:00 às 13:30. Esta porcentagem é considerada baixa para o padrão exigido pelo rádio, como já foi dito no item 3.2.

A SNR no HUB está entre 26 e 30 %, fato que pode ser visto na figura 4.7 (b), o que é considerado aceitável.

A figura 4.8 mostra o nível do sinal no dia 15 de setembro de 2001



(a) Nível do sinal no GAT



(b) Nível do sinal no HUB

Figura 4.8 – Nível do sinal no dia 15/09/2001

O nível do sinal no GAT ficou em média de 15 a 18%, como mostra a figura 4.8 (a), já na figura 4.8 (b) pode-se ver que o nível do sinal no HUB foi em média de 36 a 39 %

O gráfico do ruído no HUB está na figura 4.9. Onde pode-se perceber que o nível de ruído varia entre 5 e 10%.

No GAT não houve ruído.

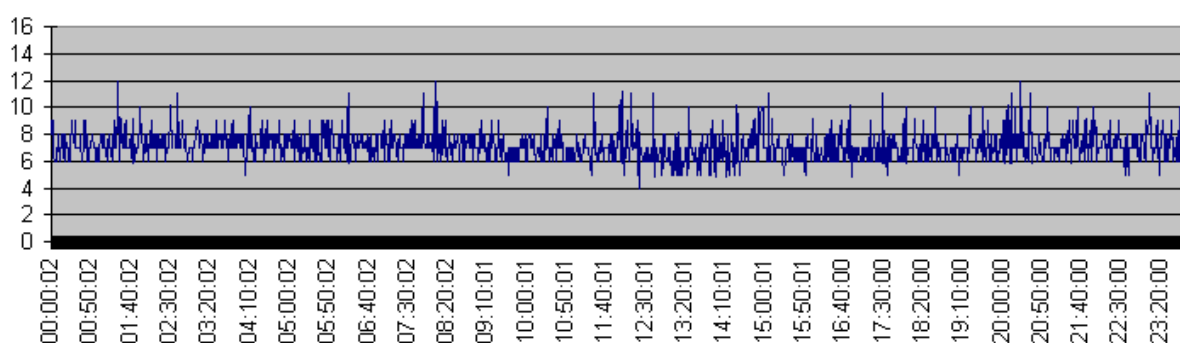


Figura 4.9 – Nível de ruído no HUB no dia 15/09/2001

Para analisar o quanto as variáveis nível do sinal e nível do ruído interferem na relação sinal ruído foi calculada o coeficiente de correlação entre a SNR e o nível de potência e a SNR e o nível de ruído. Os resultados podem ser vistos na tabela 4.3.

Tabela 4.3- Correlação

Parâmetros	Correlação
SNR- potência ( no HUB)	55,07 %
SNR-ruído (no HUB)	-69,46%
SNR- potência ( no GAT)	70,32 %
SNR-ruído ( no GAT)	-3,21 %

No HUB, o coeficiente de correlação mostra que a relação sinal ruído possui uma dependência média da potência. E que essa possui uma forte dependência inversa do ruído, ou seja, o ruído influencia mais a SNR que o nível do sinal neste caso.

No GAT, o coeficiente de correlação maior que 70% indica uma forte influencia da potência sobre a SNR . Porém, esta não é tão influenciada pelo ruído, pois, como foi visto anteriormente, a incidência do mesmo no GAT é mínima.

Foram escolhidos dois dias ( 14 e 15 ) e foi feita uma análise para verificar se os mesmo valores para cada parâmetro ocorrem todos os dias ou seria aleatório. Colocando o dia 14 no eixo y e o dia 15 no x , foi plotado um gráfico de dispersão para cada parâmetro. Os gráficos podem ser vistos nas figuras 4.10 a 4.15

Quanto mais próximos os pontos, menor a variação dos parâmetros de um dia para o outro. E quanto mais disperso, mais o parâmetro variou de um dia para o outro e mais aleatório é o parâmetro.

Observando os gráficos do ruído no GAT e no HUB mostrados nas figuras 4.12 e 4.15 vemos que os dados estão bem dispersos, o que demonstra que o ruído é um fator muito aleatório. Isto ocorre porque ele depende , principalmente, das condições do meio em questão, as quais geralmente são imprevisíveis.

Nos gráficos das figuras 4.10, 4.11, 4.13 e 4.14 vemos que os dados estão bem concentrados, o que nos leva a dizer que o fato é freqüente , ocorrendo diariamente.

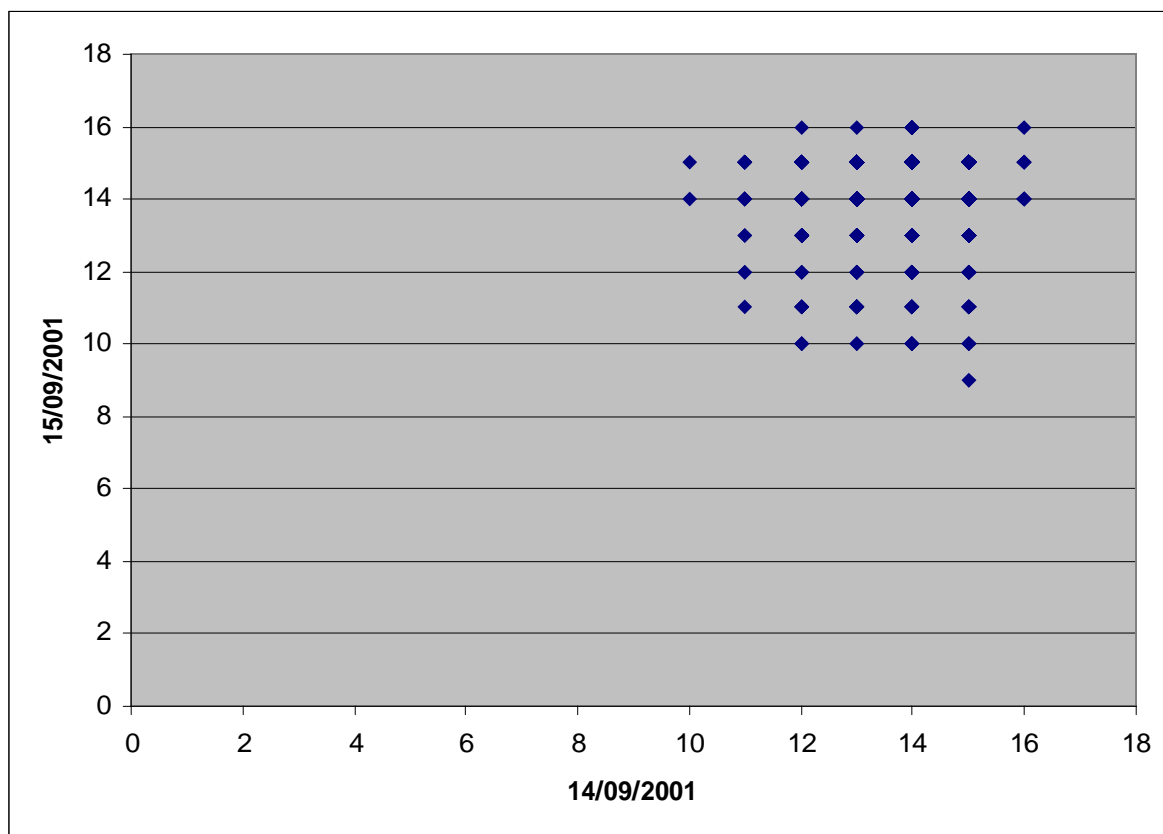


Figura 4.10 - SNR – GAT

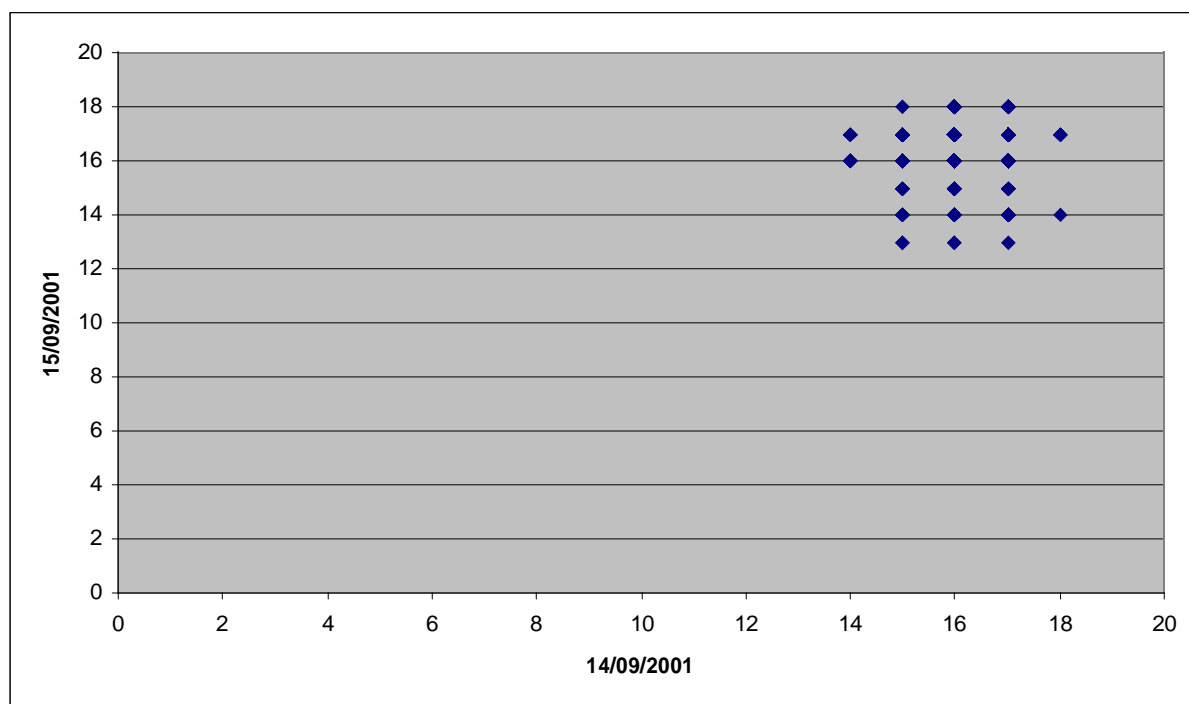


Figura 4.11- Nível do Sinal – GAT

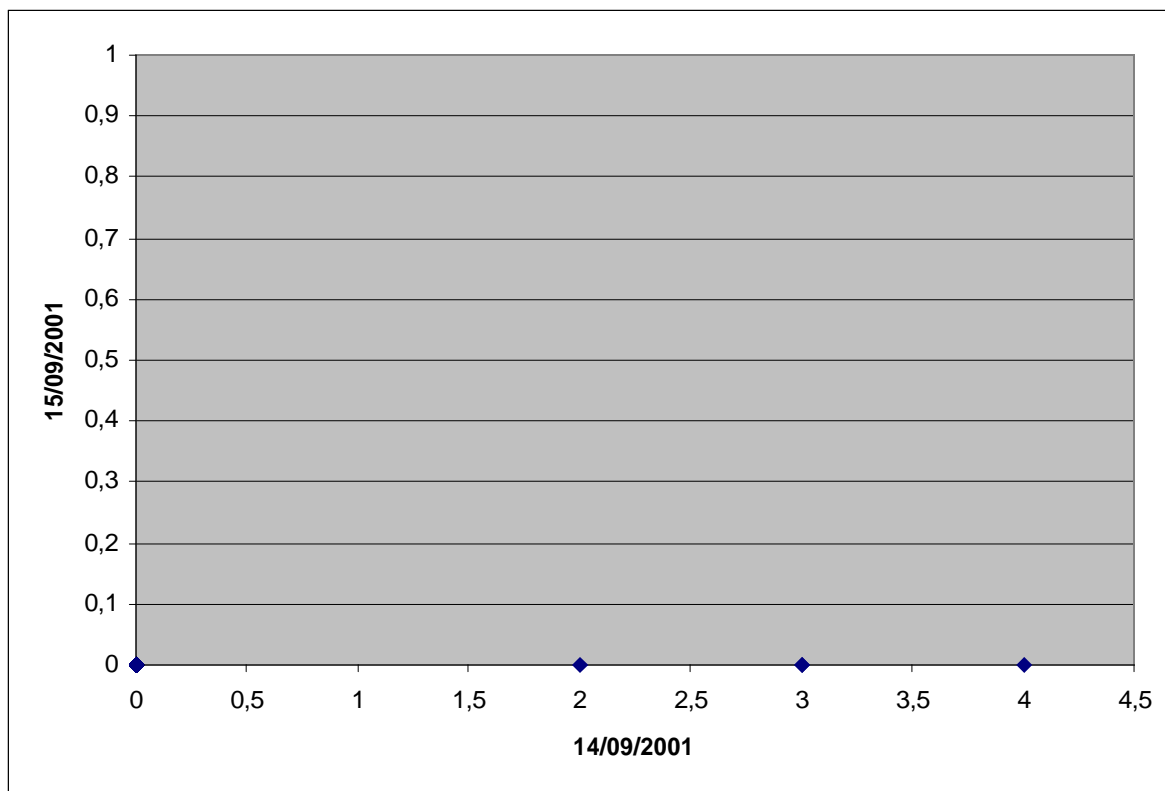


Figura 4.12 - Ruído – GAT

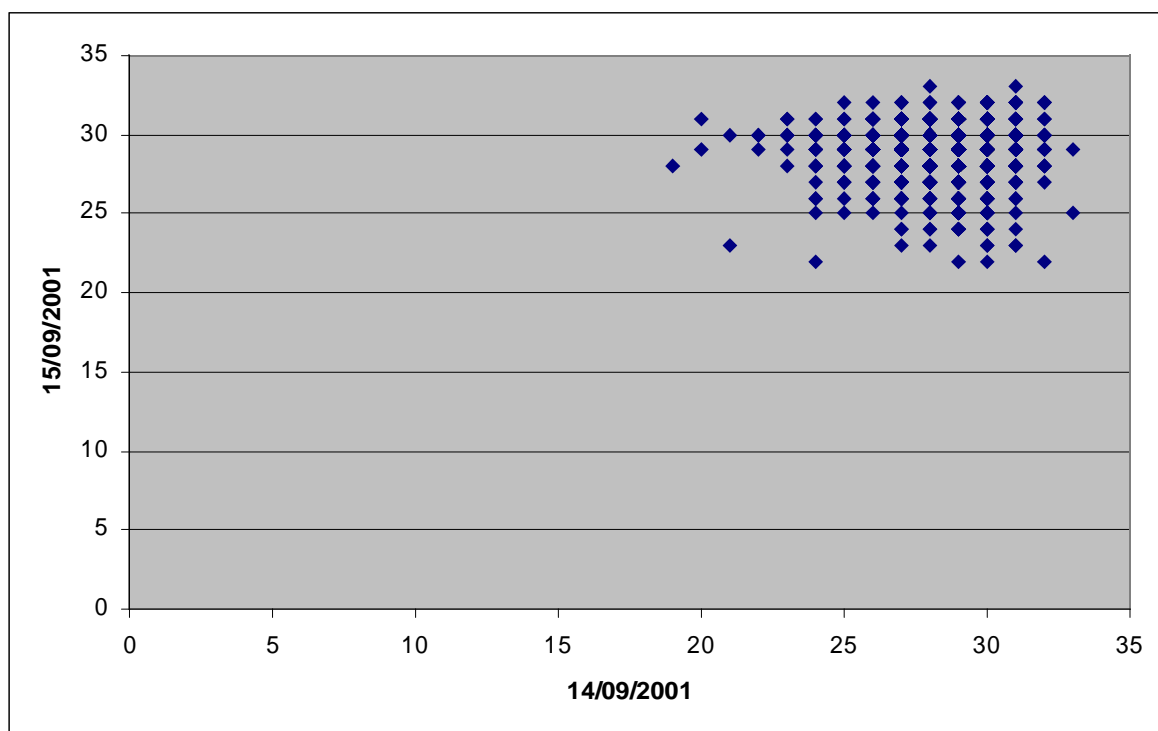


Figura 4.13 - SNR – HUB



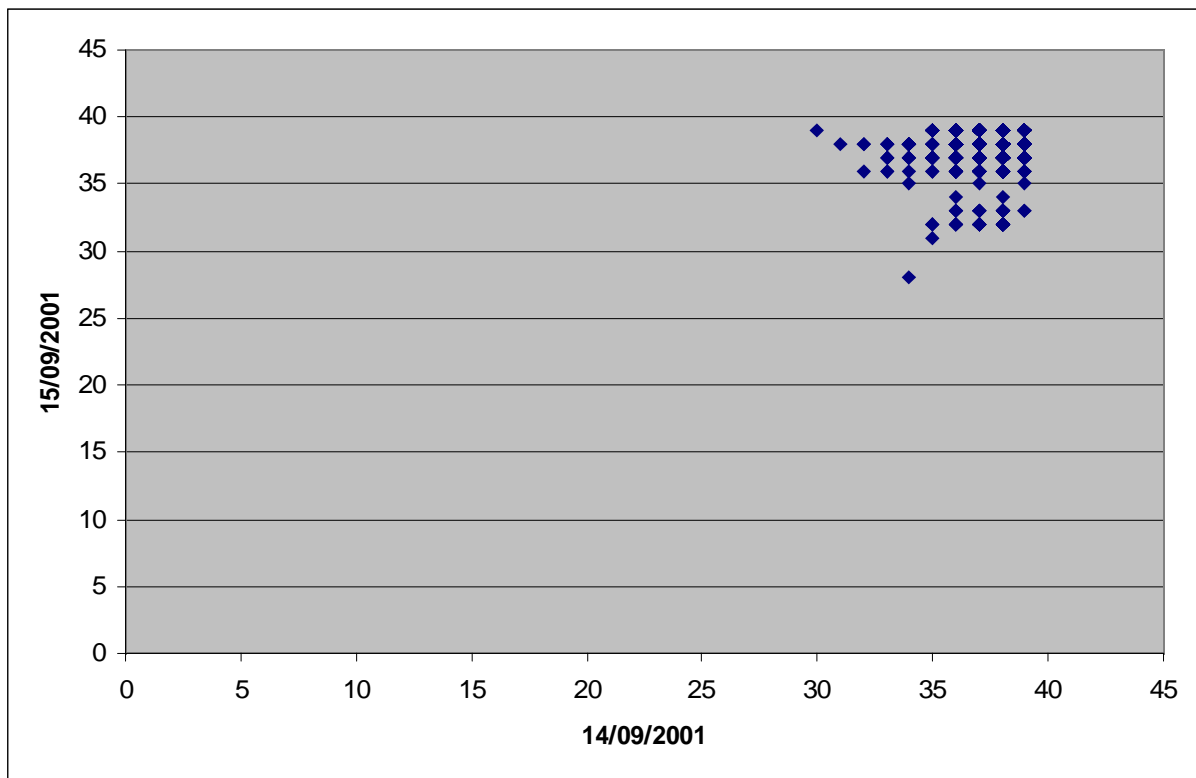


Figura 4.14 - Nível do sinal - HUB

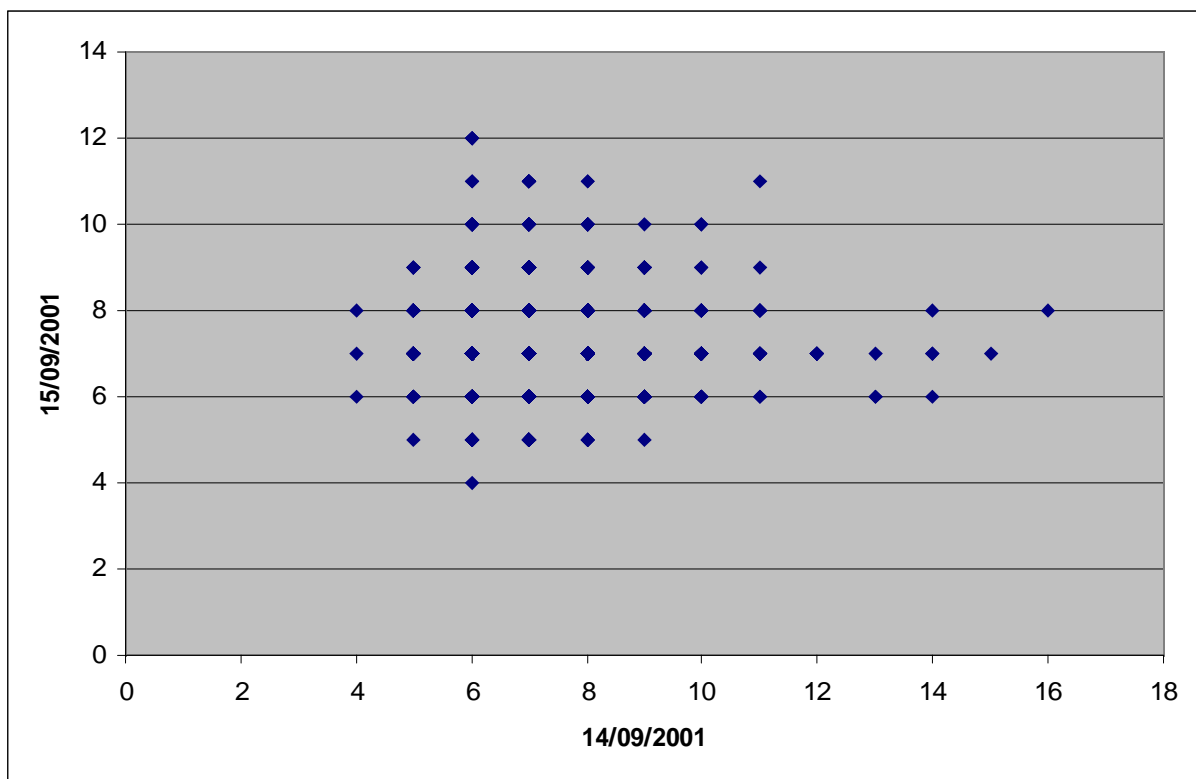


Figura 4.15 - Ruído - HUB

Um outro dado que o programa disponibiliza para analisar é a perda de pacote. A figura 4.16 mostra o gráfico deste parâmetro no dia 15 de setembro de 2001.

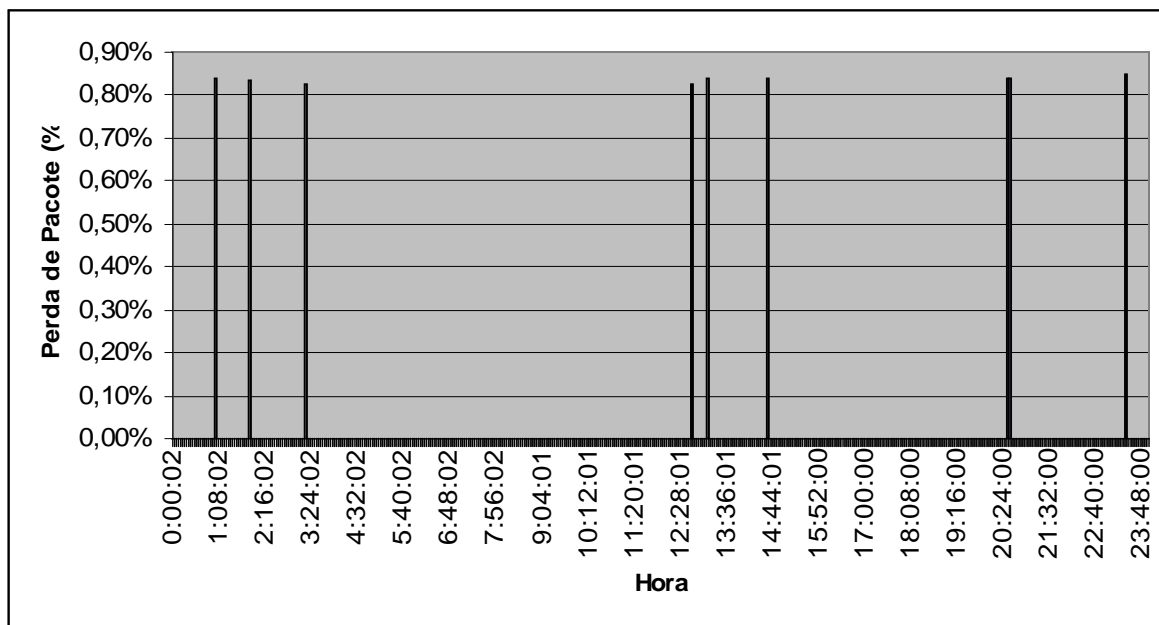


Figura 4.16 – Perda de Pacote

Pode-se ver que a perda de pacote foi mínima e, quando ocorreu foi menor que 1%, ou seja, está dentro dos padrões exigidos para o bom funcionamento do rádio.

#### 4.2.2- RNP- HUB

Infelizmente, por problemas de software, não foi possível realizar medidas para este sub-enlace durante dias consecutivos, mas sim durante uma hora.

Novamente, foram coletados dados sobre a SNR, a potência, o ruído e perda de pacote. As figuras 4.17 a 4.23 mostram os gráficos dos dados obtidos.

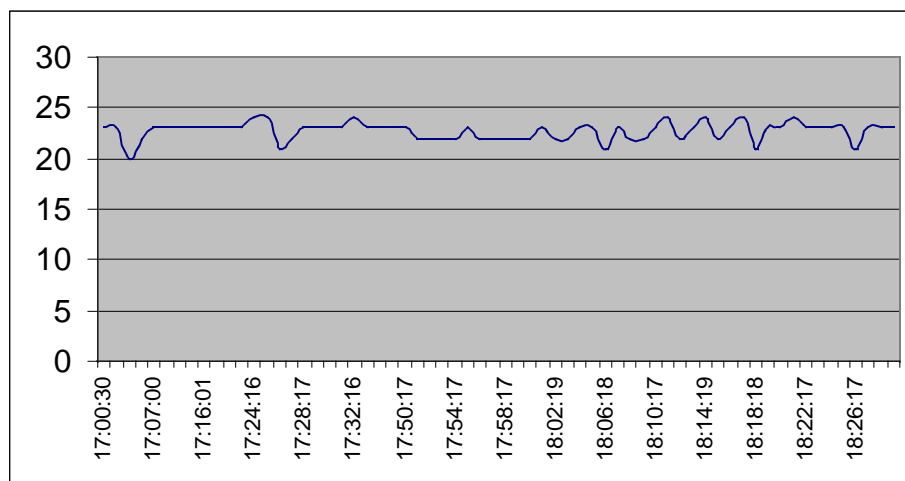


Figura 4.17 – SNR no RNP

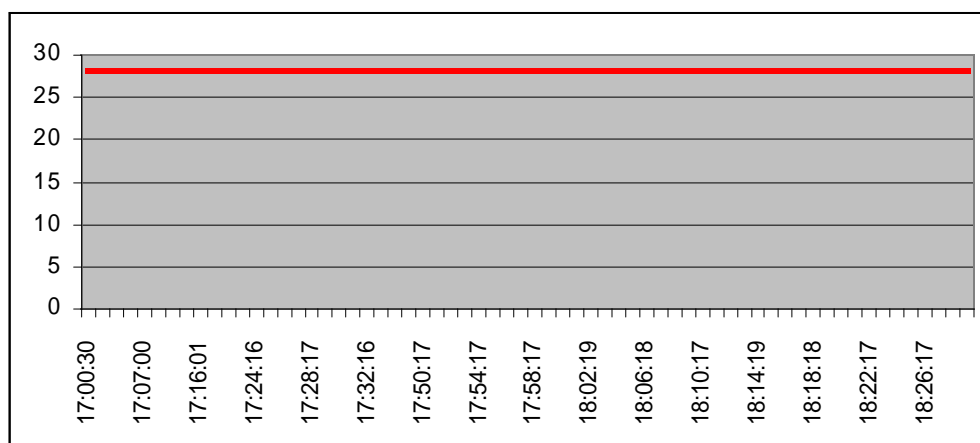
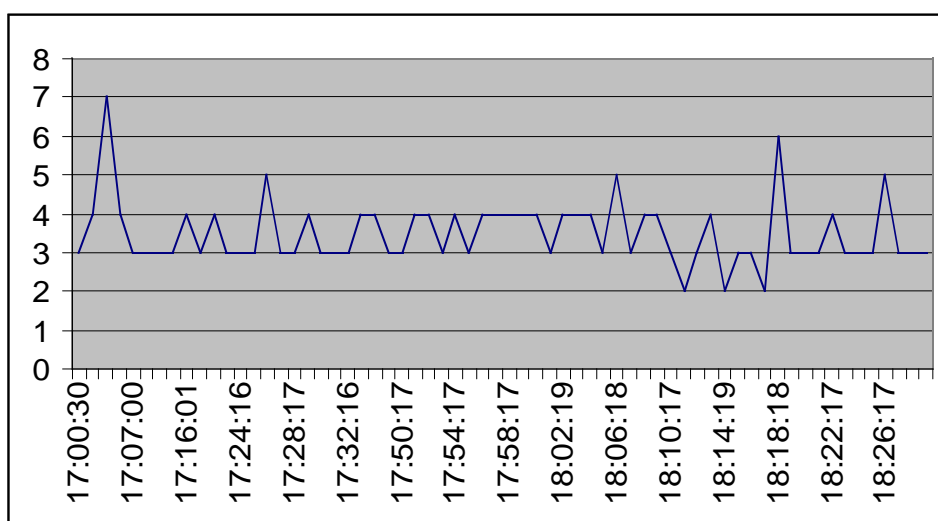


Figura 4.18 – Nível do Sinal no RNP



4.19 – Ruído no RNP

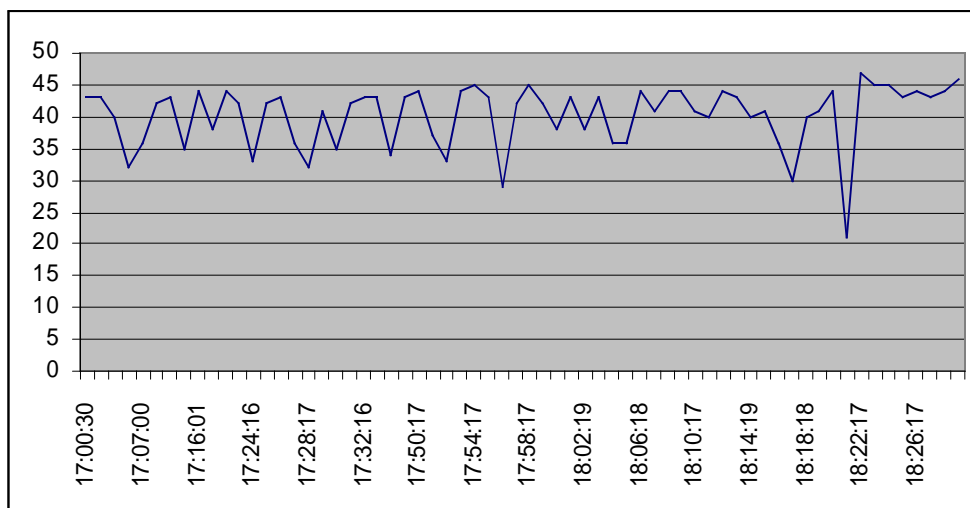


Figura 4.20 – SNR no HUB

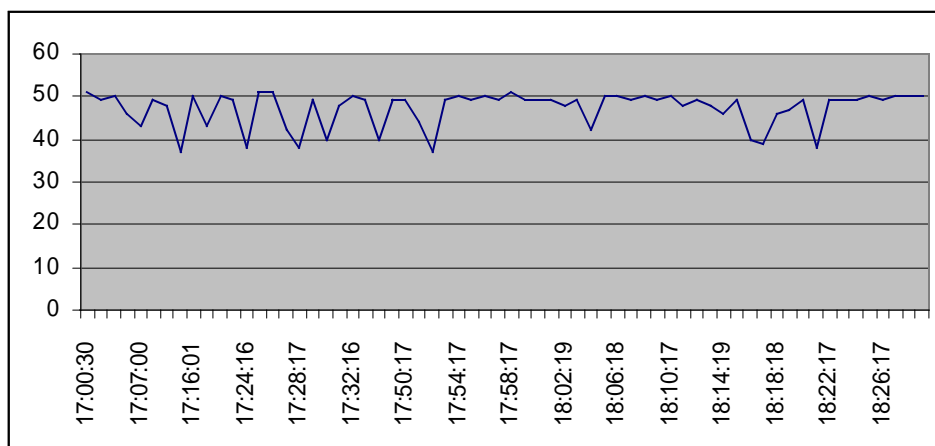
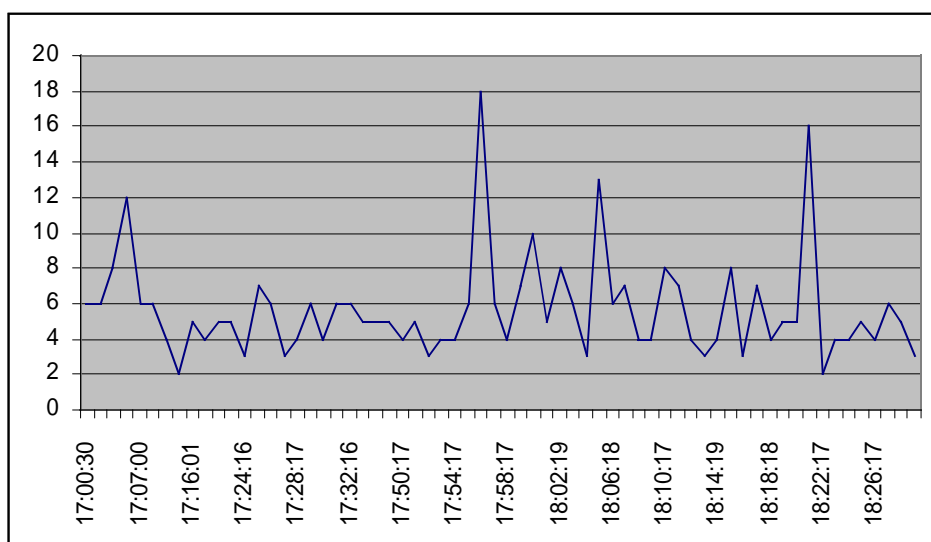


Figura 4.21 – Nível de Potência no HUB



4.22 – Ruído no HUB

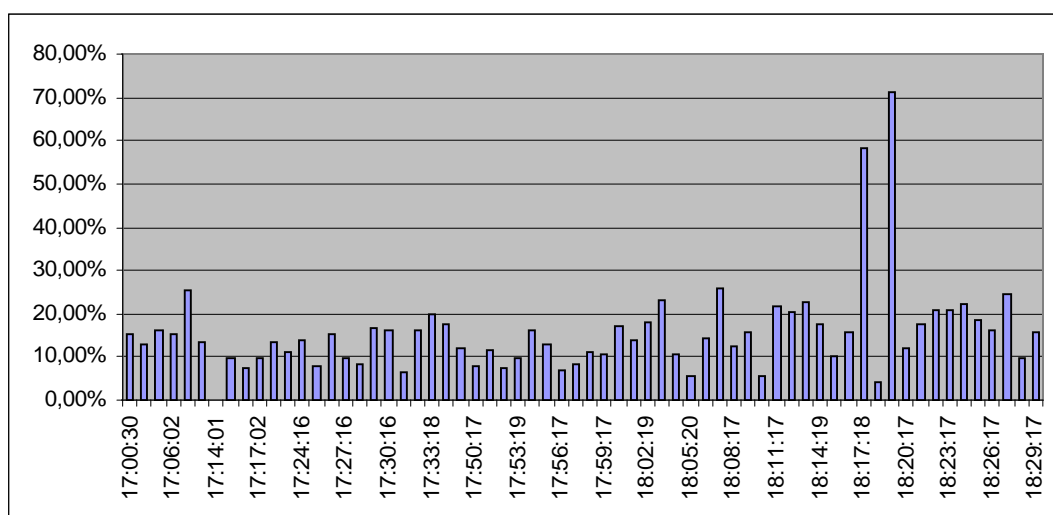


Figura 4.23 – Perda de Pacote

Na figura 4.17 pode-se ver que a SNR no RNP fica entre 20 de 25 %, de acordo com os padrões do rádio não é excelente, mas é aceitável.

Já na figura 4.20, a SNR está entre 35 e 45 %, valores que são maiores que os do RNP e aceitáveis, apesar de não serem ideais.

Um gráfico bastante interessante é o da figura 4.18. Nele, pode-se notar que a potência do RNP é constante. Isto pode significar que há um outro usuário na rede. A presença de ruído tanto no RNP quanto no HUB constata ainda mais este fator, como pode-se observar nas figuras 4.19 e 4.22.

Pela figura 4.23 vê-se que a perda de pacote é muito alta e isto em apenas uma hora. Há aqui um grande disparate em relação à perda no GAT-HUB, que foi feita durante uma semana e apresentou um valor bem menor.

### 4.3 - CONCLUSÕES DAS ANÁLISES

Pode-se concluir que no enlace onde o coeficiente de reflexão é maior ( RNP-HUB) a perda de pacote também é mais elevada. Isto pode estar ocorrendo devido ao próprio coeficiente ou por causa de possíveis interferências e/ou usuários.

Outro ponto analisado foi a relação sinal- ruído no GAT – HUB, a qual está abaixo do aceitável pelo rádio. Com a análise do coeficiente de correlação foi visto que essa esta sendo fortemente influencia pelo nível de potência, o qual também está baixo.



## CAPÍTULO 5 – SOLUÇÕES

Como foi visto no capítulo anterior, o enlace entre o RNP – HUB estava sendo afetado pelo alto coeficiente de reflexão das antenas no canal 11, pela alta perda de pacote e por interferências. Já entre o GAT-HUB, o nível de potência está inferior ao aceitado pelo rádio.

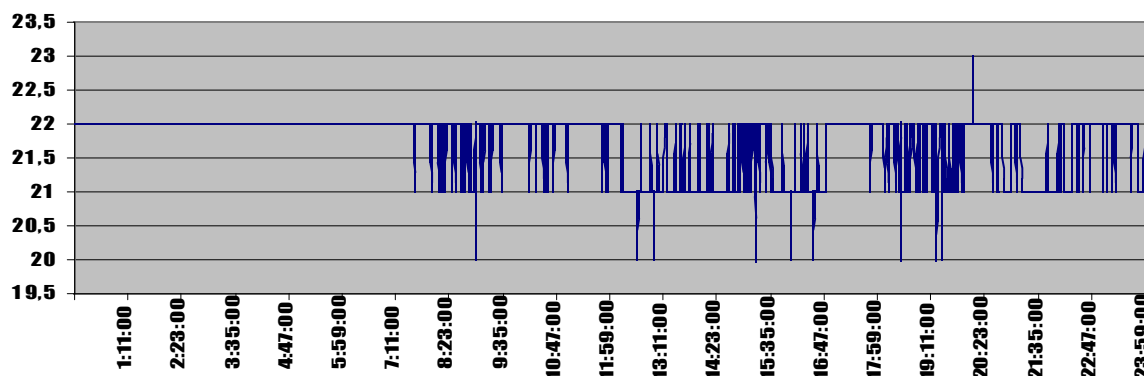
A solução apropriada para tal caso foi uma mudança de frequência. Sabemos que a distância RNP-HUB é maior que GAT-HUB. Neste último estava sendo usada a frequência no canal 3(frequência: 2,422 GHz). Assim, este foi mudado para o canal 7(frequência: 2,442 GHz), o qual é próximo ao terceiro pico de menor VSWR como pode ser visto na figura 4.6(pág.: 23). E o outro sub-enlace foi colocado no canal 3, garantindo uma menor interferência e uma menor VSWR, já que este é próximo ao 2º pico de menor coeficiente de reflexão.

Outra mudança feita foi restringir os protocolos usados na rede. Permitimos somente o protocolo IP e IP-ARP. Evitando o tráfego excessivo causado por *overhead*.

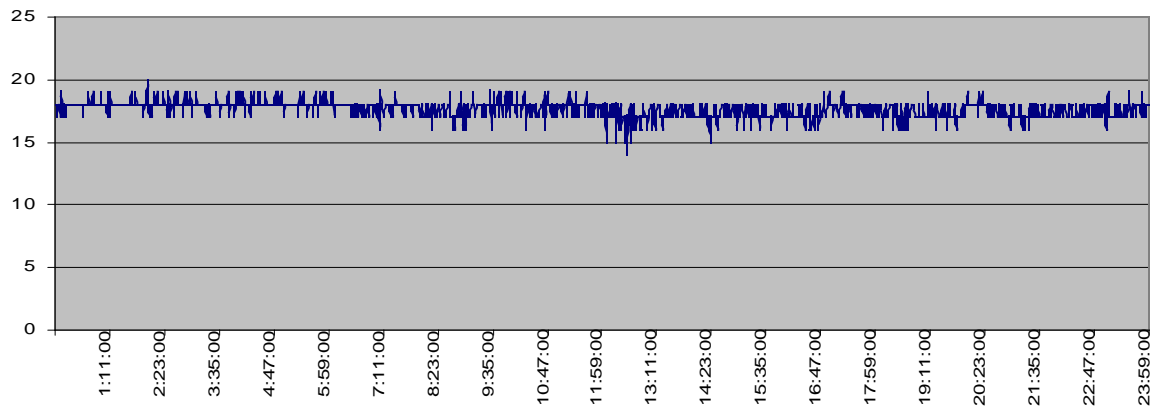
Como último artifício, fechou-se a rede de forma a restringir o acesso wireless para aquelas estações que não foram configuradas. Com este procedimento, evitamos que um usuário aleatório utilize a nossa rede.

### 5.1- RESULTADO

O gráfico da figura 5.1(a) demonstra que houve uma pequena melhora na potência do sinal no GAT que está acima de 20% que antes era de 16 a 17 %. Este fato resultou numa melhora da SNR que antes era de 12 a 15 % e agora está entre 17 e 20%, como mostra a figura 5.1 (b).



(a) Nível de potência no GAT



(b) SNR no GAT

Figura 5.1 – Nível de sinal e SNR no GAT

No HUB vê-se uma melhora na SNR, que antes estava entre 35 e 39% e agora é maior que 40%.

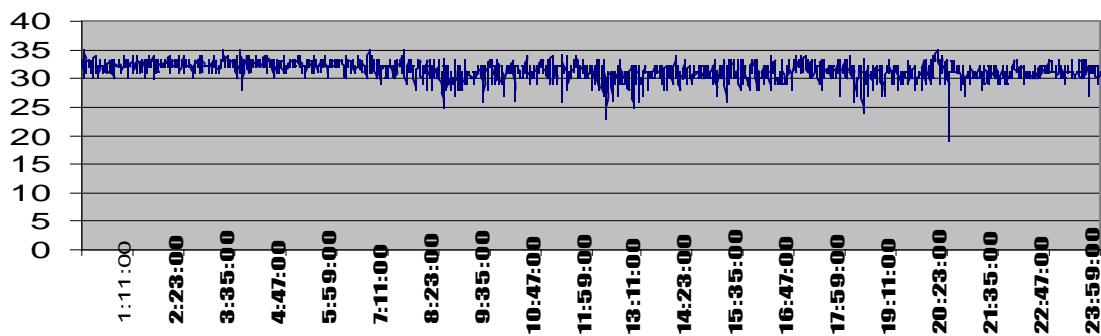


Figura 5.2 – Relação sinal-Ruído no HUB

Todos os gráficos dos parâmetros medidos do enlace GAT –HUB estão no apêndice D.

Com relação ao subenlace RNP-HUB a perda de pacote esta abaixo de 1%, ou seja, bem menor que os 20 % antes encontrados.

Foi feita um outra medida com o programa sniffer. Com ele foi medida a velocidade da rede com a utilização de 100%. Foi obtido a velocidade de 12 Mbits/s



## CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO

Neste projeto foi caracterizado o enlace de microondas GAT-RNP em relação ao seu espectro e ao seu comportamento no tempo .

Com a análise do espectro foram obtidos os seguintes parâmetros: potência, banda de frequência e coeficiente de reflexão das antenas. Esta análise levou à descoberta de que o subenlace RNP –HUB estava funcionando em uma frequência, na qual a antena possui um alto coeficiente de reflexão.

A análise do comportamento no tempo foi feita com o auxílio do programa WaveMANAGER/AP. Foi analisado como os parâmetros relação sinal-ruído, nível do sinal, ruído e perda de pacote variam com o tempo. Com estas medidas verificou-se que o subenlace RNP-HUB possuía uma alta perda de pacote e que o nível de potência do GAT – HUB estava abaixo do nível aceita pelo rádio.

Os problemas da rede foram solucionados fechando a rede para o acesso externo, mudando as frequências para outras com VSWR mais baixa e filtramos os protocolos não utilizados para evitar o tráfego redundante causado pelo *overhead*.

O enlace está transmitindo a 12 Mbps com uma utilização de 100 %. Teríamos algumas sugestões para uma melhor eficiência : como a VSWR está em torno de 2,0 e a potência recebida é menor que 11 %, seria adequado fazer alguma estrutura de casamento ou trocar a antena para que este parâmetro ficasse abaixo de 1,3.

Com este projeto percebeu-se a importância da caracterização de enlace de microondas, pois esta permite não só identificar os problemas já existentes, mas também conhecer o enlace e com isso permitir a visualização de futuros problemas e a busca por uma melhor performance.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] WaveMANAGER IEEE – Users's Guide. Lucent Technologies – Bell Labs Inovations, 1998.
- [2] WavePOINT -II – User'S Guide Lucent Technologies – Bell Labs Inovations, 1998.
- [3] Aplication Note 150 – Spectrum Analysis Basics – Hewlet Packard, 1989.
- [4] POZAR, Microwave Engeneering – JOHN WILEY & SONS
- [5] Cleidimar Pereira, Enlace de Microondas ENE-RNP 10Mbps – UnB, 2000.
- [6] Notas de Aula do Curso Microondas 1, 2001.
- [7] Bussab, Wilton. Estatística Básica – 4ª edição – São Paulo: Atual, 1987.