

LILIAN ROSANA KREMER SCHULTZ

**ESTUDO DAS ALTERNATIVAS DE COMUNICAÇÃO PARA A POPULAÇÃO
DA REGIÃO RURAL DO INTERIOR DO ESTADO DO PARANÁ**

**Dissertação apresentada como requisito
parcial à obtenção do grau de Mestre em
Telecomunicações, no programa de Pós-
Graduação em Engenharia Elétrica, Setor
de Tecnologia, Universidade Federal do
Paraná.**

**Orientador: Horácio Tertuliano Filho,
Ph.D.**

ESTUDO DAS ALTERNATIVAS DE COMUNICAÇÃO PARA A POPULAÇÃO DA REGIÃO RURAL DO INTERIOR DO ESTADO DO PARANÁ

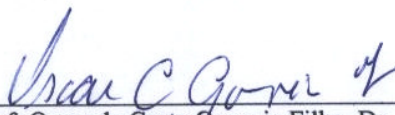
LILIAN ROSANA KREMER SCHULTZ

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do

Paraná

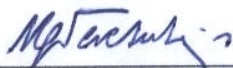


Prof. Horácio Tertuliano dos Santos Filho, Ph.D.
Orientador

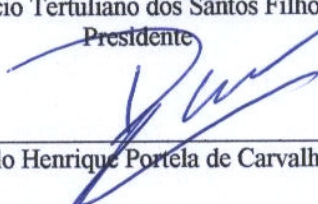


Prof. Oscar da Costa Gouveia Filho, Dr.
Coordenador do Programa em Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

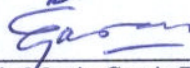
Banca Examinadora



Prof. Horácio Tertuliano dos Santos Filho, Ph.D.
Presidente



Prof. Paulo Henrique Portela de Carvalho, Dr.



Prof. Evélio Martin Garcia Fernández, Dr.



Prof. Ewaldo Luiz de Mattos Mehl, Dr.

Curitiba, 12 de novembro de 2004.

**Dedico este trabalho ao meu esposo, pelas diferentes contribuições, carinho e
compreensão.**

Agradecimentos

Meu especial agradecimento a Deus, por ter permitido que eu alcançasse mais esta etapa de minha vida.

Agradeço ao professor e orientador Horácio Tertuliano Filho, pelo acompanhamento e revisão de estudo, pelas críticas que propiciaram um maior aprofundamento nas questões polêmicas da pesquisa.

A SOCIESC, na pessoa do Professor Sandro Murilo dos Santos, por acreditar na minha capacidade.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	v
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	viii
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
INTRODUÇÃO.....	1

CAPÍTULO 1 – A TELEFONIA RURAL NO PARANÁ: ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS

1.1. INTRODUÇÃO.....	2
1.2. TELEFONIA RURAL VIA CABO.....	4
1.3. TRANSMISSÃO VIA RÁDIO MONOCANAL.....	4
1.3.1. Como funciona	5
1.3.2. Como se compõem.....	5
1.4. TELEFONIA RURAL VIA CELULAR	6
1.4.1. Como se compõem.....	7
1.4.2. Instalação.....	7
1.4.3. Tipos de Antenas Fixas para Celulares	8
1.5. TELEFONIA RURAL WLL (Wireless Local Loop)	11
1.5.1. Como funciona	11
1.5.2. Como se compõem.....	12
1.5.3. Tipos de Tecnologias utilizadas em WLL.....	13
1.6. TELEFONIA RURAL VIA SATÉLITE.....	14
1.6.1. Como se compõem.....	14
1.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	16
1.8. REFERÊNCIAS.....	16

CAPÍTULO 2 – ANÁLISE DOS SISTEMAS DE TELEFONIA RURAL NO PARANÁ

2.1. INTRODUÇÃO.....	18
2.2. TELEFONIA RURAL VIA CABO.....	18
2.2.1. Vantagens do Sistema via Cabo.....	19

2.2.2. Desvantagens do Sistema via Cabo	19
2.3. TRANSMISSÃO VIA RÁDIO MONOCANAL.....	19
2.3.1. Vantagens do Sistema via Rádio Monocanal.....	19
2.3.2. Desvantagens do Sistema via Rádio Monocanal.....	20
2.4. TELEFONIA RURAL VIA CELULAR	20
2.4.1. Vantagens do Sistema Celular	20
2.4.2. Desvantagens do Sistema Celular.....	21
2.5. TELEFONIA RURAL WLL (<i>Wireless Local Loop</i>).....	21
2.2.1. Vantagens do Sistema WLL (<i>Wireless Local Loop</i>)	21
2.2.2. Desvantagens do Sistema WLL (<i>Wireless Local Loop</i>).....	22
2.6. TELEFONIA RURAL DE GRANDE PORTE	23
2.2.1. Vantagens do Sistema de Grande Porte.....	23
2.2.2. Desvantagens do Sistema de Grande Porte.....	24
2.7. COMPARATIVO DE CUSTO DE IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS.....	24
2.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
2.9. REFERÊNCIAS.....	26

CAPÍTULO 3 – ANÁLISE DOS REPETIDORES UTILIZADOS NOS SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES

3.1. INTRODUÇÃO	27
3.2. CARACTERÍSTICAS DE REPETIDORES	28
3.2.1. Classificação quanto à filtragem	29
3.2.1.1. Repetidor de faixa larga	29
3.2.1.2. Repetidores Seletivos em Banda	29
3.2.1.3. Repetidores Seletivos em Canal	30
3.2.2. Classificação quanto à transmissão.....	30
3.2.2.1. Repetidores de mesma faixa.....	30
3.2.2.2. Repetidores de faixa deslocada	31
3.2.2.3. Repetidores Ópticos.....	31
3.3. ESCOLHA DO REPETIDOR	32
3.3.1. Isolação entre Antenas do Repetidor	34
3.3.2. Efeitos de Saturação do Amplificador	35
3.3.3. Parâmetros Típicos de Repetidores	37
3.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
3.5. REFERÊNCIAS.....	38

CAPÍTULO 4 – PROPOSTA DE UM PROJETO DE TELEFONIA MÓVEL RURAL PARA A REGIÃO DE GUARAPUAVA

4.1. INTRODUÇÃO	40
4.2. FLUXOGRAMA PARA O DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	40
4.3. ESCOLHA DO LOCAL PARA O DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	42
4.4. ANÁLISE DA VIABILIDADE	42
4.5. ESTUDO DA MORFOLOGIA E TOPOGRAFIA.....	43
4.6. ESTUDO DAS TECNOLOGIAS	43
4.7. DESENVOLVIMENTO DOS PROTÓTIPOS.....	44
4.7.1. Protótipo de um Repetidor para ser Utilizado com Tecnologia CDMA	44
4.7.1.1. Diagrama de Blocos do Repetidor.....	44
4.7.1.2. Especificações	45
4.7.1.3. Escolha do Amplificador.....	45
4.7.1.4. Escolha das Antenas	46
4.7.1.5. Circuladores e/ou Duplexadores	47
4.7.1.6. Filtros Passa-Faixa	47
4.7.1.7. Esquema Final do Amplificador.....	48
4.7.2. Protótipo de um Repetidor para ser Utilizado com Tecnologia CDMA/TDMA	50
4.7.2.1. Diagrama de Blocos do Repetidor.....	50
4.7.2.2. Especificações	51
4.7.2.3. Escolha do Amplificador.....	51
4.7.2.4. Escolha das Antenas	52
4.7.2.5. Circuladores e/ou Duplexadores	53
4.7.2.6. Filtros Passa-Faixa	53
4.7.2.7. Esquema Final do Amplificador.....	53
4.8. TESTES NO SISTEMA	54
4.9. INSTALAÇÃO PRÁTICA, TESTES E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	54
4.10. CUSTO DOS PROTÓTIPOS.....	54
4.11. CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
4.12. REFERÊNCIAS.....	56

CAPÍTULO 5 – TESTES, MEDIÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1. INTRODUÇÃO	57
5.2. TESTES E MEDIÇÕES.....	57

5.2.1. Análise dos Sinais para o Repetidor com Tecnologia CDMA.....	58
5.2.1.1. Metodologia para a aquisição de sinais.....	58
5.2.1.2. Faixa de sinal analisada.....	59
5.2.1.3. Testes com o Repetidor Utilizando Tecnologia CDMA.....	60
5.2.2. Análise dos Sinais para o Repetidor com Tecnologia CDMA/TDMA.....	64
5.2.2.1. Metodologia para a aquisição de sinais.....	65
5.2.2.2. Faixa de sinal analisada.....	66
5.2.2.3. Testes com o Repetidor Utilizando Tecnologia CDMA/TDMA.....	66
5.3. INVERSOR CC/CA.....	69
5.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
5.5. REFERÊNCIAS.....	71
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	72
REFERÊNCIAS.....	74
ANEXOS.....	78

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1 – A TELEFONIA RURAL NO PARANÁ: ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS

Figura 1.1 – Telefonia Rural.....	2
Figura 1.2 – Modelos de Telefonia Rural.....	3
Figura 1.3 – Transmissão via Cabo.....	4
Figura 1.4 – Transmissão via Rádio Monocanal.....	5
Figura 1.5 – Telefonia Rural via Celular	6
Figura 1.6 – Modelo de Antena para Telefonia Rural via Celular.....	7
Figura 1.7 – Kit de Instalação.....	8
Figura 1.8 – Antena Celular – 07 Elementos Direcional	9
Figura 1.9 – Antena Celular – 09 Elementos Direcional	9
Figura 1.10 – Antena Celular – 19 Elementos Direcional	10
Figura 1.11 – Antena Celular Parabólica.....	10
Figura 1.12 – Aparelho WLL residencial.....	12
Figura 1.13 – Esquema de um Sistema WLL	13
Figura 1.14 – Telefonia Rural Via Satélite	14

CAPÍTULO 3 – ANÁLISE DOS REPETIDORES UTILIZADOS NOS SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES

Figura 3.1 – Esquema básico de um Sistema com Repetidor	27
Figura 3.2 – Esquema básico de um repetidor óptico.....	31
Figura 3.3 – Esquema Básico do Repetidor de Banda Seletiva.....	33
Figura 3.4 – Diagrama de Blocos do Repetidor de Banda Seletiva	33
Figura 3.5 - Efeito de realimentação em repetidores	34

CAPÍTULO 4 – PROPOSTA DE UM PROJETO DE TELEFONIA MÓVEL RURAL PARA A REGIÃO DE GUARAPUAVA

Figura 4.1 – Fluxograma para Desenvolvimento do Projeto	41
Figura 4.2 – Diagrama de Blocos do Repetidor de Celular para CDMA	44

Figura 4.3 – Amplificador BGF802-20 para tecnologia CDMA.....	45
Figura 4.4 – Antena CF – 919 – Servidora	46
Figura 4.5 – Antena CF – 915 – Doadora.....	46
Figura 4.6 – Diagrama Esquemático do Filtro Passa-Faixa.....	48
Figura 4.7 – Esquema Elétrico Final do Amplificador para CDMA.....	49
Figura 4.8 – Esquema Final do Repetidor para CDMA.....	49
Figura 4.9 – Diagrama de Blocos do Repetidor de Celular para CDMA/TDMA	50
Figura 4.10 – Amplificador MHL9838 para tecnologia CDMA/TDMA.....	52
Figura 4.11 – Esquema Final do Repetidor para CDMA/TDMA.....	54

CAPÍTULO 5 – TESTES, MEDIÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Figura 5.1 – Vista Frontal do Analisador de Sinais	58
Figura 5.2 – Sistema de Captura e Análise de Sinais.....	59
Figura 5.3 – Sinal com Repetidor CDMA Desligado	60
Figura 5.4 – Sinal Capturado pela Câmera Fotográfica.....	60
Figura 5.5 – Sinal com o Repetidor CDMA.....	61
Figura 5.6 – Estabilização do Sinal (5 min)	62
Figura 5.7 – Estabilização do Sinal (15 min)	62
Figura 5.8 – Esquema de Ligações entre Aparelhos Telefônicos	63
Figura 5.9 – Repetidor CDMA Desligado	64
Figura 5.10 – Sistema de Captura e Análise de Sinais.....	65
Figura 5.11 – Repetidor CDMA/TDMA Desligado.....	66
Figura 5.12 – Sinal com Repetidor CDMA/TDMA.....	67
Figura 5.13 – Instabilidade do Sinal do Repetidor CDMA/TDMA.....	67
Figura 5.14 – Sistema de Ligações entre Aparelhos Telefônicos	68
Figura 5.15 – Diagrama Elétrico do Circuito.....	70

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 – A TELEFONIA RURAL NO PARANÁ: ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS

Tabela 1.1 – Faixas de Freqüências para Comunicação via Satélite 15

CAPÍTULO 2 – ANÁLISE DOS SISTEMAS DE TELEFONIA RURAL NO PARANÁ

Tabela 2.1 – Comparativo de Custo de Implantação dos Sistemas de Comunicação 24

CAPÍTULO 3 – ANÁLISE DOS REPETIDORES UTILIZADOS NOS SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES

Tabela 3.1 – Parâmetros Típicos dos Repetidores..... 37

CAPÍTULO 4 – PROPOSTA DE UM PROJETO DE TELEFONIA MÓVEL RURAL PARA A REGIÃO DE GUARAPUAVA

Tabela 4.1 – Custo do Projeto para o Protótipo com Tecnologia CDMA 55

Tabela 4.2 – Custo do Projeto para o Protótipo com Tecnologia CDMA/TDMA 55

CAPÍTULO 5 – TESTES, MEDIÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Tabela 5.1 – Número de Ligações entre os Aparelhos Telefônicos (CDMA) 63

Tabela 5.2 – Número de Ligações entre os Aparelhos Telefônicos (CDMA/TDMA) 68

Tabela 5.3 – Consumo de Corrente para o Sistema CDMA 69

Tabela 5.4 – Consumo de Corrente para o Sistema CDMA/TDMA 69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPÍTULO 1 – A TELEFONIA RURAL NO PARANÁ: ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS

ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações

ERB – Estação Rádio Base

GSM – *Global System for Mobile Communications*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ISDN – *Integrated Services Digital Network*

OSI – *Open System Interconnection*

PABX – Central Automática de Comunicação Interna e Externa

RF – Rádio Frequência

SIM Card – *Subscriber Identity Module Card*

CAPÍTULO 2 – ANÁLISE DOS SISTEMAS DE TELEFONIA RURAL NO PARANÁ

ADSL – *Asynchronous Digital Subscriber Line*

AMPS – *Advanced Mobile Phone System*

CDMA – *Code Division Multiple Access*

CNA – Confederação Nacional da Agricultura

FDMA – *Frequency Division Multiple Access*

MO-SMS – *Mobile Originated Short Message Service*

MS – *Mobile Station*

SMS – *Short Message Service*

TDMA – *Time Division Multiple Access*

TIA – *Telecommunications Industry Association*

WLL – *Wireless Local Loop*

CAPÍTULO 3 – ANÁLISE DOS REPETIDORES UTILIZADOS NOS SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES

AM – Amplitude Modulada

BCCH – *Broadcast Control Channel*

dB – Unidade logarítmica padrão utilizada para quantificar ganhos e perdas de potência em dispositivos de entrada e de saída. Decibéis

dBi – Medida em dB relativa a uma fonte isotrópica

dBm – Medida em dB relativa

GPS – *Global Position System*

PA – *Power Amplifier*

PM – *Phase Modulation*

CAPÍTULO 4 – PROPOSTA DE UM PROJETO DE TELEFONIA MÓVEL RURAL PARA A REGIÃO DE GUARAPUAVA

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

ERB – Estação Rádio Base

GSM – *Global System for Mobile Communications*

NW – Noroeste

NW-SE – Noroeste - Sudeste

S – Sul

SW – Sudoeste

SWR – *Standing Wave Ratio*

TIM – *Telecom Italy Mobile*

W – Oeste

CAPÍTULO 5 – TESTES, MEDIÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

CDMA – *Code Division Multiple Access*

ERB – Estação Rádio Base

RF – Rádio Frequência

TC1 – Telefone Celular 1

TC2 – Telefone Celular 2

TDMA – *Time Division Multiple Access*

TF – Telefone Fixo

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise e o desenvolvimento de um sistema de mini repetidores para telefonia móvel rural. O projeto mostra a discussão e testes de um Repetidor de Celular. A aplicação principal do repetidor é para situações onde a qualidade do sinal entre a estação rádio base e o usuário é fraco e/ou ocorrem interrupções na comunicação. Interrupções no sinal em chamadas telefônicas resultam em perdas de receita por prestadoras de serviço bem como insatisfação dos clientes. O Repetidor Celular é constituído de antenas para recepção e transmissão do sinal, dois amplificadores para a faixa de frequências de 824-894MHz (padrão de frequências para telefonia celular no Brasil), e um circuito de acoplamento. Este documento discute o processo do projeto e a seleção de componentes e a dificuldade de obtenção do circuito de acoplamento necessário ao repetidor. O projeto final do repetidor é então detalhado, bem como, os procedimentos de testes para o amplificador, antenas, e o sistema inteiro. Também são incluídas uma análise de custo e recomendações para melhorias futuras do Repetidor de Celular.

Palavras-chave: Celular, Repetidor, Amplificador.

ABSTRACT

This work introduces the analysis and the development of a system of cellular mini-repeater for rural communication. The design show discuss and testing of a Cellular Repeater. The intended application of repeater is for situations where signal quality between the base station and the user is poor and communication fails. Drops in phone calls result in loss of revenues for cellular providers, as well a poor service and customer dissatisfaction. The Cellular Repeater consists of receiving and transmitting antennas, two 824-894MHz amplifiers, and coupling circuitry. This paper discusses the design process, beginning with component selection and difficulty in obtaining the coupling circuitry necessary to complete the Repeater. The final design of repeater is then detailed as well as design verification and test procedures for the amplifier, antennas, and the entire system. A cost analysis and recommendations for future improvements of the Cellular Repeater are also included.

Key words: Cellular, Repeater, Amplifier.

INTRODUÇÃO

O crescimento na indústria de comunicações móveis tem surpreendido nos últimos anos. Cada vez mais pessoas estão usando telefones celulares, e os provedores de serviços estão ampliando rapidamente suas redes para incluir todas as áreas deste mercado.

A cobertura nem sempre é perfeita. Frequentemente, existem áreas isoladas (dentro de fronteiras geográficas) das redes de serviços onde pessoas não podem conversar tranquilamente em seus telefones celulares sem que suas ligações sejam interrompidas. Estas áreas podem estar posicionadas nos limites de uma célula, neste caso a estação rádio-base para a célula tem uma radiação padrão (serviço celular) que não alcança as fronteiras da célula perfeitamente. Outras áreas que sofrem com este problema são as regiões cercadas por morros ou montanhas. Nas regiões metropolitanas os engenheiros de rede têm que considerar as construções como possíveis obstáculos que podem impedir as comunicações.

Interrupções no sinal em chamadas telefônicas resultam em perdas de receita por prestadoras de serviço bem como insatisfação dos clientes. Uma solução seria montar repetidores em regiões estratégicas para fornecer a cobertura às áreas problemas dentro das suas redes de comunicações.

Este trabalho desenvolve e analisa a utilização de repetidores na implantação de sistemas móveis celulares. Esta técnica permite estender a cobertura dos sistemas móveis celulares com baixo custo e curto tempo de implantação a áreas ou ambientes onde a utilização de estações rádio-base seria dispendiosa ou demorada.

O propósito desta aplicação foi projetar um sistema repetidor de sinal para o sistema TDMA e/ou CDMA (isoladamente), usando a faixa de frequência de 800 a 900MHz do espectro de radiofrequência. A escolha da tecnologia dependerá do sinal captado na região escolhida para testes, isto é, depende de qual estação rádio-base (ERB) estará mais próxima ou com sinal de potência mais adequado.

A localidade escolhida situa-se na região rural do município de Guarapuava, interior do Estado do Paraná, conhecida como Morro Grande e Faxinal do Saltinho.

Para esta aplicação foram desenvolvidos dois protótipos, ou seja, um para a tecnologia CDMA e outro para a tecnologia TDMA/CDMA.

CAPÍTULO 1

A TELEFONIA RURAL NO PARANÁ: ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS

Neste capítulo serão descritos os vários tipos de sistema de telefonia rural disponíveis no estado do Paraná. A escolha do sistema a ser utilizado na proposta de projeto dependerá das condições da região escolhida para os testes.

1.1. INTRODUÇÃO

São vários os sistemas de telecomunicações que podem atender as necessidades da população de áreas rurais ou isoladas. A Figura 1.1 exemplifica um sistema de comunicação entre a região urbana e a região rural.

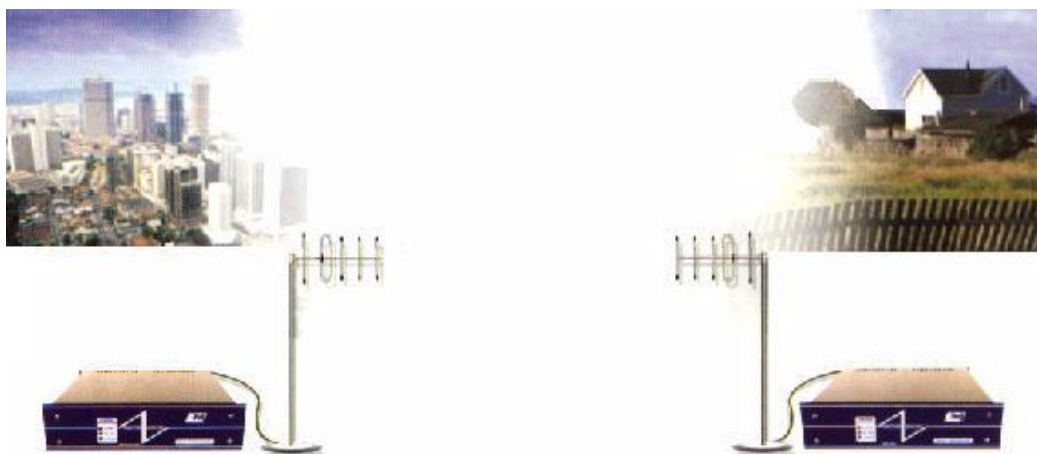


Figura 1.1 – Telefonia Rural

Através da Figura 1.1 observa-se que a Telefonia Rural tem por objetivo viabilizar a comunicação em locais onde as modernas técnicas de comunicação encontram maiores dificuldades de acesso a linhas telefônicas (fax, internet, central telefônica), em locais distantes dos centros urbanos, tais como: fazendas, postos de combustíveis, indústrias, etc., podendo compor-se de vários modelos, tais como, telefonia rural via

cabo, telefonia rural via celular, transmissão via rádio monocanal e telefonia rural via satélite [1], como mostrados na Figura 1.2 abaixo.

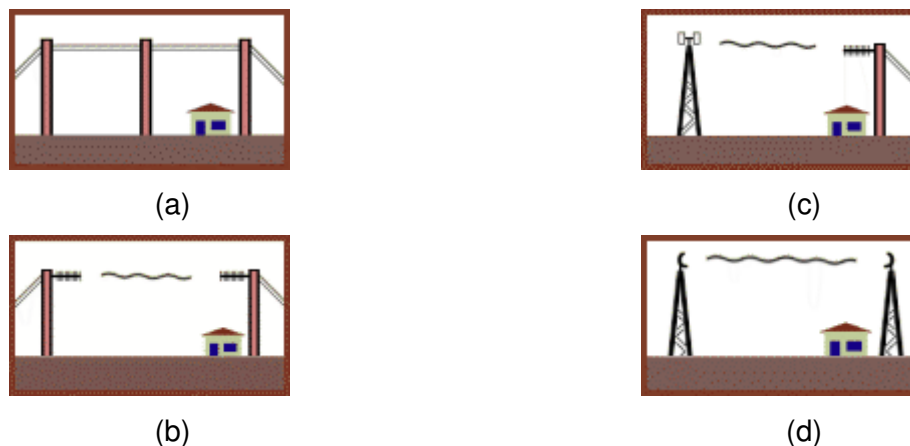


Figura 1.2 – Modelos de Telefonia Rural: (a) Telefonia Rural via Cabo; (b) Transmissão via Rádio Monocanal; (c) Telefonia Rural via Celular e (d) Telefonia Rural via Satélite.

Nota-se na Figura 1.2 que todos os sistemas são passíveis de serem implementados. A escolha dependerá das condições topográficas, morfológicas e sistêmicas (tipo de cobertura desejada), do custo de implantação e das necessidades da população a ser atendida.

As características e particulares de cada sistema serão discutidas neste capítulo. A escolha do melhor sistema de comunicação para a região teste dependerá de uma análise de cada sistema.

A região teste situa-se na zona rural do município de Guarapuava. O município de Guarapuava localiza-se na Região Sul do Brasil, Centro-Oeste do Estado do Paraná, no 3º Planalto Paranaense, conhecido como Serra da Esperança, a 1120m de altitude. As coordenadas geográficas centrais são: 25°23'26"S e 51°27'15"W.

Guarapuava é um pólo regional, têm uma agricultura altamente tecnificada e uma pecuária com altíssima qualidade genética. Encontra-se em um grande entroncamento rodoferroviário, próxima dos principais centros econômicos do Mercosul.

Segundo dados do IBGE (Senso 2000), a cidade apresenta uma população de 155.161 habitantes, sendo 13.467 na área rural.

O município de Guarapuava apresenta várias regiões rurais, tais como, Entre Rios, Palmerinha, Distrito do Guará e Guairacá.

Todas estas regiões já dispõem de algum sistema de telefonia.

O objetivo principal é fornecer uma alternativa de comunicação de baixo custo para a população desta região.

1.2. TELEFONIA RURAL VIA CABO

Consiste em levar a linha telefônica através de cabo telefônico da região urbana até a região rural, através da instalação de postes e acessórios de fixação. Este tipo de instalação está limitado a pequenas distâncias, devido aos custos envolvidos na instalação e qualidade do sinal telefônico [2]. A Figura 1.3 exemplifica este tipo de sistema.

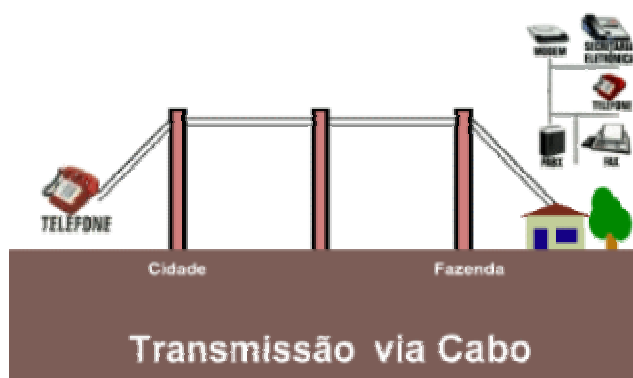


Figura 1.3 – Transmissão via Cabo

Este sistema oferece todas as facilidades encontradas na região urbana, tais como, fax, internet, central telefônica, etc, tal como mostrado na Figura 1.3. O problema, neste caso é a manutenção da qualidade do sinal, que devido às longas distâncias nem sempre está disponível [3].

O custo para implantação deste sistema também é outro problema, já que o número de assinantes é pequeno comparado a uma instalação semelhante na região urbana.

1.3. TRANSMISSÃO VIA RÁDIO MONOCANAL

Consiste na instalação de equipamento ligado à linha telefônica e energia elétrica na cidade mais próxima da região rural, e conectado a antena externa. Um outro equipamento é instalado na propriedade rural também ligado a antena externa, energia elétrica e a um aparelho telefônico, quando o telefone é retirado do gancho aciona a linha

telefônica da cidade, e a partir daí a fazenda pode falar com o mundo [1]. A Figura 1.4 mostra este tipo de aplicação.

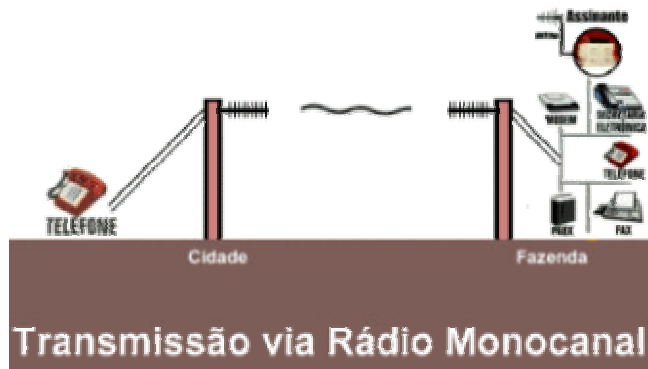


Figura 1.4 – Transmissão via Rádio Monocanal

Nota-se na Figura 1.4 que o inconveniente deste sistema é a necessidade de uma linha telefônica disponível na região urbana.

1.3.1 Como funciona

O equipamento opera através de um enlace de rádio, interligando o usuário até a linha telefônica distante, executando todas as funções de um telefone convencional, possibilitando uma operação totalmente automática, sem que o usuário note qualquer diferença com a linha telefônica física.

Oferece ainda como vantagem, a total imunidade a rompimento de cabos, melhoria na qualidade de voz, grande velocidade na comunicação de dados e ausência de ruídos característicos como ronco e estalos normalmente presentes em linhas físicas de longa distância. O alcance depende diretamente da topografia da região. Em condições normais, a distância média de enlace é de 40km, podendo atingir distâncias ainda maiores [4].

1.3.2. Como se compõem

Todos os equipamentos utilizados no enlace incluem antenas, cabos coaxiais, conectores e fontes de alimentação, todos testados e integrados com as características

adequadas para cada unidade, evitando, assim, problemas de compatibilidade, que normalmente ocorrem quando estes componentes são comprados separadamente.

As unidades incluem um par de transceptores Full-Duplex operando nas faixas autorizadas pela ANATEL para esta finalidade, juntamente com as interfaces de linha telefônica.

A unidade central é conectada à linha telefônica disponível, cuja operação será vista pela Central Telefônica Pública como um aparelho telefônico convencional, traduzindo os sinais elétricos enviados pela central, em ondas de rádio-freqüência que são transmitidas para a unidade assinante, instalada remotamente.

A unidade assinante converte os sinais recebidos da unidade central e gera uma linha telefônica convencional para o usuário, podendo ser estendida até 2km, entre a unidade assinante e os aparelhos telefônicos, permitindo desta maneira, a instalação de extensões, bem como a conexão de outros equipamentos como fax, secretária eletrônica, transmissão de dados via computador (Modem) e etc. Sua versatilidade permite operar como linha tronco de PABX, normalmente utilizado em estabelecimentos rurais de grande porte, facilitando sua operação e possibilitando ainda, a instalação de telefones (ramais) em diversos pontos.

As antenas são do tipo direcional de alto ganho, operando através de duplexadores internos de alta rejeição, que permitem a utilização de uma única antena para as funções simultâneas de transmissão e de recepção de cada unidade. As fontes de alimentação são especialmente desenvolvidas para áreas rurais, onde a energia elétrica está sujeita a grandes variações, incluindo em seus circuitos, um módulo carregador flutuador de baterias, permitindo a operação da unidade mesmo na falta de energia elétrica [4].

1.4. TELEFONIA RURAL VIA CELULAR

Nas propriedades localizadas próximas as cidades que disponibilizam o serviço de telefonia móvel celular, é possível com a instalação de uma antena externa e com equipamento específico, ter uma linha telefônica com características semelhantes a uma convencional, podendo inclusive passar fax, acessar Internet e instalar uma central telefônica [2]. A Figura 1.5 mostra a instalação de um sistema de telefonia celular.

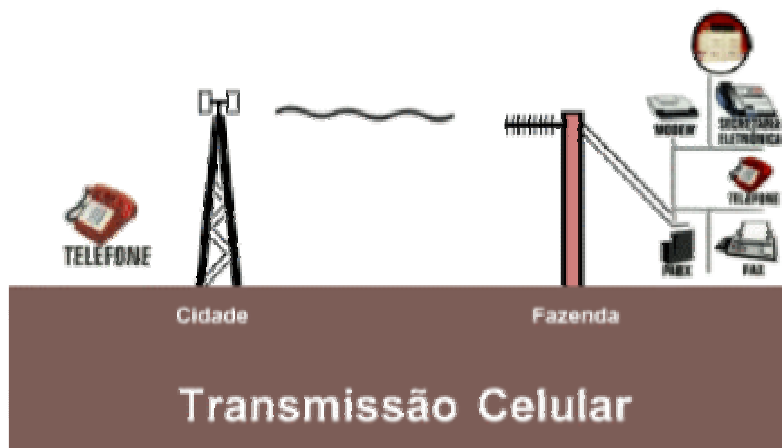


Figura 1.5 – Telefonia Rural via Celular

Na Figura 1.5 nota-se que na região urbana encontra-se a torre de transmissão do sinal (ERB) e na região rural é instalado um sistema com uma antena externa para captar o sinal gerado pela região urbana.

1.4.1. Como se compõem

Os kits disponíveis no mercado consistem de uma antena externa de alto ganho para Telefonia Celular, um cabo coaxial RGC 58, com comprimento de 10 metros pré-montado com os conectores adequados e um acoplador para o aparelho celular especificado pelo usuário [5].

A Figura 1.6 mostra um modelo de antena externa para este sistema.



Figura 1.6 – Modelo de Antena para Telefonia Rural via Celular

Pelo seu alto ganho e pela posição privilegiada onde a antena é instalada, permite utilizar o aparelho celular em áreas de baixo sinal, insuficiente para a operação com a antena própria do aparelho [3]. A sua instalação é similar à de uma antena de televisão,

bastando fixá-la e encaixar os conectores sem maiores dificuldades, como mostrado na Figura 1.6 acima.

1.4.2. Instalação

Para definir a instalação da antena, deve-se procurar com o telefone celular portátil a localização que apresente a máxima indicação de sinal, normalmente em local elevado.

Se por algum motivo, o comprimento de 10 metros não for suficiente, será necessário utilizar um cabo RGC 213, com menos perdas, bem mais oneroso do que o cabo RGC 58 [6].

Definido o local, fixar a antena com um suporte de antena de TV, conectando-se o cabo e o acoplador, e girando a antena até o máximo sinal no celular¹.

A junção do cabo que vem da antena externa ao celular é feita pelo acoplador, que varia conforme o modelo e a marca do aparelho. Alguns celulares devem ter a sua antena retirada para ligar a externa, enquanto para outros basta conectar o acoplador no encaixe apropriado. No caso da linha MicroTac da Motorola (com exceção do Elite), é também fornecido uma antena que substitui com vantagens a antena original do aparelho, permitindo facilmente usar o celular tanto em zona urbana quanto em zona rural. A Figura 1.7 exemplifica o modo de instalação deste sistema.

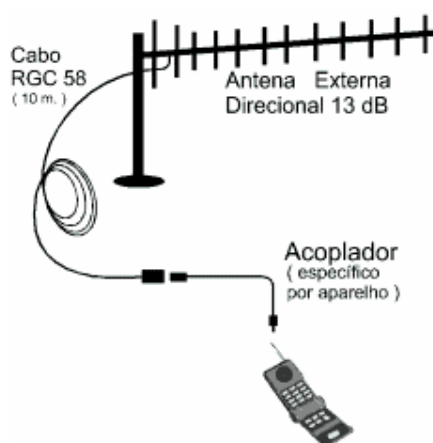


Figura 1.7 – Kit de Instalação

¹ Caso nenhum sinal possa ser detectado (*no svc* ou *no service*), o sinal no local desejado é provavelmente tão baixo que mesmo o alto ganho proporcionado pela antena não será suficiente para um funcionamento confiável. Nesse caso, as soluções dependem de uma análise mais detalhada, em função da localização do imóvel e do sinal existente.

O problema encontrado neste sistema é que o aparelho perde a mobilidade já que o mesmo precisa estar fixo na antena externa, como mostrado na Figura 1.7 acima.

1.4.3. Tipos de Antenas Fixas para Celulares

Existem vários modelos de antenas para telefonia celular rural. Este item exemplifica algumas delas. O tipo de antena escolhido dependerá da qualidade do sinal na região de implantação. Cada tipo de antena tem um ganho e este é que determina a escolha da antena [7].

a) Antena Celular - 07 Elementos Direcional

A Figura 1.8 exemplifica este tipo de antena.

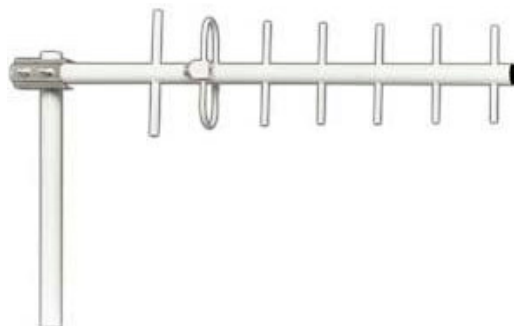


Figura 1.8 – Antena Celular - 07 Elementos Direcional

Como pode ser visto na Figura 1.8 acima, a direção de polarização é vertical, o que é recomendado para as comunicações móveis.

Consultando os dados do fabricante [7] obtêm-se as seguintes características:

Modelo: CF-914

Freqüência: 800 a 900MHz

Ganho: 14dBi

Material: Alumínio Pintura Epoxi

Medida Antena: 770mm

Peso: 670g

b) Antena Celular - 09 Elementos Direcional

A Figura 1.9 exemplifica este tipo de antena.

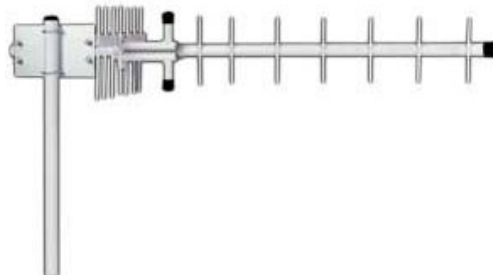


Figura 1.9 – Antena Celular – 09 Elementos Direcional

Como pode ser visto na Figura 1.9 acima, a direção de polarização também é vertical, o que é recomendado para as comunicações móveis e o maior número de elementos garante um ganho maior.

Consultando os dados do fabricante [7] obtêm-se as seguintes características:

Frequência: 824 a 894MHz

Ganho: 15dBi

Material: Alumínio Pintura Epóxi

Medida Antena: 1115mm

Peso: 1600g

c) Antena Celular - 19 Elementos Direcional

A Figura 1.10 exemplifica este tipo de antena.

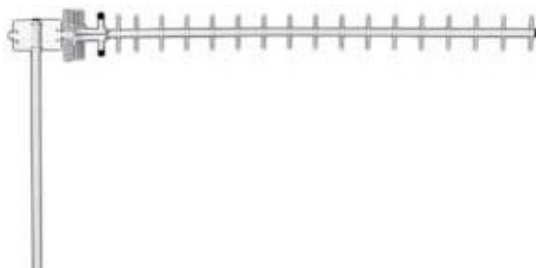


Figura 1.10 – Antena Celular – 19 Elementos Direcional

Nota-se na Figura 1.10 acima que o ganho da antena aumentou conforme aumentou o número de elementos da mesma. A polarização continua a ser vertical. A faixa de

freqüências para estes tipos de antenas é a mesma, ou seja, 824–894MHz, que é faixa de freqüências utilizada no Brasil para a telefonia celular (bandas A e B). [8]

Consultando os dados do fabricante [7] obtêm-se as seguintes características:

Modelo: CF-919

Freqüência: 824 a 894MHz

Ganho: 19dBi

Material: Alumínio Pintura Epoxi

Medida Antena: 2140mm

Peso: 2100g

d) Antena Celular Parabólica

A Figura 1.11 exemplifica este modelo de antena.



Figura 1.11 – Antena Celular Parabólica

A Figura 1.11 mostra que a antena parabólica tem superado não apenas em ganho os outros tipos de antenas para telefonia celular, existentes no mercado, mas também em diretividade (aguçado beamwidth), já que o número de ERB's tem aumentado consideravelmente, passou a ser um elemento importantíssimo para o apontamento seletivo para apenas uma única ERB [9].

Consultando os dados do fabricante [7] obtêm-se as seguintes características:

Modelo: CF-924

Frequência: 824 a 894MHz

Ganho: 24dBi

Material: Alumínio

Medida Antena: 1850mm

Peso: 9460g

1.5. TELEFONIA RURAL WLL (*Wireless Local Loop*)

Tendo sido vistas as tecnologias via rádio e móvel sem fio, pode-se obter uma terceira alternativa de comunicação unindo-se as tecnologias anteriores, ou seja, a tecnologia WLL.

O WLL é uma nova tecnologia de comunicação sem fio que surge como uma alternativa viável para o atendimento da grande demanda reprimida por telefones convencionais.

O desenvolvimento da infra-estrutura do sistema telefônico convencional enfrenta sempre um gargalo: o *loop* local. Enquanto os equipamentos centralizados de comutação estão com seus custos numa descendente e a velocidade de operação numa ascendente, as técnicas tradicionais de levar a infra-estrutura até o assinante permanecem inalteradamente caras. A evolução da tecnologia sem fio, originalmente destinada aos serviços móveis, mostra-se como solução para este problema. Neste contexto, surge o *Wireless Local Loop (WLL)* [10].

1.5.1 Como funciona

O *Wireless Local Loop* é, na verdade, um acesso via rádio, a um telefone fixo de assinante. O conceito é bastante simples: o telefone do assinante é ligado ao equipamento de rádio, que troca informações com uma estação de rádio. A estação converte os sinais de rádio em sinais compreensíveis pela central telefônica, a partir da qual a chamada segue seu curso usual [11].

Este novo sistema é transparente para o usuário, para ele seria como se estivesse utilizando um telefone fixo comum. A única diferença é o meio de interligação dos aparelhos telefônicos comuns com as centrais. O WLL utiliza o ar, através de ondas de rádio, ao passo que o sistema convencional utiliza uma complexa e cara rede de cabos (ópticos ou metálicos).

A Figura 1.12 mostra um exemplo desta tecnologia.



Figura 1.12 – Aparelho WLL residencial

O sistema utiliza as ondas de rádio emitidas pela estação rádio base (ERB) para estabelecer a comunicação. Na Figura 1.12 pode ser observado a conexão típica de um aparelho telefônico utilizando a tecnologia WLL (*Wireless Local Loop*).

1.5.2. Como se compõem

O *Wireless Local Loop* conecta assinantes para a rede pública telefônica (PSTN) utilizando sinais de rádio como um substituto para as linhas de cobre para parte ou todas as conexões entre assinante e o *switch*. A Figura 1.13 abaixo mostra um típico sistema WLL.

Arquitetura Típica de um Sistema WLL



Figura 1.13 – Esquema de um Sistema WLL

Na Figura 1.13 a porção base do sistema é um *hub* de estação rádio-base (*RS Hub*), que está localizado perto ou dentro da estação telefônica ou conectado à central, através de sinais de microondas ou satélite. A porção *wireless* do sistema é a distância entre o *hub* e os assinantes individuais, que possuem, cada um deles, um circuito transceptor (transmissor + receptor) completo duplex que permite que um telefone comum seja conectado ao equipamento. O equipamento do assinante é denominado geralmente de unidade remota de assinante – *RSU (Remote Subscriber Unit)*. Por definição, o WLL é um serviço duplex completo de voz, compatível para voz, fax ou modem.

1.5.3. Tipos de Tecnologias utilizadas em WLL

A escolha de uma tecnologia adequada para o WLL tem um impacto direto no sucesso da rede. Do ponto de vista do usuário, a solução WLL só poderá ser pensada como alternativa à rede fixa se os serviços, a funcionalidade e desempenho desta solução forem iguais ou superiores àqueles providos pela rede cabeada. Do ponto de vista da operadora, a alternativa WLL deve oferecer facilidade de planejamento, monitoração e gerenciamento da rede, e os custos de implantação devem ser inferiores aos da rede fixa. As várias soluções tecnológicas possíveis incluem acesso ponto-multiponto, sistemas celulares digitais e analógicos, sistemas de geração avançada de telefone sem fio, PCN/PCS, CT-2/DECT e implementações proprietárias.

Os sistemas de rádio acesso ponto-multiponto, com arquitetura FDMA ou TDMA têm sido amplamente utilizados nos últimos dez anos, para prover comunicação a assinantes em áreas remotas e rurais, mas mostram-se pouco flexíveis [12]. A tecnologia celular analógica ou digital, embora bem mais flexível que a anterior, provê recursos muito sofisticados, nem todos necessários para as aplicações WLL. Os sistemas de telefones sem fio de última geração preenchem todos os requisitos para a aplicação WLL, oferecendo transmissão de voz e dados, incluindo ISDN, com um grau de serviço comparável àquele oferecido pela rede telefônica [13].

Dentre as tecnologias existentes, ou em fase de padronização, citam-se CDMA (Code Division Multiple Access), TDMA (Time Division Multiple Access) e FDMA (Frequency Division Multiple Access). Existem ainda outras técnicas, tais como PACS (Personal Access Communications Services, EUA), PHS (Personal Handy phone System, Japão) e DECT (Digital Enhanced Cordless Telephone, Europa), dentre outras. [14]

1.6. TELEFONIA RURAL VIA SATÉLITE

Tem por objetivo atender ao cliente com necessidades de várias linhas telefônicas, e alto tráfego de dados. São equipamentos de rádio de alta capacidade e Centrais Telefônicas Digitais [3]. A Figura 1.14 exemplifica este tipo de sistema.



Figura 1.14 – Telefonia Rural via Satélite

Nota-se na Figura 1.14 que o sistema parece ser mais simples, apenas duas torres (antenas), uma para transmissão e outra para recepção. Porém o sistema pode envolver a

tecnologia de comunicação via satélite e centrais telefônicas digitais, o que pode encarecer o custo de implantação.

1.6.1. Como se compõem

A seguir será descrito o sistema rural de grande porte utilizando o sistema via satélite.

O satélite, do ponto de vista de transmissão é uma simples estação repetidora dos sinais recebidos da Terra que são detectados, deslocados em frequência, amplificados e retransmitidos de volta a Terra [1].

Um satélite típico é composto de uma parte comum (“bus”) onde se encontram as baterias, painéis solares, circuitos de telemetria e a parte de propulsão. Além do “bus” tem-se a carga útil (“payload”) composta essencialmente dos circuitos repetidores, denominados “transponders” [15].

As frequências mais utilizadas para comunicação via satélite são as da banda C e banda Ku, conforme a Tabela 1.1 abaixo.

Tabela 1.1 – Faixas de Frequências para Comunicação via Satélite

	Banda C	Banda Ku
Frequência de <i>Uplink</i> (estação terrena para satélite)	5,850 – 6,425GHz	14,0 – 14,5GHz
Frequência de <i>Downlink</i> (satélite para estação terrena)	3,625 – 4,200GHz	11,7 – 12,2GHz

Fonte: ANATEL/2000

Um transponder em banda C tem, tipicamente, 36MHz de largura de banda, enquanto que os de banda Ku tem tipicamente 27MHz.

Internacionalmente, a banda mais popular é a banda Ku, pois permite cursar tráfego com antenas menores que as de banda C, devido ao fato das suas frequências serem mais altas.

No entanto, a transmissão em banda Ku é mais suscetível a interrupções causadas pela chuva. Dessa forma a banda C é mais popular em países tropicais.

No Brasil durante muito tempo só se utilizou à banda C. Mais recentemente, a banda Ku vem recebendo maior aceitação.

As aplicações onde a comunicação via satélite são mais indicadas são aquelas em que:

- Deseja-se difundir a mesma informação, no *link* de descida, por uma região geográfica muito extensa como, por exemplo, para a TV e a Internet.
- Deseja-se atingir localidades remotas como, por exemplo, campos de mineração, madeireiras, propriedades rurais e suburbanas e postos em rodovias.
- Deseja-se que o tempo de implantação seja muito rápido, ou de uso ocasional, como, por exemplo, para shows, rodeios, corridas de automóvel.

1.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foram vistos os vários sistemas de telefonia disponíveis para a região interior do Estado do Paraná. Todos os sistemas podem ser implementados, dependendo das condições topográficas, morfológicas, sistêmicas (tipo de cobertura desejada) e econômicas da região escolhida para os testes.

O município do estado do Paraná escolhido para a realização dos testes é o município de Guarapuava. A escolha deve-se ao fato do município ser um pólo regional, ter uma agricultura altamente tecnificada e uma pecuária com altíssima qualidade genética e apresentar várias regiões rurais ao redor do centro urbano.

Para a verificação do melhor sistema para cada região rural, no capítulo 2 serão vistas as vantagens e desvantagens de cada sistema, bem como o custo de implantação de cada um. Após esta explanação será possível escolher o melhor sistema para a região teste, bem como cada região rural do estado do Paraná, que necessite de um sistema de telefonia rural.

1.8. REFERÊNCIAS

- [1] Ferrari, Antônio Martins. *Telecomunicações – Evolução e Revolução*. 8ª edição. Editora Érica, São Paulo, 2004.
- [2] Nascimento, Juarez do. *Telecomunicações*. 2ª edição. Editora Makron Books, São Paulo, 2000.
- [3] Gomes, Alcides Tadeu. *Telecomunicações – Transmissão e Recepção*. 19ª edição. Editora Érica, São Paulo, 2002.
- [4] <http://www.telecompaulista.com.br/mono.htm>. Acessado em 1/4/2004.
- [5] Castro, Maria Cristina F. De. *Comunicações Celulares*. Faculdade de Engenharia – Departamento de Engenharia Elétrica, PUC/RS. Porto Alegre, RS, 2001.
- [6] <http://www.fariascelular.hpg.ig.com.br/rural/index.htm>. Acessado em 3/4/2004.

- [7] <http://www.icantenas.com.br/servicos.htm>. Acessado em 10/2/2004.
- [8] <http://www.anatel.gov.br>. Acessado em 15/3/2004.
- [9] Huemer, Eduardo Roberto. *Guia Prático de Antenas*. 9ª edição. Dinâmica Gráfica e Editora Ltda, São Paulo, 2003.
- [10] Dosi, G., “*Institution and markets in a dynamic world*”, Manchester School, vol. 46, 1998.
- [11] Waldman, H & Yacoub, M. D., *Telecomunicações - Princípios e Tendências*. Editora Érica, 1997.
- [12] Pires, J.L.C., *A Reestruturação do Setor de Telecomunicações no Brasil*. Revista do BNDES, V 11, pp. 187-214, 1999.
- [13] Rigolon, F.J.Z., *Regulação da Infra-Estrutura: a experiência recente no Brasil*. Revista do BNDES, n 7. pp. 123-150, 1997.
- [14] Wohlers, M., *A Guerra das Telecomunicações: Internacionalização, Privatização e Novas Oportunidades*. São Paulo, Editora da Universidade Estadual de Campinas, 1997.
- [15] <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialsatcom/default.asp>. Acessado em 21/4/2004.

CAPÍTULO 2

ANÁLISE DOS SISTEMAS DE TELEFONIA RURAL NO PARANÁ

Neste capítulo serão analisados os vários tipos de sistema de telefonia rural disponíveis no estado do Paraná, comparando seus custos de implantação, bem como, suas vantagens e desvantagens.

2.1. INTRODUÇÃO

O século XXI chegou e cerca de 80% das propriedades rurais do país ainda não têm acesso a um fundamental meio de comunicação: o telefone. A informação é da Confederação Brasileira das Cooperativas de Energia, Telefonia e Desenvolvimento Rural. O número impressiona, mas é confirmado pela Confederação Nacional da Agricultura ([CNA](#)), órgão ligado ao Ministério da Agricultura. Uma pesquisa realizada pela CNA revela que apenas 20% dos produtores brasileiros tem acesso à telefonia. Nem a privatização do sistema de telefonia nacional nem o advento da telefonia celular melhoraram a situação no campo [1].

Na hora de comprar um sistema de telefonia, o futuro usuário deve saber que não há uma entidade no país que divulgue, de forma centralizada, as informações sobre equipamentos e serviços disponíveis no país. Portanto, a escolha do sistema mais adequado dependerá de bom senso, necessidades e, naturalmente, de sua capacidade financeira.

Neste capítulo procura-se fazer um comparativo das vantagens, desvantagens e custo de implantação de cada sistema de telefonia.

2.2. TELEFONIA RURAL VIA CABO

A privatização das operadoras de telefonia fixa no Brasil levou a um crescimento da oferta de telefones atingindo em 2002 mais de 49 milhões de acessos instalados. Entretanto, o número de acessos em serviço era menor que 40 milhões em dezembro de 2002, demonstrando que a oferta de acessos precisa ser mais bem adequada ao que algumas camadas da população podem pagar [2].

2.2.1. Vantagens do Sistema via Cabo:

Este sistema oferece todas as facilidades encontradas na região urbana, tais como, fax, internet, central telefônica, etc. A rede telefônica instalada tem sido utilizada para prestação de serviços de voz e de outros serviços como comunicação de dados e acesso a Internet, principalmente o acesso banda larga com utilização da tecnologia ADSL, como forma de maximizar as receitas pela agregação de serviços de valor diferenciado [3,4].

2.2.2. Desvantagens do Sistema via Cabo:

Na tecnologia convencional (cabeada), a prática tem sido instalar toda a infraestrutura prevista para a capacidade planejada do sistema. Isto tem deixado as operadoras telefônicas financeiramente vulneráveis a atrasos, ou mesmo tem levado a expansão prevista ao total colapso.

Outra desvantagem é a limitação na capacidade de expansão do sistema.

Este tipo de instalação está limitado a pequenas distâncias, devido aos custos envolvidos na instalação e qualidade do sinal telefônico [5,6].

2.3. TELEFONIA RURAL VIA RÁDIO MONOCANAL

Um sistema via rádio, com recursos dinamicamente alocados ou relocados, pode ser moldado convenientemente de acordo com as necessidades do momento. Com relativa facilidade, a operadora pode expandir, ou reduzir, o tamanho do sistema de acordo com a demanda do tráfego [7].

2.3.1. Vantagens do Sistema via Rádio Monocanal:

A telefonia via rádio monocanal tem como vantagem, a total imunidade à rompimento de cabos, melhoria na qualidade de voz, grande velocidade na comunicação de dados e ausência de ruídos característicos como ronco e estalos normalmente presentes em linhas físicas de longa distância.

O alcance depende diretamente da topografia da região. Em condições normais, a distância média de enlace é de 40 km, podendo atingir distâncias ainda maiores.

2.3.2. Desvantagens do Sistema via Rádio Monocanal:

O sistema pode ser oferecido pela prestadora de serviço e/ou ser particular.

A desvantagem no caso do sistema ser oferecido pela prestadora de serviços está no fato que os aparelhos disponíveis situam-se em propriedades particulares/comerciais, dependendo assim dos proprietários para operar os equipamentos e da disponibilidade dos mesmos para se anotar a duração das ligações e calcular o custo das mesmas.

No caso de o sistema ser particular há a necessidade de o proprietário possuir uma linha telefônica na região urbana para que o sistema possa funcionar.

2.4. TELEFONIA RURAL VIA CELULAR

O processo evolutivo dos sistemas sem fio tem sido impulsionado, por um lado, pela demanda de serviços e, por outro lado, pelas restrições de uso do mais precioso recurso das telecomunicações – o Espectro de Freqüências [8].

2.4.1 Vantagens do Sistema Celular:

O padrão digital confere ao usuário maior sigilo nas conversações, melhor qualidade na transmissão e recepção de chamadas e uma série de recursos inovadores que facilitam a vida do usuário, tais como:

- Identificador de Chamadas* - Possibilita conferir, no visor, o número do telefone da pessoa que o está chamando, permitindo que você escolha entre atender ou não a chamada, se assim lhe for conveniente. Você deve verificar junto à sua operadora se este serviço está disponível.
- Recepção de mensagens escritas* (SMS - Short Message Service - ou Serviço de Mensagens Escritas) - A possibilidade de receber mensagens escritas no visor de seu aparelho digital exatamente como um pager, que as operadoras vem disponibilizando este serviço de envio de mensagens pela internet, abrindo um novo horizonte nas comunicações pessoais.
- Envio de Mensagens Escritas* (MO-SMS - Mobile Originated Short Message Service - ou Serviço de Mensagens Escritas pelo Telefone Celular) - A grande vantagem deste serviço é o envio de mensagens escritas no aparelho celular para outro, imagine as possibilidades, mesmo não estando disponível ou ocupado você poderá enviar mensagens a partir do telefone para outra pessoa. (Disponível a partir do segundo semestre de 2000)

- Transmissão de Fax e Dados (e-mail)*- A partir de um telefone celular conectado a um aparelho de fax ou a um computador pessoal será possível o envio de Fax ou até mesmo o envio e recepção de e-mail. (Disponível a partir de 2001)
- Caixa Postal com notificação* - No sistema digital, você pode ser avisado quando uma mensagem for deixada na Caixa Postal. Desta forma, você não precisa ficar ligando "para ver se tem recado". Isto ocorre mesmo se o seu telefone esteve desligado enquanto recebeu a chamada. Estes e vários outros serviços estão disponíveis de forma automática ou mediante solicitação à Operadora do Sistema.

* Os recursos estão ou estarão disponíveis nos aparelhos celulares. Entretanto, sua utilização efetiva depende de habilitação de cada recurso junto à operadora de telefonia celular.

Além dos serviços acima citados, a telefonia celular apresenta vantagens e facilidades que a telefonia fixa não consegue contemplar (deslocamento do aparelho, uso em viagens, facilidade de contato direto etc.).

2.4.2. Desvantagens do Sistema Celular:

A ligação do telefone celular é bem mais onerosa do que a do fixo. Essa diferença de preço também é maior em todos os serviços prestados. A cobertura da telefonia fixa é mais abrangente e a telefonia celular pode apresentar pontos de sombra e áreas de sombras e alcance por vezes limitado (local, regional, estadual etc.).

2.5. TELEFONIA RURAL WLL

Estão disponíveis vários tipos de sistemas WLL no mercado, com soluções que atendem desde as áreas rurais de baixa densidade, até grandes metrópoles com alta densidade populacional.

2.5.1. Vantagens do Sistema WLL (*Wireless Local Loop*):

A vantagem de custos da tecnologia sem fio manifesta-se de duas maneiras: menores custos fixos (equipamento e construção) e menor necessidade de manutenção no que se refere às instalações externas [9]. Além disso, o tempo de instalação é significativamente menor, chegando a um décimo do tempo gasto nas instalações cabeadas. Instalação rápida significa geração rápida de receitas.

Um sistema WLL provê maior flexibilidade e reutilização do sistema telefônico, características essenciais para uma demanda crescente de serviços.

Em suma, as principais vantagens do WLL são:

- Instalação Rápida – Dois operários levariam 100 dias para instalar 1000 *drop cables* (fio do poste à casa do usuário). Com o sistema WLL, eles instalariam os 1000 terminais de assinantes em apenas 5 dias (Dados da Qualcomm);

- Custos sob medida – Redes de cobre são viáveis, apenas, quando há 100 assinantes por quilômetro quadrado (média mundial). Contudo, a rede cabeada não é sensível às variações da procura por serviços: se a população de um bairro mudar de perfil, de modo a cair a procura por serviços telefônicos, vai deixar a rede ociosa. A infra-estrutura do WLL, por sua vez, pode mudar com os assinantes.

- Custo de operação reduzido – A rede WLL está mais imune a problemas como tempestades, enchentes, incêndios, variações de temperatura. Não é preciso pagar pedágio para usar os postes da companhia de energia elétrica. E o gerenciamento de toda a rede é centralizado, com o estado *online* de todos os assinantes.

- Melhor cobertura – Numa área de baixo tráfego, no cinturão rural das grandes cidades, por exemplo, uma única célula CDMA, por exemplo, pode cobrir 191km², segundo dados da Qualcomm. E numa área rural, 740km².

- Capacidade – Da mesma forma que as aplicações móveis, todos os assinantes dentro de uma célula têm, a seu dispor, todo o espectro a qualquer momento.

- Serviços Avançados – Um assinante, desde que possua o terminal apropriado, pode enviar dados e fax [10].

2.5.2. Desvantagens do Sistema WLL (*Wireless Local Loop*):

As principais desvantagens são:

- Restrição de Faixa por usuário;
- Falta de Definição de Faixas Específicas para o WLL;
- Falta de Padrões Internacionais;

- Sistemas móveis aplicados a WLL;
- Sistemas Proprietários.

2.6. TELEFONIA RURAL DE GRANDE PORTE

As empresas de satélite também estão de olho no potencial de crescimento do serviço de telefonia rural e começaram a se mexer para levar telefones móveis e fixos e a internet para o campo.

2.6.1. Vantagens do Sistema de Grande Porte:

As vantagens do sistema de grande porte manifestam-se quando deseja-se espalhar a mesma informação, no *link* de descida, por uma região geográfica muito extensa como, por exemplo, para a TV e a Internet; ou quando deseja-se atingir localidades remotas como, por exemplo, campos de mineração, madeireiras, propriedades rurais e suburbanas e postos em rodovias; ou ainda quando deseja-se que o tempo de implantação seja muito rápido, ou de uso ocasional, como, por exemplo, para shows, rodeios, corridas de automóvel [11,12].

O sistema de grande porte ainda pode ser utilizado para o rastreamento de veículos móveis (veículos comerciais, trailers, containers, vagões, equipamentos pesados e barcos de pesca) e para a monitoração de pontos fixos (medidores de eletricidade, tanques de armazenamento de petróleo, gás e poços, dutos de gás e petróleo e monitoração ambiental).

Os serviços oferecidos por este sistema são:

- Transmissão de alta qualidade de voz.
- Caixa Postal permite que você nunca deixe de receber uma mensagem.
- Roaming permite que um cliente possa fazer ligações com seu aparelho de qualquer país que tenha o serviço.
- SMS (Short Message System) Esse serviço permitirá que o cliente receba mensagens curtas de texto em seu aparelho.
- Localizador de Posição Similar ao GPS, esse serviço fornece a posição do cliente em qualquer lugar onde haja cobertura do sistema.
- Transmissão de Dados via IP (internet protocol), a uma taxa de 9.600 bps, permite o acesso à internet, gerenciamento de frotas, automação de força de vendas e o controle de equipamentos situados em áreas remotas [13,14].

2.6.2. Desvantagens do Sistema de Grande Porte:

No contexto do Brasil as desvantagens são a baixa velocidade de transmissão de dados (9600 bps) e o custo do sistema para a população da região. O fato de apenas uma empresa oferecer este serviço no Brasil faz com que não haja concorrência e o custo do serviço ser imposto pela empresa [15].

2.7. COMPARATIVO DE CUSTO DE IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS

A Tabela 2.1 abaixo mostra um comparativo de custo de implantação entre as várias alternativas de comunicação para a região teste.

TABELA 2.1 – Comparativo de Custo de Implantação dos Sistemas de Comunicação

TECNOLOGIA	CUSTO DE IMPLANTAÇÃO
Via Cabo ²	R\$ 80,00* R\$ 172.500,00**
Via Rádio Monocanal ³	R\$ 2.950,00
Via Celular ⁴	R\$ 419,00
Via WLL ⁵	R\$ 250,00
Via Sistema de Grande Porte ⁶	R\$ 3.190,00

2.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com todas essas iniciativas, é possível perceber que tecnologia não é o problema para a telefonia rural. A questão da falta de comunicação no campo vai mais além. Depende de vontade política dos governantes e da disposição das operadoras de investir nas pequenas localidades.

Analisando os sistemas disponíveis para telefonia rural na região teste, verifica-se que a melhor opção é a telefonia rural via celular, pois a região não dispõe de telefonia via cabo, apenas de transmissão via rádio monocanal.

² Considerando a assinatura e o aparelho telefônico.

* se o sistema via cabo já existe na região.

** se o sistema via cabo for implantado desde o início.

³ Considerando o aparelho receptor e transmissor, o aparelho telefônico, a linha telefônica e as antenas.

⁴ Considerando o aparelho telefônico, as antenas, cabos e conector de interligação.

⁵ Considerando o aparelho, as antenas e a assinatura.

⁶ Preço médio de cada terminal para usuário direto e assistência técnica.

O problema em relação à transmissão via rádio monocal é que os aparelhos disponíveis situam-se em propriedades particulares/comerciais, dependendo assim dos proprietários para operar os equipamentos e da disponibilidade dos mesmos para se anotar a duração das ligações e calcular o custo das mesmas.

O serviço via satélite é muito oneroso considerando a situação econômica da população da região a ser atendida pelo sistema de telefonia.

Já a tecnologia de telefonia celular tem aplicações que vão muito além das comunicações móveis, oferecendo o serviço telefônico em áreas rurais e outros lugares que não dispõem de serviço telefônico convencional. Cada proprietário poderá ter seu próprio equipamento (telefone celular), garantindo uma maior comodidade ao usuário. Outro fator importante é o custo deste sistema, que é menor levando-se em consideração que o assinante poderá utilizar seu aparelho tanto na região rural quanto na região urbana.

Projetos para ampliação de cobertura ocorrem em geral em ambientes suburbanos ou rurais, que ainda não possuem uma cobertura radioelétrica. Estes locais periféricos têm como característica uma baixa demanda de tráfego e pequenas edificações. A cobertura de largas áreas com estas características, sob o ponto de vista de receita, não é interessante para as operadoras, pois o investimento demandado para a cobertura possui um retorno demorado devido aos baixos tráfegos cursados nestas ERB's. Estes ambientes são em geral rodovias, cidades pequenas, vilarejos e comunidades rurais.

Dependendo das características da região (relevo + morfologia) algumas áreas de sombra estarão presentes. Para a solução deste problema podem ser utilizados repetidores. A perda de mobilidade na região rural devido ao fato que o aparelho deve ficar conectado a antena externa será resolvido também com a utilização de repetidores analógicos.

Neste sistema o amplificador do repetidor será conectado a antena externa, melhorando a qualidade do sinal na região, e garantindo assim a mobilidade do aparelho telefônico.

Para um melhor entendimento do projeto, uma revisão dos sistemas repetidores disponíveis no país e seu funcionamento, será feita no capítulo 3.

2.9. REFERÊNCIAS

- [1] Wohlers, M., *A Guerra das Telecomunicações: Internacionalização, Privatização e Novas Oportunidades*. São Paulo, Editora da Universidade Estadual de Campinas, 1997.
- [2] Ferrari, Antônio Martins. *Telecomunicações – Evolução e Revolução*. 8ª edição. Editora Érica, São Paulo, 2004.
- [3] Nascimento, Juarez do. *Telecomunicações*. 2ª edição. Editora Makron Books, São Paulo, 2000.
- [4] Gomes, Alcides Tadeu. *Telecomunicações – Transmissão e Recepção*. 19ª edição. Editora Érica, São Paulo, 2002.
- [5] <http://www.anatel.gov.br>. Acessado em 15/3/2004.
- [6] Dosi, G., “*Institution and markets in a dynamic world*”, Manchester School, vol. 46, 1998.
- [7] <http://www.telecompaulista.com.br/mono.htm>. Acessado em 1/4/2004.
- [8] Castro, Maria Cristina F. De. *Comunicações Celulares*. Faculdade de Engenharia – Departamento de Engenharia Elétrica, PUC/RS. Porto Alegre, RS, 2001.
- [9] <http://www.fariascelular.hpg.ig.com.br/rural/index.htm>. Acessado em 3/4/2004.
- [10] <http://www.jcantenas.com.br/servicos.htm>. Acessado em 10/2/2004.
- [11] Huemer, Eduardo Roberto. *Guia Prático de Antenas*. 9ª edição. Dinâmica Gráfica e Editora Ltda, São Paulo, 2003.
- [12] <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialsatcom/default.asp>. Acessado em 21/4/2004.
- [13] Waldman, H & Yacoub, M. D., *Telecomunicações - Princípios e Tendências*. Editora Érica, 1997.
- [14] Pires, J.L.C., *A Reestruturação do Setor de Telecomunicações no Brasil*. Revista do BNDES, V 11, pp. 187-214, 1999.
- [15] Rigolon, F.J.Z., *Regulação da Infra-Estrutura: a experiência recente no Brasil*. Revista do BNDES, n 7. pp. 123-150, 1997.

CAPÍTULO 3

ANÁLISE DOS REPETIDORES UTILIZADOS NOS SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES

Neste capítulo são mostrados os diferentes tipos de repetidores, suas características e as penalidades associadas à inclusão deste elemento na rede de telecomunicações.

3.1. INTRODUÇÃO

O objetivo da inclusão de um elemento ativo na interface aérea é, basicamente, aumentar a área efetiva de cobertura de uma ERB. Existem diversas situações nas quais a utilização do repetidor é interessante, especialmente sob o ponto de vista de redução de custos e rapidez na implantação. O repetidor, devido à sua versatilidade, pode ser incluído em diversos momentos da implantação da rede, desde etapas iniciais na substituição de ERB até em fases mais avançadas de expansão, visando à redução das áreas de sombra existentes.

Como será visto, a escolha do tipo de repetidor a ser utilizado depende muito das características topográficas, morfológicas e sistêmicas (tipo de cobertura desejada), pois existem diferentes graus de penalidades associadas à inclusão do repetidor no sistema. Para cada situação existe um tipo de repetidor com características que irão melhor atender as necessidades do projeto.

A arquitetura do enlace com repetidor é simples, como ilustrado na Figura 3.1 - Esquema básico de um sistema com repetidor.



Figura 3.1 - Esquema básico de um sistema com repetidor

Nota-se na Figura 3.1 que no enlace direto o repetidor capta o sinal de uma ERB doadora, o amplifica e retransmite para a nova área de serviço provendo cobertura. No enlace reverso o repetidor capta o sinal da unidade do usuário e o retransmite amplificado para a ERB. Entretanto ocorrem neste processo, diversos efeitos de degradação que devem ser levados em consideração para que a operação do repetidor ocorra de forma satisfatória, afetando o mínimo possível na qualidade da rede.

A opção pela implantação ou não do repetidor depende, em linhas gerais, de duas considerações [1]:

1. A região de interesse possui ERB com folga de tráfego:

O tráfego cursado nas possíveis ERB doadoras (ou se for o caso, de um projeto inicial, o tráfego esperado nas candidatas a ERB doadora) deve ser inferior ao tráfego máximo suportado, pois o repetidor possibilita um aumento na área de cobertura sem, contudo, aumentar a capacidade de tráfego. Caso a ERB doadora esteja operando próximo do seu limite de capacidade o aumento na cobertura, irá gerar um tráfego adicional que não poderá ser suportado, acarretando num aumento do bloqueio nas chamadas.

2. Os prazos de implantação:

Como o repetidor não necessita de integração à rede de transmissão, sua infraestrutura requerida é simplificada, reduzindo assim o tempo de implantação do equipamento.

O objetivo principal deste capítulo é conhecer os vários tipos de repetidores, analisá-los e escolher o melhor tipo que se adapte ao projeto.

3.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS REPETIDORES

Os repetidores atualmente utilizados nos sistemas celulares constituem-se, basicamente, de um amplificador bi-direcional com filtros para evitar recepção e transmissão de espúrios.

Os equipamentos são em geral classificados com relação a dois quesitos [2]: tipo de filtragem e tipo de transmissão.

Com relação ao tipo de filtragem tem-se:

1. Repetidores de banda larga (*Broadband*)

2. Repetidores seletivos em banda (*Band Selective*)

3. Repetidores seletivos em canal (*Channel Selective*)

Com relação ao tipo de transmissão tem-se:

1. Repetidores na frequência de transmissão (*On Frequency Repeater*)

2. Repetidores com deslocamento de frequência (*Frequency Shifting Repeater*)

3. Repetidores com alimentação por fibra óptica (*Fiber Optic Repeater*)

Devido às características distintas, cada tipo de repetidor possui desempenho diferente com relação à degradação causada na rede. A seguir serão apresentados, para cada tipo de repetidor, suas principais características, limitações e situações onde são comumente utilizados.

3.2.1. Classificação quanto à filtragem

3.2.1.1. Repetidor de faixa larga

Este repetidor, de mais baixo custo, tem como característica amplificar toda a faixa de frequência de operação do sistema celular. Isto faz com que canais não pertencentes a ERB doadora sejam amplificados (incluindo canais de outras operadoras), aumentando consideravelmente o nível de interferência na região em torno do repetidor. Outro problema apresentado por este tipo de repetidor é o baixo ganho por canal e a maior probabilidade do amplificador ser saturado, devido aos diversos sinais de entrada.

Por estes dois motivos sua instalação deve ser feita preferencialmente em ambientes nos quais a isolação de outras fontes de sinais além da ERB doadora seja grande, evitando uma maior degradação do sistema. Este tipo de repetidor pode ser implantado em projetos externos (*outdoor*) em áreas isoladas, longe da influência de muitas ERB, ou em ambientes internos (*indoor*).

3.2.1.2. Repetidores Seletivos em Banda

Este repetidor possui características semelhantes ao de larga faixa, apresentando basicamente os mesmos problemas citados no item anterior, contudo permitem amplificar apenas a banda de uma operadora, evitando assim a degradação de desempenho do sistema de outras empresas. É utilizado em áreas urbanas com um planejamento cuidadoso para evitar a captação de sinais indesejados, e em projetos para ambientes interiores.

3.2.1.3. Repetidores Seletivos em Canal

Neste tipo de repetidor somente são recebidos e amplificados os canais da ERB doadora. Este repetidor garante melhor desempenho, pois pelo fato de não haver amplificação de canais indesejados, há uma redução na degradação do sistema. Em geral cada canal possui um PA (*power amplifier*) individual, fornecendo um grande ganho de amplificação por canal. No caso da utilização em um sistema com salto em frequência (*frequency hopping*), o conjunto de canais a ser amplificado deve conter todos os canais utilizados pela seqüência.

Em contra-partida ao melhor desempenho, este tipo de repetidor é mais caro que os demais tendo custo próximo ao de uma ERB completa. Sua utilização depende da análise da relação custo benefício para a determinação da melhor solução.

3.2.2. Classificação quanto à transmissão

3.2.2.1. Repetidores de mesma faixa

Este repetidor pode utilizar qualquer um dos três processos de filtragem já descritos. Nesta classe de repetidores, a interface aérea entre a ERB e o repetidor trabalha na mesma frequência de operação da interface repetidor-móvel. O sinal irradiado pela ERB para os terminais de usuário é captado por uma antena denominada de antena coletora; filtrado, amplificado e retransmitido pela antena servidora do repetidor, que irá atender a área de interesse. No sentido do enlace reverso o sinal proveniente do terminal móvel é captado pela antena servidora; amplificado e transmitido pela antena coletora para a ERB. Os ganhos introduzidos pelo repetidor nos enlaces direto e reverso podem ser configurados independentemente.

A utilização de uma mesma frequência de operação nas duas interfaces aéreas cria um delicado problema de isolamento entre as antenas coletora e servidora do repetidor. A possibilidade de acoplamento entre as duas antenas limita o ganho máximo utilizável tornando a obtenção de boas condições de isolamento entre as antenas, de fundamental

importância. Níveis adequados de isolamento são conseguidos através da escolha apropriada das antenas (lóbulos laterais e traseiros reduzidos) e de uma montagem eficiente. Em geral, este tipo de repetidor é utilizado também em locais com boa isolamento natural ou em coberturas de ambientes interiores.

3.2.2.2. Repetidores de faixa deslocada

Este tipo de repetidor só é disponível com filtragem de canal seletivo e consiste em duas unidades: Unidade ERB e Unidade Remota. A Unidade ERB fica fisicamente colocada na ERB doadora, podendo ser conectado diretamente à mesma utilizando-se acopladores direcionais. A função desta unidade é transladar as frequências das portadoras da ERB doadoras para que a transmissão para o repetidor ocorra em uma frequência diferente da utilizada pela ERB e pelo móvel.

A Unidade Remota desempenha a função de repetidor propriamente dita. A antena coletora recebe o sinal de frequência f_2 transladando-o novamente para a frequência inicial f_1 . O sinal é amplificado e enviado para a antena servidora, que proverá a cobertura da área de interesse. O processo análogo ocorre no reverso, de modo a manter a interface aérea entre a ERB-repetidor trabalhando em uma frequência diferente da utilizada pelo terminal móvel. A operação em frequências diferentes permite ganhos elevados no repetidor por reduzir o problema da isolamento.

3.2.2.3. Repetidores Ópticos

Os repetidores ópticos possuem uma interface de transmissão óptica entre a ERB e a estação remota. Este tipo de equipamento também possui duas unidades: a Unidade Central (*master*) e a Unidade Remota (*remote*), que irá cobrir a área desejada. Esse tipo de repetidor pode ser utilizado com qualquer tipo de filtragem, sendo que os mais comuns são os repetidores de banda seletiva. A Figura 3.2 mostra o esquema básico deste tipo de repetidor.

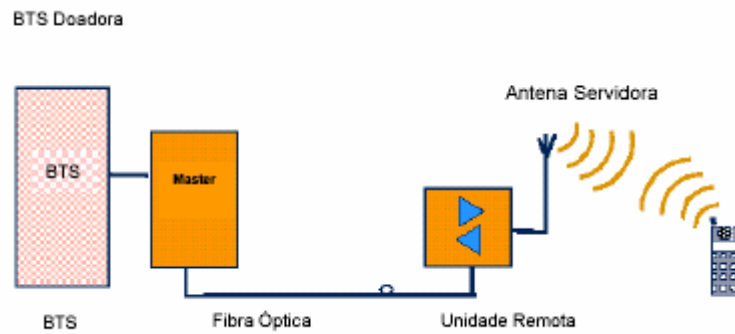


Figura 3.2 - Esquema básico de repetidor óptico

Através da Figura 3.2 pode-se ver que a Unidade Central é responsável por converter o sinal proveniente da ERB doadora em sinal óptico, que será transmitido até a unidade remota (repetidora).

O mesmo ocorre no enlace reverso (*uplink*), onde sinais provenientes do repetidor são transformados em sinais ópticos para serem enviados para a ERB doadora.

As vantagens deste tipo de repetidor são claras: as perdas na transmissão para o repetidor são baixíssimas, permitindo que várias estações repetidoras (a estação central permite ligação com mais de uma remota) sejam colocadas a distâncias razoáveis da ERB doadora. Pelo fato de um dos enlaces ser óptico, a maioria das penalidades acarretadas pelo uso do repetidor é reduzida.

A maior utilização deste tipo de repetidor é na cobertura de ambientes *indoor*, pois as estações remotas podem ser espalhadas pelo ambiente sem que haja muita perda nos enlaces. A utilização destes repetidores em ambientes externos é, em geral, economicamente e operacionalmente complicada, pois há a necessidade da passagem de fibra pela rua, o que onera o projeto e aumenta o seu tempo de implantação.

3.3. ESCOLHA DO REPETIDOR

O repetidor mais recomendado para aplicações externas em regiões com grande povoamento de ERB é o de amplificação seletiva em canal, o que oferece melhor desempenho permitindo a utilização de maiores ganhos.

Em aplicações em regiões rurais com poucas ERB's podem-se utilizar repetidores de banda seletiva, pois estes estarão bem isolados das outras ERB's não oferecendo grande risco a degradação do sistema. Em algumas aplicações urbanas, este repetidor pode ser utilizado desde que esteja devidamente isolado das outras ERB's. Pelo fato do amplificador ser de banda larga a probabilidade da recepção de sinais externos além dos da ERB

doadora, aumenta significativamente tornando-os pouco eficientes em regiões densamente ocupadas por ERB.

O repetidor de banda seletiva apresenta um custo mais baixo (para implantação), e tem como característica amplificar toda a faixa de frequência de operação do sistema celular. Isto faz com que canais não pertencentes a ERB doadora sejam amplificados (incluindo canais de outras operadoras), aumentando consideravelmente o nível de interferência na região em torno do repetidor. Como a região teste apresenta uma densidade muito pequena de ERB's, o nível de interferência será baixo.

Um dos objetivos é amplificar os canais de outras operadoras, fazendo com que o sistema funcione para qualquer tipo de aparelho móvel, ou prestadoras de serviços. Na Figura 3.3 abaixo tem-se um exemplo básico do sistema com repetidor.

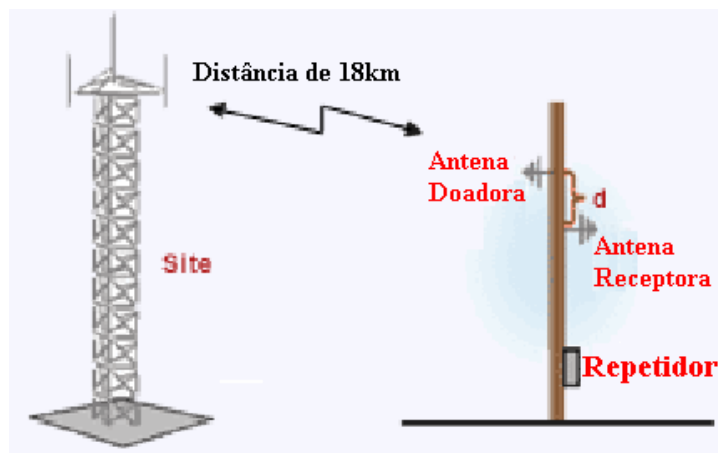


Figura 3.3 – Esquema Básico do Repetidor de Banda Seletiva

Como pode ser observado na Figura 3.3, o sistema apresenta uma antena doadora e uma antena receptora na região teste. Na Figura 3.4 abaixo, tem-se o diagrama em blocos do repetidor de banda seletiva.

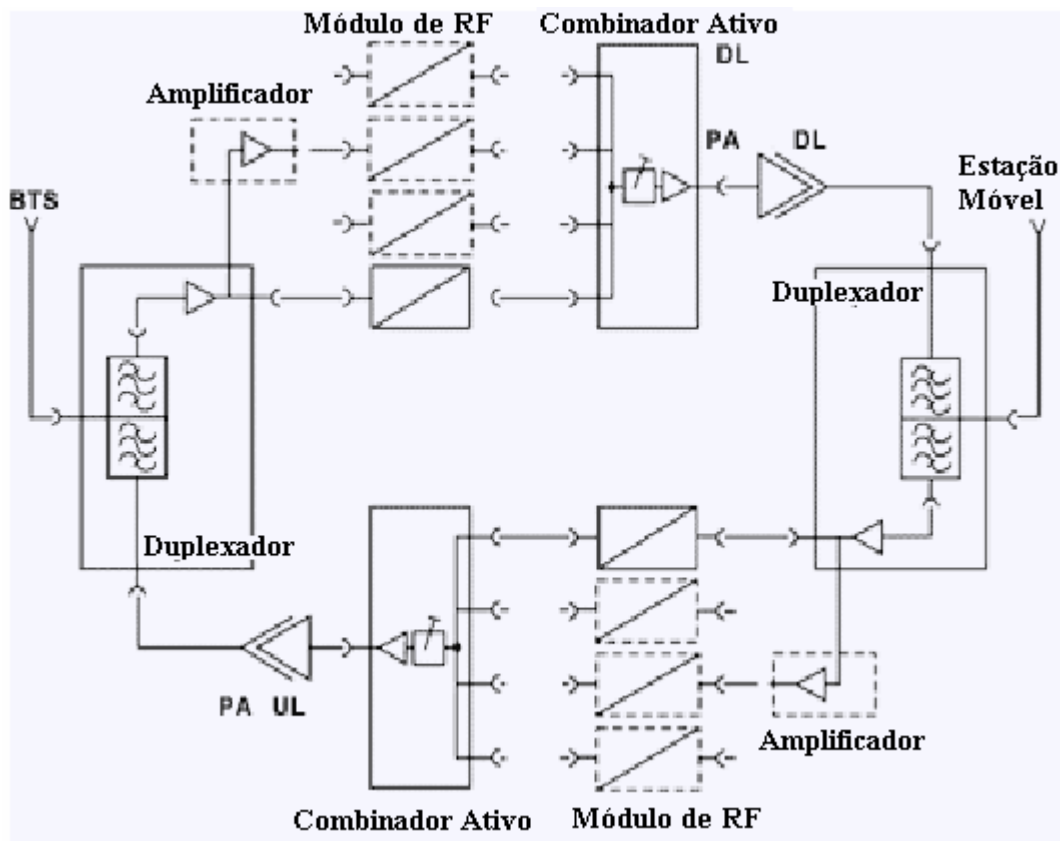


Figura 3.4 – Diagrama de Blocos do Repetidor de Banda Seletiva

Como pode ser observado na Figura 3.4 um sistema com repetidor amplificado (ou ativo) faz exame do sinal de uma antena receptora, amplifica o sinal através de um amplificador bidirecional e re-transmite-o ao interior do edifício/casa com uma antena transmissora. O mesmo processo ocorre no sentido oposto que faz exame do sinal do telefone móvel, amplifica o sinal através de um amplificador bidirecional e re-transmite-o para a antena transmissora.

3.3.1. Isolação Entre Antenas do Repetidor

Quando duas antenas são colocadas muito próximas uma da outra, ocorre um fenômeno denominado *acoplamento entre as antenas*, onde ambas “passam a trabalhar” em conjunto, tendo seus diagramas individuais alterados devido ao acoplamento formando então um novo diagrama.

Embora este efeito seja muito útil na construção de conjuntos de antenas em diversas aplicações, quando as antenas que trabalham com finalidades diferentes são

colocadas próximas, o efeito pode ser negativo destacando-se a alteração indesejada nos diagramas de radiação, interferência alta e, no caso de repetidores, uma realimentação que causa séria degradação do desempenho do sistema. Este problema é mais grave quando as antenas trabalham na mesma frequência. No caso de repetidores deslocados em frequência (*shift frequency repeaters*), o problema é amenizado. A Figura 3.5 abaixo ilustra o problema da realimentação.



Figura 3.5 - Efeito de realimentação em repetidores

Na Figura 3.5 pode-se verificar que caso o sinal proveniente da antena servidora chegue à antena coletora (que capta sinal proveniente da ERB doadora) com intensidade próxima ao sinal recebido pela própria coletora, pode ocorrer a auto-oscilação do repetidor. Para garantir que a realimentação não degrade o desempenho do sistema, o repetidor deve ser montado de modo a se obter uma isolamento mínima entre a antena servidora e a coletora. Para assegurar um bom desempenho, o valor desta isolamento deve ser igual ao ganho do repetidor mais uma margem entre 5-15dB [2]. Com o valor da isolamento consulta-se um gráfico para determinar a distância entre as antenas, esta distância pode ser tanto na horizontal quanto na vertical. Existe um gráfico específico para cada tipo de posicionamento (vertical ou horizontal). Estes gráficos se encontram no Anexo 1.

3.3.2. Efeitos de Saturação do Amplificador

Todo amplificador possui uma faixa dinâmica limitada em que sua resposta é linear. A operação na região não linear provoca conversão AM/PM [4] no caso de uma portadora e intermodulação no caso de mais de uma portadora. Serão descritos a seguir os efeitos de saturação do amplificador para o repetidor de banda seletiva.

Nestes tipos de repetidores, os sinais de diversos canais em conjunto com os canais da ERB doadora, causam dois importantes efeitos na qualidade do sinal amplificado:

- Operação na região não linear do amplificador
- Redução na amplificação por canal.

A. Efeitos no enlace direto

Dado um número de portadoras da ERB doadora, o amplificador do repetidor possui uma potência máxima de entrada que garante sua operação na região linear. Contudo, os sinais externos recebidos pelo repetidor, podem levá-lo a operar em sua região não linear acarretando distorções do sinal e degradações de desempenho da rede, em especial se este repetidor tiver montagem externa.

Pelo fato do amplificador ser de banda larga a probabilidade da recepção de sinais externos além dos da ERB doadora, aumenta significativamente tornando-os pouco eficientes em regiões densamente ocupadas por ERB.

Como o amplificador recebe N canais simultaneamente, o ganho máximo por canal⁷ é função do número de canais ativos. Em geral na região linear pode-se aproximar o ganho por canal do repetidor pela expressão:

$$G_{\text{por canal}}[\text{dB}] = G_{\text{TOTAL}} - 10\log(N) \quad (3.1)$$

No caso do repetidor se encontrar em um ambiente onde haja elementos interferentes (canais não pertencentes a ERB doadora chegando ao repetidor), a potência de saída por canal do amplificador do repetidor é reduzida [3], sendo dada por

$$P[\text{dBm}] = \frac{1}{2} \left[2I_3 - \left(\frac{C}{I} \right) - 10\text{Log} \left(N^2 - \frac{3N}{2} \right) \right] \quad (3.2)$$

onde:

⁷ Para o cálculo desta expressão os canais indesejados foram desprezados, por este motivo o ganho calculado seria um ganho máximo o qual existe apenas se nenhum canal externo estiver chegando ao repetidor.

C/I: É a relação sinal ruído na entrada do repetidor, quanto maior for esta relação menor será a potência de saída do repetidor. Na falta de um valor calculado, utiliza-se o valor mínimo padrão especificado para tecnologia.

I3: Ponto de interceptação de terceira ordem do amplificador em dBm.

N: Número de canais da ERB doadora.

O ganho por canal decresce rapidamente em função do número de portadoras ativas e elementos interferentes.

B. Efeitos no canal reverso

Basicamente o *uplink* apresenta os mesmos problemas enfrentados pelo *downlink*. Contudo este enlace possui uma maior complexidade, pois suas fontes irradiantes (terminais) estão em constante movimento. Terminais muito próximos podem levar a saturação do amplificador e/ou a redução do ganho de outros terminais. Este efeito é conhecido como *near-far effect*.

Existem alguns métodos para se evitar estes problemas:

- Utilização de um limitador de sinal: essa solução é utilizada apenas nos repetidores de canal seletivo [2] que utilizam um amplificador comum para todos os canais.
- Uso de antenas servidoras com diagramas horizontais estreitos: estes diagramas reduzem a probabilidade de que um usuário próximo esteja sendo servido pelo lóbulo principal da antena.

3.3.3. Parâmetros Típicos de Repetidores

O ganho máximo de repetidores é limitado pela necessidade de isolamento entre as antenas. Para repetidores de mesma frequência é necessária uma isolamento mínima de aproximadamente 15dB acima do ganho [2,3]. Como em montagens reais dificilmente se obtêm isolações superiores a 100dB, estes repetidores tanto de banda seletiva como de canal seletivo, apresentam tipicamente ganho máximo de 85dB. Já repetidores com deslocamento em frequência, podem operar com ganhos da ordem de 100dB [2]. Parâmetros típicos de repetidores são mostrados na Tabela 3.1 abaixo:

Tabela 3.1 - Parâmetros típicos de repetidores

Tipo	Pot. Máx. de Tx [dBm]	Ganho Máximo [dB]
Seletivo em Banda	21/potadora	85
Seletivo em Canal	33	85
Seletivo em Canal com Deslocamento em Freqüência	33	100

Fonte: Boaventura [3]

3.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A escolha do equipamento adequado, baseada em critérios de desempenho e custo, é de fundamental importância no projeto, especialmente na utilização de repetidores, dado que estes podem gerar penalidades as quais reduzirão o desempenho da rede. As principais causas de penalidades são as seguintes:

- Em qualquer ambiente *outdoor* a isolamento é um fator limitante para o ganho do repetidor. Portanto a montagem do repetidor é um passo crítico na implantação destes em áreas externas;
- O efeito da redução do ganho por canal na utilização de amplificadores de banda larga ocorre em todos os ambientes externos, contudo sua gravidade é função da densidade de ERB's instaladas nas imediações do repetidor. Deve-se também evitar a saturação do amplificador, pois em ambientes abertos o ruído de intermodulação pode provocar sérios danos à qualidade da rede;
- Em ambientes externos, pelo fato do repetidor não estar isolado das outras ERB's, a repetição de sinais interferentes podem causar degradações de desempenho. Esta penalidade é fortemente influenciada pela escolha do tipo de amplificação utilizada. Para o controle desta degradação o posicionamento adequado do repetidor é de fundamental importância;
- Sinais provenientes da ERB doadora podem chegar ao terminal móvel (o qual está sendo servido pelo repetidor) causando degradações de desempenho. Deve-se garantir que este nível de sinal esteja pelo menos 9dB [2] abaixo do sinal do repetidor e que o atraso entre estes não seja superior a duração do *time slot*.

Como dito anteriormente o repetidor de banda seletiva é a melhor opção para ambientes externos devido a seu baixo custo de implementação em relação aos demais, e

por amplificar toda a faixa de frequência de operação do sistema celular. Este será então o repetidor escolhido para o projeto.

No capítulo 4 serão vistas as etapas para confecção de protótipos para o sistema repetidor escolhido para a região teste.

3.5. REFERÊNCIAS

- [1] <http://www.gsl.net/n1bwt/preface.htm> online microwave antenna book. Acessado em 10/4/2004.
- [2] Luiz, B. M. A. *Planejamento de Cobertura de Sistemas GSM com Uso de Repetidores*/ Bruno Maia Antonio Luiz; Orientador: Luiz A. R. da Silva Mello – Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Elétrica, 2002.
- [3] Boaventura, A. M. S., *Avaliação de Métodos de Estimação da Direção de Chegada de Sinais em Sistemas de Comunicações Celulares*, Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Elétrica, 2003.
- [4] Smith, K., *Antennas For Low Power Applications*, Artech House, 1999.
- [5] <http://www.fariascelular.hpg.ig.com.br/rural/index.htm>. Acessado em 3/4/2004.
- [6] <http://www.jcantenas.com.br/servicos.htm>. Acessado em 10/2/2004.
- [7] Huemer, Eduardo Roberto. *Guia Prático de Antenas*. 9ª edição. Dinâmica Gráfica e Editora Ltda, São Paulo, 2003.
- [8] Rolim, T. H. de P. Novaes, C. P. D., Vono, A. de and Guimarães, D. A.. *Survey: A System for Propagation Analysis in Mobile Communication Environments*. VII International Conference on Engineering and Technology Education, INTERTECH 2002, Santos, SP, Março, 2002.
- [9] Rolim, T. H. de P. Novaes, C. P. D., Vono, A. de and Guimarães, D. A.. *Um Método para Síntese e Análise dos Principais Efeitos de Propagação em Canais de Rádio Móvel*. Revista Telecomunicações, Vol. 5, No. 1, pp. 35-40: Inatel, Santa Rita do Sapucaí, MG, Junho, 2002.
- [10] Novak, Mark., e Swanson, Kevin. *Cellular Repeater*. ECE 345 Senior Design Project Laboratory, University of Illinois, USA, Dezembro, 1999.

CAPÍTULO 4

PROPOSTA DE UM PROJETO DE TELEFONIA MÓVEL RURAL PARA A REGIÃO DE GUARAPUAVA

Neste capítulo são mostradas as etapas para elaboração de protótipos para repetidores. Será mostrada também uma análise dos custos envolvidos na elaboração dos protótipos.

4.1. INTRODUÇÃO

Tendo sido escolhido o repetidor de banda seletiva para o desenvolvimento dos protótipos, serão discutidas, em detalhe, as etapas de realização de projetos com repetidores, incluindo critérios de custo e desempenho para escolha do melhor equipamento a ser utilizado no enlace.

O propósito desta aplicação foi projetar um repetidor com amplificador de sinal para o sistema TDMA e/ou CDMA, usando a faixa de frequência de 800 a 900MHz do espectro de radiofrequência. A escolha da tecnologia dependerá do sinal captado na região escolhida para testes, isto é, depende qual estação rádio-base (ERB) estará mais próxima ou com sinal de potência mais adequado.

Para esta aplicação foram desenvolvidos dois protótipos, ou seja, um para a tecnologia CDMA e outro para a tecnologia TDMA/CDMA.

Os dois protótipos serão descritos a seguir.

4.2. FLUXOGRAMA PARA O DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Para a escolha da região teste foi desenvolvido um fluxograma que mostra as etapas para o desenvolvimento do projeto. O fluxograma está apresentado na Figura 4.1 abaixo.

A localidade a ser escolhida situa-se na região rural do município de Guarapuava, interior do Estado do Paraná.

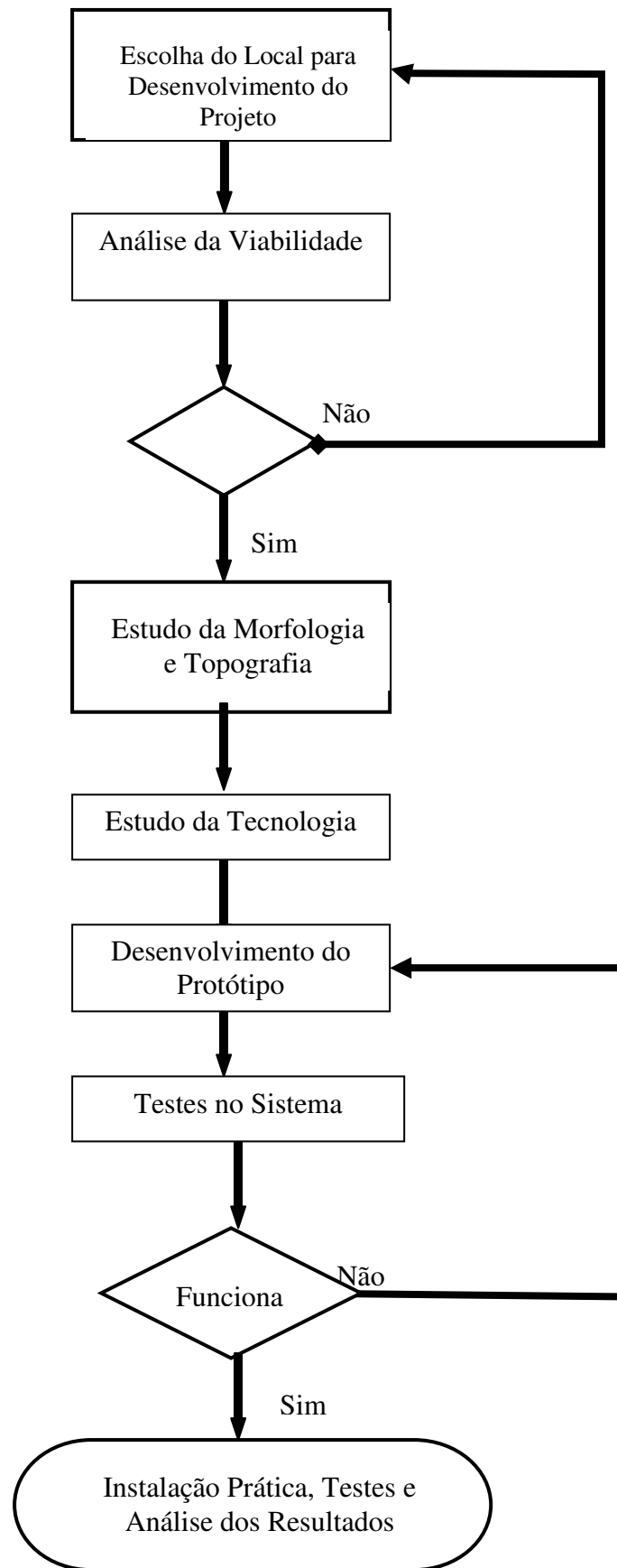


Figura 4.1 – Fluxograma para Desenvolvimento do Projeto

4.3. ESCOLHA DO LOCAL PARA O DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Como dito anteriormente a localidade a ser escolhida situa-se na região rural do município de Guarapuava, interior do Estado do Paraná.

O município de Guarapuava apresenta várias regiões rurais, tais como, Entre Rios, Palmerinha, Distrito do Guará e Guairacá.

Todas estas regiões já dispõem de algum sistema de telefonia.

O Distrito de Entre Rios é o mais bem servido pelo sistema de telefonia. A região é bem desenvolvida e a população tem uma situação econômica boa. O Distrito possui uma central telefônica da prestadora local e distribui as linhas telefônicas via cabo. O sistema celular também está disponível na região.

O Distrito de Palmerinha é o mais próximo do centro urbano, sendo assim, o sistema de telefonia via cabo está disponível na região bem como o sistema de telefonia celular.

O Distrito do Guará está mais longe do centro urbano. O sistema de telefonia disponível na região é o via rádio monocanal. Não possui serviço de telefonia celular.

O Distrito do Guairacá é servido pelo sistema de telefonia via rádio monocanal. Por estar a uma distância razoável do centro urbano, sinais do sistema celular podem ser captados na região, apesar de não apresentar o serviço de telefonia celular.

A situação econômica dos três últimos distritos é de razoável a regular.

A localidade escolhida situa-se na região conhecida como Morro Grande e Saltinho pertencente ao distrito do Guairacá. As coordenadas geográficas da região escolhida são: 25°15'24 "S e 51°22'11" W, a 1241m de altitude.

As coordenadas geográficas da estação rádio-base (ERB) mais próxima são: 25°22'62"S e 51°28'68"W, a uma altitude de 1093m.

4.4. ANÁLISE DA VIABILIDADE

Tendo-se escolhido a região para os testes é necessário verificar a viabilidade econômica e tecnológica da região.

Os Distritos de Entre Rios e Palmerinha já possuem o sistema de telefonia celular funcionando perfeitamente e a população não é carente deste tipo de serviço. O Distrito do Guará não possui sistema de telefonia celular, como dito anteriormente. Então a escolha é a do Distrito do Guairacá devido ao fato da região captar sinais do sistema celular e a população possuir uma situação econômica razoável.

Como o Distrito do Guairacá encontra-se a uma distância razoável do centro urbano do município de Guarapuava, o sistema de telefonia celular funciona intermitentemente,

dependo das condições climáticas e atmosféricas, da topografia e da tecnologia celular. Como o sistema é viável, o próximo passo é verificar a morfologia e a topografia da região escolhida.

4.5. ESTUDO DA MORFOLOGIA E TOPOGRAFIA

O estudo da morfologia e topografia não se restringe apenas à região teste, mais a todo o município de Guarapuava.

Guarapuava situa-se em um planalto que se estende até o rio Piquiri (de direção geral NW). Este planalto corresponde a uma superfície elevada com altitudes que variam de 600 a 1000m.

Os planaltos desta região dispõem-se em altitudes médias mais elevadas, podendo atingir 1200m, aos quais associam-se formas de relevo onduladas que são resposta aos altos e baixos estruturais regionais. Da região dos Campos de Guarapuava, na região central, apresentam mergulho de suas camadas para NW e SW e fraturamentos NW-SE, coincidentes com a direção segundo a qual distribuíram-se as rochas vulcânicas ácidas e intermediárias.

No planalto de Guarapuava foram identificados dois domínios geomorfológicos: a) suavemente ondulado com drenagem finamente entalhada e solos espessos; b) medianamente ondulado por ação de basculamento tectônico, com solos pouco espessos.

Segundo KULLER (1984) [1], as rochas vulcânicas ácidas de tipo ATC desta região, costumam ocupar regiões de relevo plano a levemente ondulado, com drenagens pouco encaixadas, vales abertos e horizontes largos. A rocha, quando aflorante, ocorre na forma de matacões que apresentam superfície encaroçada, em virtude de macrocristais de feldspatos que se sobressaem na matriz afanítica. Ainda na região planáltica o relevo, que varia de suave a moderadamente ondulado, apresenta declividades que variam de 5 a 12%, em cujos terrenos ainda é possível o uso de tratores e colheitadeiras. O relevo é pouco movimentado, onde se observam colinas com vertentes suave-convexizadas.

Como observado acima, pode-se concluir que topograficamente as comunicações celulares não encontram muitos obstáculos pois o relevo da região é pouco acidentado.

4.6. ESTUDO DAS TECNOLOGIAS

As tecnologias do sistema celular disponíveis na região são CDMA (Code Division Multiple Access) e TDMA (Time Division Multiple Access). A tecnologia GSM ainda está sendo implantada no município, contudo os aparelhos funcionam na tecnologia analógica.

4.7. DESENVOLVIMENTO DOS PROTÓTIPOS

4.7.1. PROTÓTIPO DE UM REPETIDOR PARA SER UTILIZADO COM TECNOLOGIA CDMA:

4.7.1.1. Diagrama de Blocos do Repetidor

Este sistema permite a comunicação entre usuários que de outro modo não seria possível, já que o sinal na região é fraco (baixa qualidade) e o serviço via cabo não está disponível. A interface com o usuário é feita através da antena do próprio *handset* (estação móvel do usuário) e no outro lado a antena da estação rádio-base. Qualquer sinal recebido em uma das antenas deve ser amplificado e transmitido para outra antena. A Figura 4.2 mostra o diagrama de blocos do repetidor.

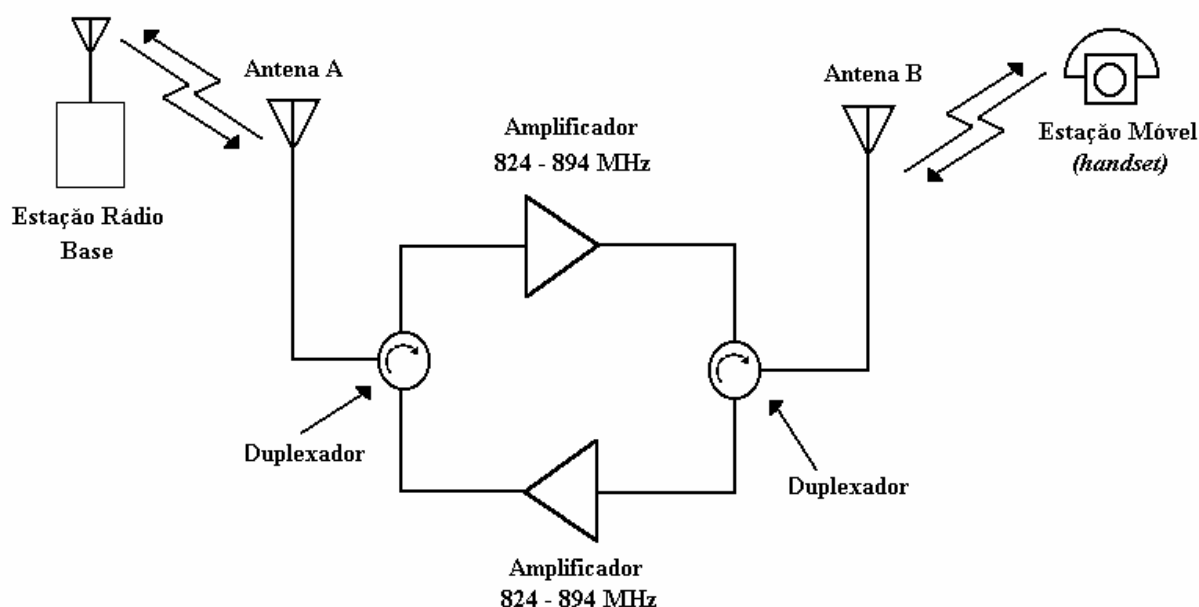


Figura 4.2 – Diagrama de Blocos do Repetidor de Celular para CDMA

Na Figura 4.2 pode-se notar que o sistema tem uma forma simétrica. A antena “A” recebe os sinais da estação rádio-base e transmite de volta para estação rádio-base versões amplificadas do sinal originado no telefone móvel celular. Simetricamente, a antena “B” recebe sinais do telefone móvel celular e transmite de volta ao telefone versões amplificadas do sinal originado da estação rádio-base.

O amplificador superior faz a amplificação dos sinais recebidos da estação rádio-base, enquanto que o amplificador inferior faz a amplificação dos sinais recebidos do *handset* do usuário. Este sistema requer o uso de dispositivos circuladores ou duplexadores

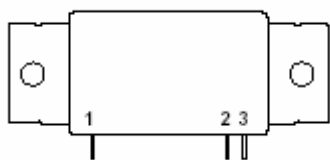
para evitar o acoplamento dos sinais de entrada de um amplificador com os sinais de saída do outro.

4.7.1.2. Parâmetros do Repetidor

O maior desafio do sistema foi projetar o ganho do repetidor sobre a faixa de freqüências escolhida. A TIM (*Telecom Italy Mobile*) e a VIVO utilizam a faixa de 824–849MHz para transmitir os sinais da estação rádio-base. Os *handset's* utilizam a faixa de 869-894MHz [2]. O sistema deve ser capaz de amplificar todos os sinais recebidos que estejam entre as faixas de freqüências acima citadas. Por simplicidade, o objetivo foi projetar um ganho do sinal do limite mais baixo da banda inferior ao limite mais alto da banda superior, isto é, de 824 a 894MHz. O sistema deve satisfazer as condições de freqüências da estação rádio-base, bem como, dos *handset's*. O maior desafio está no cálculo e projeto do ganho do amplificador do repetidor. Cada *site* terá suas condições de transmissão e o ganho deverá ser calculado para cada site individualmente. Na prática, medidas do sinal deverão ser feitas em cada *site* para determinar o ganho necessário para que a comunicação seja realizada com segurança. Depois de ter sido determinando o valor do ganho do *site*, o amplificador do repetidor deve ser projetado para produzir este ganho.

4.7.1.3. Escolha do Amplificador

Para o desenvolvimento do protótipo do repetidor será desenvolvido um circuito eletrônico para amplificação do sinal que é captado pela antena externa. Este circuito utilizará como componente principal o amplificador semicondutor BGF802–20 da Phillips [3], como mostrado na Figura 4.3 abaixo, que apresenta um ganho de 30dB e faixa de freqüência típica de 869–894MHz, 3W de potência, podendo ser utilizado para trabalhar apenas na tecnologia CDMA. Outras características do amplificador BGF802-20 poderão ser vistas no Anexo 2.



Pinagem – SOT365C

Pino	Descrição
1	Entrada de RF
2	V_s
3	Saída de RF
Flange	terra

Figura 4.3 – Amplificador BGF802-20 para tecnologia CDMA

A Figura 4.3 mostra a pinagem do amplificador BGF802-20, utilizado no protótipo do repetidor com tecnologia CDMA.

4.7.1.4. Escolha das Antenas

A escolha das antenas deve obedecer três objetivos: (1) faixa de frequência de operação, 824 – 894MHz; (2) baixa razão de ondas estacionárias (SWR) sobre esta faixa de frequências; e (3) radiação em todas as direções exceto na direção da saída do repetidor. O terceiro item garante que um sinal radiado não é recebido por outra antena, amplificado novamente e retransmitido (*loop* infinito), causando a saturação do amplificador e degradação do desempenho do repetidor.

Para este projeto foram utilizadas duas antenas fixas tipo direcional, para a transmissão e para a recepção, trabalhando como antenas servidora e doadora, mostradas nas Figuras 4.4 e 4.5 abaixo.

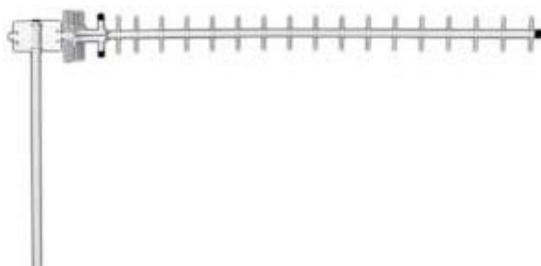


Figura 4.4 – Antena CF – 919 – Servidora

Na Figura 4.4 tem-se o exemplo da antena direcional com 19 elementos, utilizada tanto na transmissão como na recepção. Como anteriormente mostrado no capítulo 1, o maior número de elementos garante um ganho maior da antena.

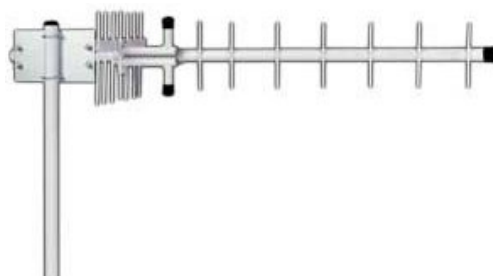


Figura 4.5 – Antena CF – 915 – Doadora

Na Figura 4.5 tem-se o exemplo da antena direcional com 15 elementos, utilizada tanto na transmissão como na recepção.

Para garantir que a realimentação não degrade o desempenho do sistema, o repetidor deve ser montado de modo a se obter uma isolação mínima entre a antena servidora e a coletora. Para assegurar um bom desempenho, o valor desta isolação foi calculado utilizando um valor igual ao ganho do repetidor mais uma margem entre 5-15dB. Com o valor da isolação consulta-se o gráfico para determinar a distância entre as antenas, esta distância pode ser tanto na horizontal quanto na vertical. Existe um gráfico específico para cada tipo de posicionamento (vertical ou horizontal). Estes gráficos se encontram no Anexo 1.

4.7.1.5. Circuladores e/ou Duplexadores

Devido ao fato de ambas antenas estarem recebendo e transmitindo ao mesmo tempo, alguns tipos de circuitos acopladores são necessários para isolar a transmissão e recepção dos sinais. Particularmente, o circuito acoplador precisa evitar que a saída de um amplificador realimente a entrada do outro. Circuladores operam como dispositivos de três portas, onde a entrada da porta 1 alimenta a saída da porta 2, e a entrada da porta 2 alimenta a saída da porta 3, e a entrada da porta 3 alimenta a saída da porta 1. O circuito de isolação interna previne que o sinal circule em outras direções. Duplexadores atuam essencialmente como filtros passa-faixa, permitindo que sinais de uma determinada faixa de frequências passem, rejeitando todos os outros. Um duplexador convenientemente configurado teria essencialmente a mesma função que um circulador.

Circuitos de acoplamentos alternativos foram estudados devido o custo destes dispositivos, especialmente os duplexadores, que para a pequena quantidade a ser utilizada no protótipo, seria excessivamente alto.

4.7.1.6. Filtros Passa-Faixa

A alternativa considerada envolveu o projeto e a construção de filtros passa-faixa, realizando a função do próprio duplexador. A Figura 4.6 mostra o diagrama esquemático do filtro.

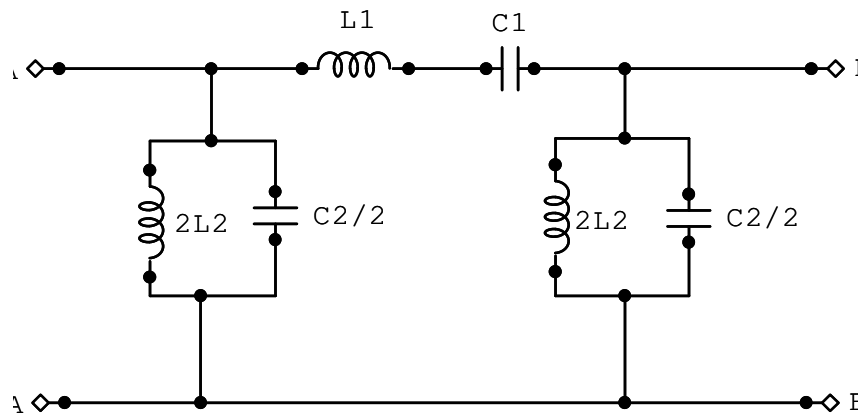


Figura 4.6 – Diagrama Esquemático do Filtro Passa-Faixa

O filtro a ser utilizado é um filtro passa-faixa, como observado na Figura 4.6 acima. O uso de circuitos acopladores ou filtros é necessário devido à distância entre as antenas de transmissão e recepção. Os cálculos [4] dos valores dos componentes estão no Anexo 4.

4.7.1.7. Esquema Final do Repetidor

As Figuras 4.7 e 4.8 abaixo mostram a configuração final do amplificador. Foi utilizada uma fonte chaveada CC de 26V para alimentar o circuito. O protótipo foi montado sobre uma placa de alumínio que serve ao mesmo tempo como dissipador de calor e sistema de aterramento do circuito.

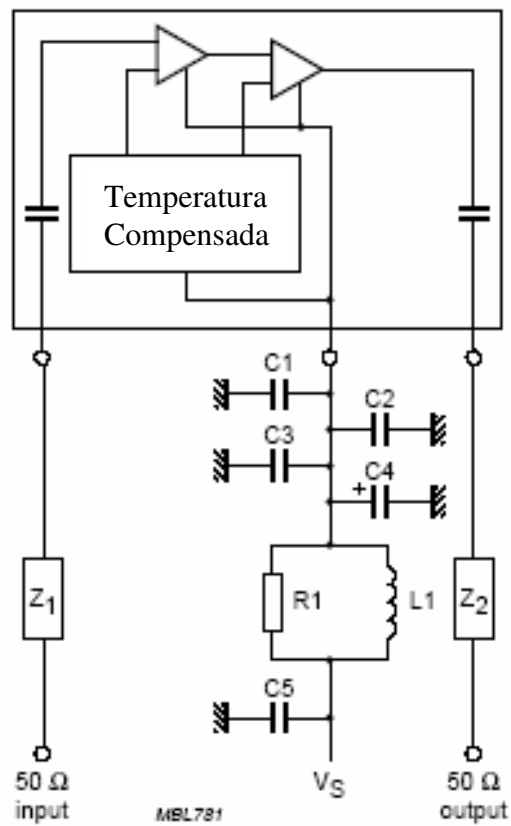


Figura 4.7 – Esquema Elétrico Final do Amplificador para CDMA

Na Figura 4.7 pode-se observar o diagrama elétrico do protótipo para tecnologia CDMA.

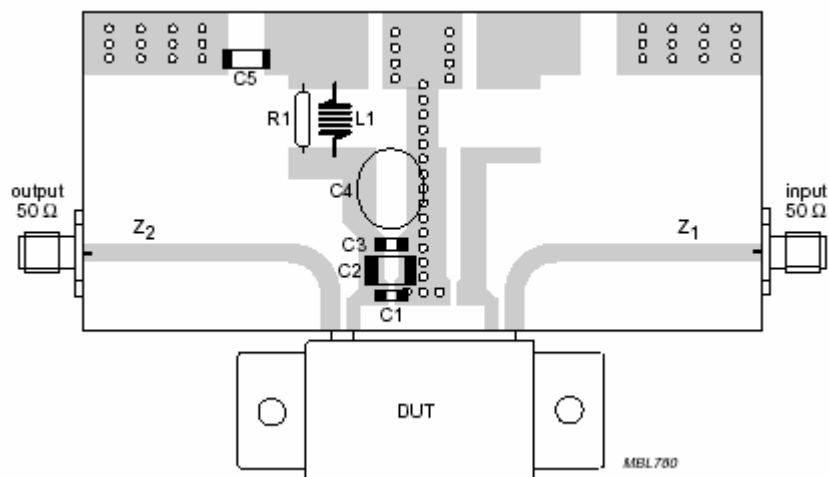


Figura 4.8 – Esquema final do Amplificador para CDMA

Na Figura 4.8 os itens indicados como RF IN e RF OUT são as entradas/saídas para interligar o amplificador as antenas transmissora e receptora. Os capacitores C_1 e C_3 são de 100nF, 50V. Os capacitores C_2 e C_5 são de 10 μ F, 35V. O capacitor C_4 é de 100 μ F, 35V. O resistor R_1 é de 10 Ω , 0.4W e L_1 é o indutor. As impedâncias de entrada e saída do circuito são Z_1 e Z_2 e apresentam o valor de 50 Ω , para que ocorra um casamento de impedâncias com as respectivas antenas.

Para que o protótipo funcione como um repetidor é necessário a confecção de dois amplificadores separados com filtros para as faixas de frequência de transmissão do aparelho do usuário (handset) e recepção da estação rádio-base. Estes protótipos serão acoplados as antenas fixas para celular, descritas no item 4.7.1.4., como mostra a figura 4.2.

4.7.2. PROTÓTIPO DO REPETIDOR COM TECNOLOGIA CDMA/TDMA:

4.7.2.1. Diagrama de Blocos do Repetidor

Assim como o protótipo anterior, este sistema permite a comunicação entre usuários que de outro modo não seria possível. Funcionalmente o projeto é semelhante ao anterior. Novamente a interface com o usuário é feita através da antena do próprio *handset* do usuário e no outro lado a antena da estação rádio-base. A Figura 4.9 mostra o diagrama de blocos deste sistema.

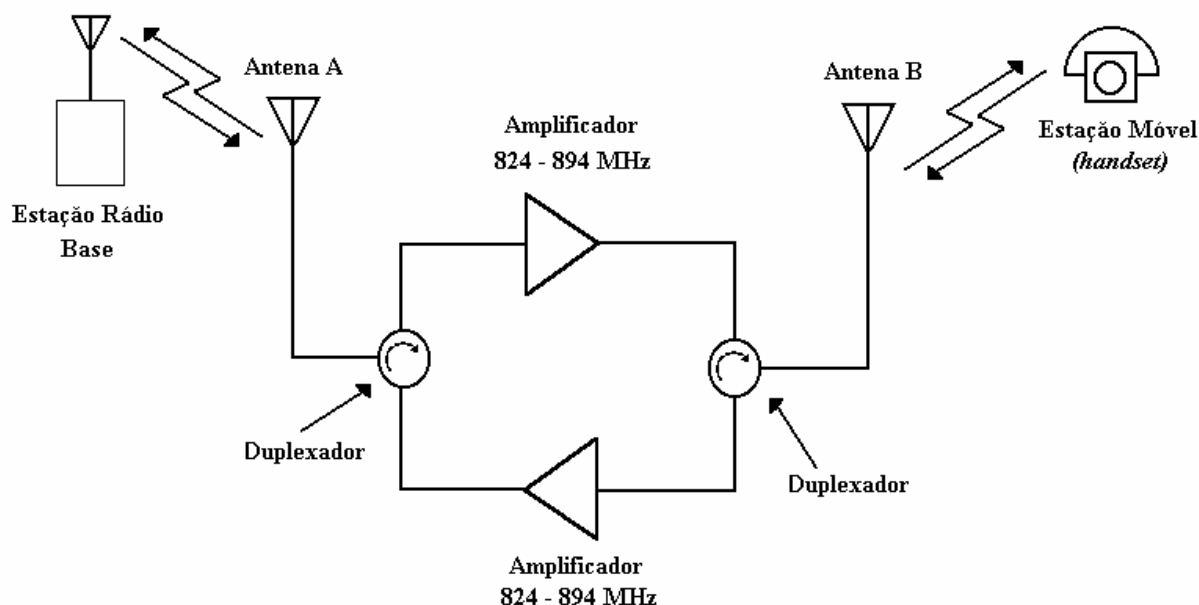


Figura 4.9 – Diagrama de Blocos do Repetidor de Celular para CDMA/TDMA

A Figura 4.9 mostra que o sistema é simétrico, ou seja, a antena “A” capta os sinais da estação rádio-base e retransmite para estação rádio-base versões amplificadas do sinal originado no telefone móvel celular. Simetricamente, a antena “B” capta sinais do telefone móvel celular e retransmite ao telefone versões amplificadas do sinal originado da estação rádio-base.

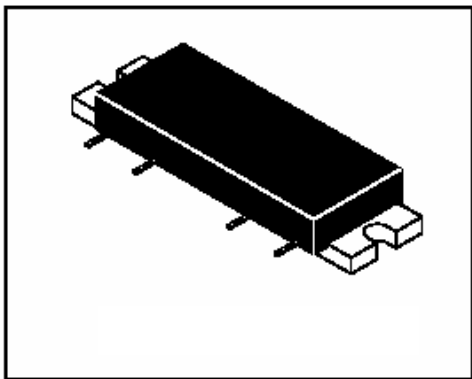
O amplificador superior faz a amplificação dos sinais captados da estação rádio-base, enquanto que o amplificador inferior faz a amplificação dos sinais captados do *handset* do usuário. Este sistema requer o uso de dispositivos circuladores ou duplexadores para evitar o acoplamento dos sinais de entrada de um amplificador com os sinais de saída do outro.

4.3.2. Parâmetros do Repetidor

O maior desafio do sistema está no cálculo e projeto do ganho do amplificador do repetidor. O sistema deve ser capaz de amplificar todos os sinais recebidos que estejam entre as faixas de frequências da estação rádio-base, bem como, dos *handset*'s. Cada *site* terá suas condições de transmissão e o ganho deverá ser calculado para cada *site* individualmente. Na prática, medidas do sinal deverão ser feitas em cada *site* para determinar o ganho necessário para que a comunicação seja realizada com segurança. Depois de ter sido determinando o valor do ganho do *site*, o amplificador do repetidor deve ser projetado para produzir este ganho.

4.3.3. Escolha do Amplificador

Para o desenvolvimento do protótipo do repetidor será desenvolvido um circuito eletrônico para amplificação do sinal que é captado pela antena externa. Este circuito utiliza como componente principal o amplificador semicondutor **MHL9838** da Motorola [5], mostrado na Figura 4.10 abaixo, que apresenta um ganho de 31dB e faixa de frequência típica de 800 – 925MHz, 8,0W de potência, podendo ser utilizado para trabalhar nas tecnologias CDMA e TDMA. Outras características do amplificador MHL9838 poderão ser vistas no Anexo 3.



Pino	Descrição
1	Entrada de RF
2	V_{DD1}
3	V_{DD2}
4	Saída de RF
Flange	Terra

Figura 4.10 – Amplificador MHL9838 para tecnologia CDMA/TDMA

A Figura 4.10 mostra a pinagem do amplificador MHL9838, utilizado no protótipo do repetidor com tecnologia CDMA/TDMA.

4.3.4. Escolha das Antenas

A escolha das antenas deve obedecer três objetivos citados anteriormente, ou seja, (1) faixa de frequência de operação, 824 – 894MHz; (2) baixa razão de ondas estacionárias (SWR) sobre esta faixa de frequências; e (3) radiação em todas as direções exceto na direção da saída do repetidor. O terceiro item garante que um sinal radiado por uma antena não é recebido por outra, amplificado novamente e retransmitido (*loop* infinito), causando a saturação do amplificador e degradação do desempenho do repetidor.

Para este projeto foram utilizadas as mesmas antenas do protótipo anterior, ou seja, duas antenas fixas tipo direcional, para a transmissão e para a recepção dos sinais, sendo uma servidora e outra doadora.

Assim como no protótipo anterior, para garantir que a realimentação não degrade o desempenho do sistema, o repetidor deve ser montado de modo a se obter uma isolamento mínima entre a antena servidora e a coletora. Para assegurar um bom desempenho, o valor desta isolamento foi calculado utilizando um valor igual ao ganho do repetidor mais uma margem de segurança entre 5-15dB. Com o valor da isolamento consulta-se o gráfico para determinar a distância entre as antenas, esta distância pode ser tanto na horizontal quanto na vertical. Existe um gráfico específico para cada tipo de posicionamento (vertical ou horizontal). Estes gráficos se encontram no Anexo 1.

4.3.5. Circuladores e/ou Duplexadores

Como visto no projeto anterior o fato de ambas antenas estarem recebendo e transmitindo ao mesmo tempo, requer o uso alguns tipos de circuitos acopladores para isolar a transmissão e recepção dos sinais. Particularmente, o circuito acoplador precisa evitar que a saída de um amplificador realmente a entrada do outro. O circuito de isolamento interna previne que o sinal circule em outras direções. Duplexadores atuam essencialmente como filtros passa-faixa, permitindo que sinais de uma determinada faixa de frequências passem e rejeitando todos os outros.

Circuitos de acoplamento alternativos foram estudados devido ao custo destes dispositivos, especialmente os duplexadores, que para a pequena quantidade a ser utilizada no protótipo, seria excessivamente alto.

4.3.6. Filtros Passa-Faixa

Como no protótipo anterior, o uso de circuitos acopladores ou filtros é necessário devido à distância entre as antenas de transmissão e recepção. Os cálculos [4] dos valores dos componentes estão no Anexo 4.

Foram projetados filtros para a recepção e para a transmissão dos sinais do amplificador.

4.3.7. Esquema Final do Amplificador

A Figura 4.11 mostra a configuração final do amplificador. Foi utilizada uma fonte chaveada CC de 26V para alimentar o circuito. O protótipo foi montado sobre uma placa de alumínio que serve ao mesmo tempo como dissipador de calor e sistema de aterramento do circuito.

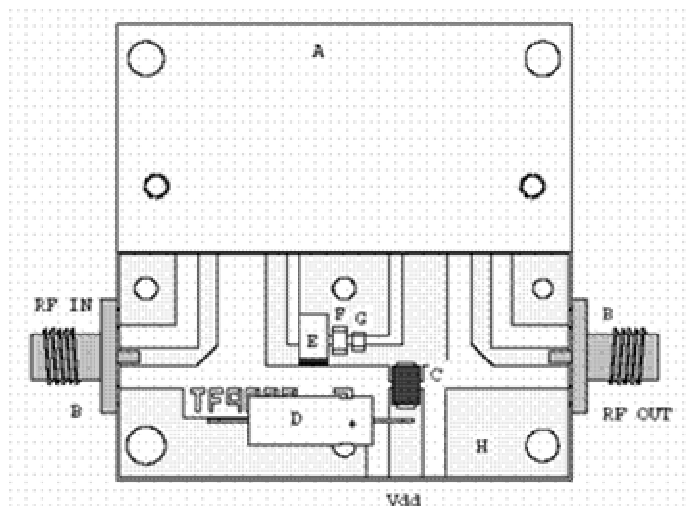


Figura 4.11 – Esquema final do Amplificador para CDMA/TDMA

Na Figura 4.11 os itens indicados como RF IN e RF OUT são as entradas/saídas para interligar o amplificador as antenas transmissora e receptora. O item indicado pela letra “A” é a placa de alumínio acima citada. O item “B” é o conector SMA fêmea para ligar os cabos coaxiais das antenas. O item “C” é o indutor (L1). Os itens “D”, “E”, “F” e “G” são os capacitores (10 μ F, 1 μ F, 0,1 μ F e 0,01 μ F, respectivamente). O item “H” é a própria placa de circuito impresso. E Vdd é a alimentação do sistema.

Assim como o protótipo para a tecnologia CDMA, é necessária a confecção de dois amplificadores separados com filtros para as faixas de frequência de transmissão do aparelho do usuário (handset) e recepção da estação rádio-base. Estes protótipos serão acoplados as antenas fixas para celular, descritas no item 4.7.1.4., como mostra a figura 4.2.

4.8. TESTES NO SISTEMA

A metodologia utilizada na realização dos testes será apresentada no capítulo 5. Os testes realizados foram apenas preliminares, verificando apenas o funcionamento do amplificador.

4.9. INSTALAÇÃO PRÁTICA, TESTES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com o sistema funcionando são realizados então a instalação, os testes e a análise dos resultados, que também serão apresentados no capítulo 5.

4.10. CUSTOS DOS PROTÓTIPOS

A seguir são mostradas as Tabelas 4.1 e 4.2 com os valores dos componentes principais dos dois protótipos. O objetivo é mostrar que este sistema tem um custo

relativamente baixo, podendo ser implementado não apenas em regiões em que o sinal é fraco, mas também em regiões onde os custos de implantação dos sistemas de comunicações (telefonia fixa rural, via rádio, etc) são altos.

Tabela 4.1 – Custo do Projeto para o Protótipo com Tecnologia CDMA

Componente	Descrição	Fabricante	Custo Unitário	Quantidade	Custo Total
BGF802-20	Amplificador 900 MHz	Phillips	R\$ 450,00	1	R\$ 450,00
CF-913	Antena Receptora	Amplimatic	R\$ 50,00	1	R\$ 50,00
CF-919	Antena Transmissora	Amplimatic	R\$ 70,00	1	R\$ 70,00
-	Indutores	-	R\$ 0,77	2	R\$ 1,54
-	Capacitores	-	R\$ 0,37	4	R\$ 1,48
FTP 2603	Fonte CC	Hayonik	R\$ 30,00	1	R\$ 30,00
SMA Fêmea	Conectores	-	R\$ 8,91	2	R\$ 17,82
-	Outros	-	-	-	R\$ 30,00
Custo Total do Projeto:					R\$ 650,84 ⁸

A Tabela 4.1 mostra os custos envolvidos para a confecção do protótipo do repetidor utilizando tecnologia CDMA.

Tabela 4.2 – Custo do Projeto para o Protótipo com Tecnologia CDMA/TDMA

Componente	Descrição	Fabricante	Custo Unitário	Quantidade	Custo Total
MHL9838	Amplificador 900 MHz	Motorola	R\$ 250,00	1	R\$ 250,00
CF-913	Antena Receptora	Amplimatic	R\$ 50,00	1	R\$ 50,00
CF-919	Antena Transmissora	Amplimatic	R\$ 70,00	1	R\$ 70,00
-	Indutores	-	R\$ 0,77	2	R\$ 1,54
-	Capacitores	-	R\$ 0,37	4	R\$ 1,48
FTP 2603	Fonte CC	Hayonik	R\$ 30,00	1	R\$ 30,00
SMA Fêmea	Conectores	-	R\$ 8,91	2	R\$ 17,82
-	Outros	-	-	-	R\$ 30,00
Custo Total do Projeto:					R\$ 450,84 ⁹

⁸ Este cálculo não inclui o valor das horas de trabalho do técnico.

⁹ Este cálculo não inclui o valor das horas de trabalho do técnico.

A Tabela 4.2 mostra os custos envolvidos para a confecção do protótipo do repetidor utilizando tecnologia CDMA/TDMA.

4.11. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Até o final da década de 90 o sistema de telefonia móvel funcionava relativamente bem na região. Com a massificação do uso dos celulares, ou seja, aumento no número de usuários, o sistema começou a apresentar problemas na região teste. Isto se deve ao fato de que com o aumento de usuários teve-se um aumento no número de ERB's, conseqüentemente uma diminuição da área de cobertura das ERB's de modo que uma não interferisse no sinal da outra. Esta diminuição provocou uma queda na qualidade do sinal na região rural, como se a região pertencesse a uma área de sombra.

A utilização de repetidores se tornou uma necessidade.

4.12. REFERÊNCIAS

- [1] KULLER, M.L. 1984. Caracterização litoestrutural e aspectos ambientais da área de influência da usina hidrelétrica Segredo (Rio Iguaçu), PR. Dissertação de Mestrado, IGCE/UNESP, Rio Claro, SP. 107p.
- [2] Agência Nacional de Telecomunicações "Atribuição, Destinação e Distribuição de Faixas de Freqüências no Brasil", 2004, <http://www.anatel.gov.br/Radiofrequencia/plaradio.asp>. Acessado em 20/04/04.
- [3] Phillips BGF802-20, Semiconductor Technical Data, Phillips Inc., 2003.
- [4] Romano, Hélio Drago, "Filtros de Freqüência e Linhas de Transmissão", ch. 9, pp.104-118, Rio de Janeiro, 1999.
- [5] Motorola MHL9838, Semiconductor Technical Data, Motorola Inc., 2002.

CAPÍTULO 5

TESTES, MEDIÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão mostrados os testes realizados, os métodos utilizados para aquisição dos sinais medidos em campo, bem como, uma análise dos resultados obtidos.

5.1. INTRODUÇÃO

Na localidade conhecida como Morro Grande e Faxinal do Saltinho foi realizado um estudo de caso simulando uma implantação de um sistema operando na faixa de 800 a 900MHz com tecnologia CDMA e TDMA.

A escolha de campo aberto para os testes de funcionamento dos dois protótipos, deve-se a necessidade de obter resultados em condições reais de funcionamento dos protótipos. Em laboratório não se conseguiria simular as condições sistêmicas (tipo de cobertura), bem como, as características topográficas e morfológicas do local ou região teste.

A metodologia utilizada para a verificação dos resultados obtidos nos testes, com os dois protótipos, será descrita e comentada, bem como, serão mostradas as análises de viabilidade técnica e econômica da utilização de repetidores para o atendimento das necessidades de comunicação dos habitantes desta localidade.

5.2. TESTES E MEDIÇÕES

As medidas de sinal foram realizadas em campo aberto, ou seja, na localidade¹⁰ em que o repetidor será implementado. Para a verificação dos sinais medidos foi utilizado um analisador de espectros modelo 4032 *AMPS B.A.T.E. Universal Analog/Digital Communication Test Set*, da marca *Wavetek*.

Foram realizados testes de comunicação com aparelhos celulares das tecnologias TDMA e CDMA, da marca Nokia.

Foram feitas medidas para os dois protótipos (tecnologia CDMA e tecnologia CDMA/TDMA) sob duas condições distintas, ou seja, com o circuito do repetidor desligado e com o circuito ligado. Os resultados dos sinais medidos no analisador de espectro (sinais) foram os seguintes.

¹⁰ Localidade conhecida como Morro Grande e Faxinal do Saltinho, região rural do Município de Guarapuava, Paraná.

5.2.1. Análise dos Sinais para o Repetidor com Tecnologia CDMA:

Para analisar os sinais de rádio frequência emitidos pelos retransmissores (ERB's) e telefones celulares foi utilizado um analisador de sinais de RF. A Figura 5.1 mostra o painel frontal do equipamento utilizado.

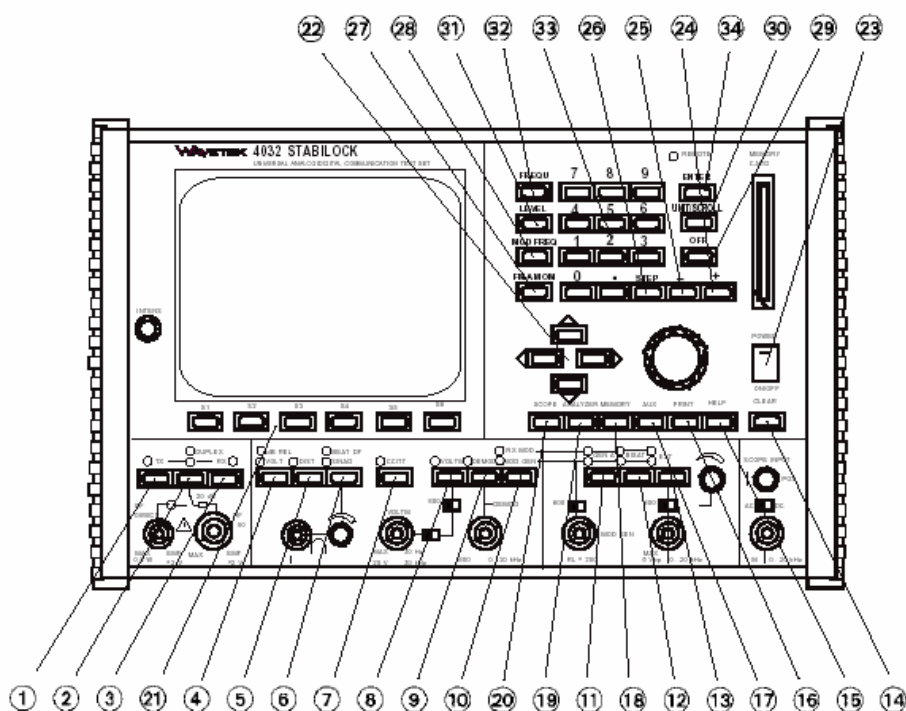


Figura 5.1 – Vista frontal do Analisador de Sinais

A Figura 5.1 mostra o Analisador de Sinais da marca *Wavetek* modelo STABLOK 4032 com faixa de frequências de 27MHz até 999MHz, o qual é satisfatório para analisar sinais das tecnologias CDMA e TDMA.

5.2.1.1 Metodologia para a aquisição de sinais.

Para capturar os sinais foram utilizadas três antenas de RF sendo que duas acopladas ao amplificador de RF onde a primeira é utilizada para capturar sinais do meio ambiente e enviar ao amplificador, a segunda é utilizada para enviar os sinais de RF amplificados para o meio, enquanto que a terceira antena tem a finalidade de capturar os sinais do meio ambiente e enviar para o analisador de sinais. A Figura 5.2 ilustra a maneira utilizada para captura e análise de sinais.

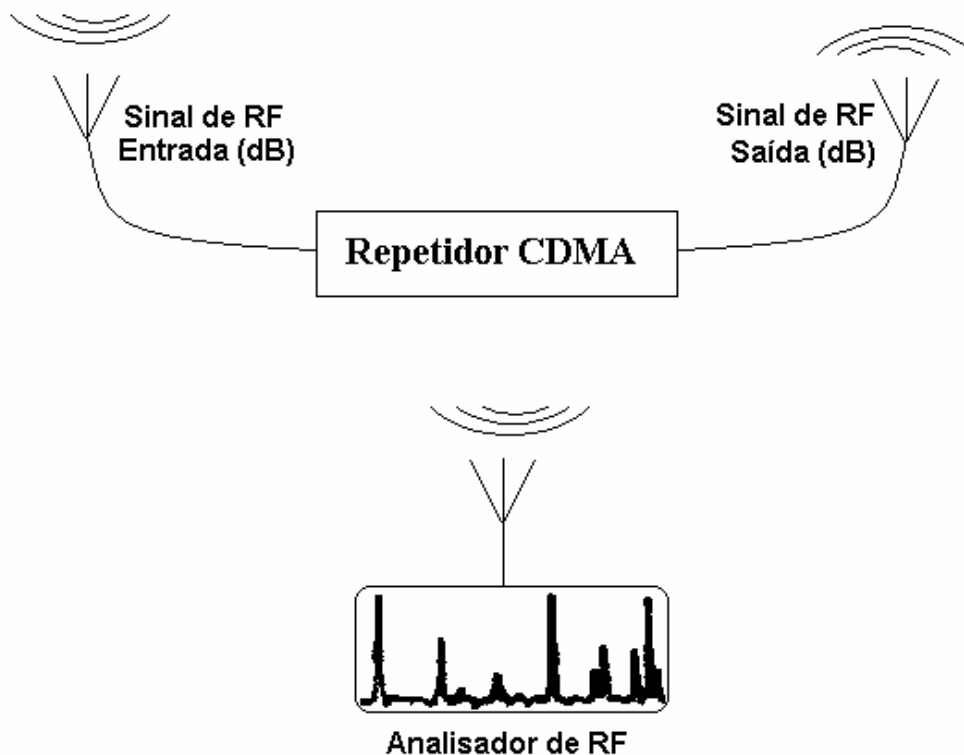


Figura 5.2 – Sistema de captura e análise de sinais

Na Figura 5.2 é mostrado o esquema de captura dos sinais com a utilização de três antenas de RF. As antenas que capturam os sinais de entrada e saída do circuito do repetidor ficam distantes entre si 18m. Esta distância foi calculada utilizando os gráficos do anexo 1, de modo a garantir uma isolamento mínima entre a antena servidora e a coletora. Para assegurar um bom desempenho, o valor desta isolamento foi calculado utilizando um valor igual ao ganho do repetidor mais uma margem entre 5-15dB, totalizando um valor de 45dB. Consultando o gráfico verifica-se um valor de 20 pés de distância (horizontal) entre as antenas. Fazendo a conversão para o sistema métrico, o valor será de 6.096m de distância mínima entre as antenas. A escolha do local para a fixação destas antenas foi realizada com o auxílio do telefone portátil, sendo escolhida a localização que apresentou a máxima indicação de sinal, ou o local mais elevado da região teste. O uso de circuitos acopladores ou filtros foi necessário devido à distância entre as antenas de transmissão e recepção. A antena do analisador de sinais é acoplada com o próprio equipamento, sendo que no momento dos testes ficou situada próxima ao circuito do repetidor.

5.2.1.2. Faixa de sinal analisada

Para realizar os testes de aquisição de sinais foi utilizada a faixa de 820MHz até 900MHz no analisador de sinais.

5.2.1.3. Testes com o Repetidor Utilizando Tecnologia CDMA

A. Sinal sem o Repetidor de RF.

Neste caso o sinal adquirido pelo analisador de RF mostra que não existe valor mensurável na faixa de freqüência analisada, a Figura 5.3 foi tratada com software específico¹¹, pois a mesma foi obtida através de uma máquina fotográfica digital, já que o analisador de sinal não possuía saída serial ou paralela para enviar os dados para um computador pessoal.

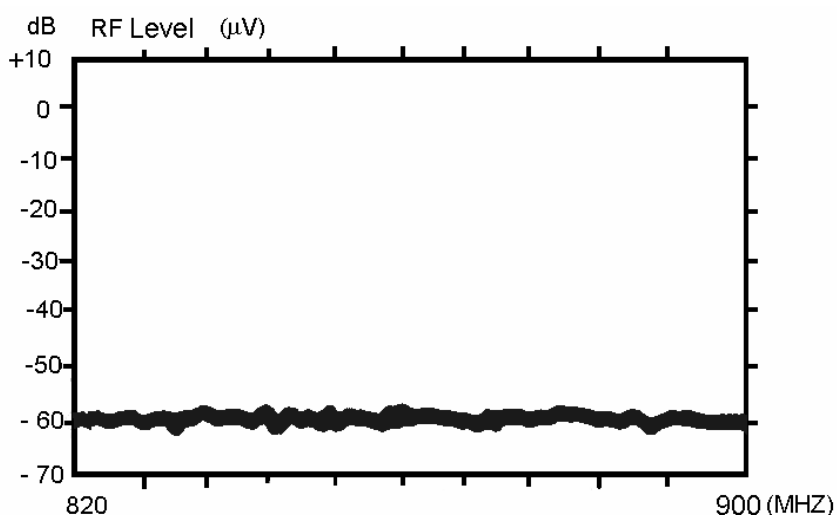


Figura 5.3 – Sinal com Repetidor CDMA Desligado

A Figura 5.3 mostra que não há sinal mensurável, ou seja, o sinal medido está na faixa de -60dB. A Figura 5.4 mostra a o sinal obtido via máquina digital.

¹¹ PhotoImpression versão 3 da ArcSoft Inc, 1999.

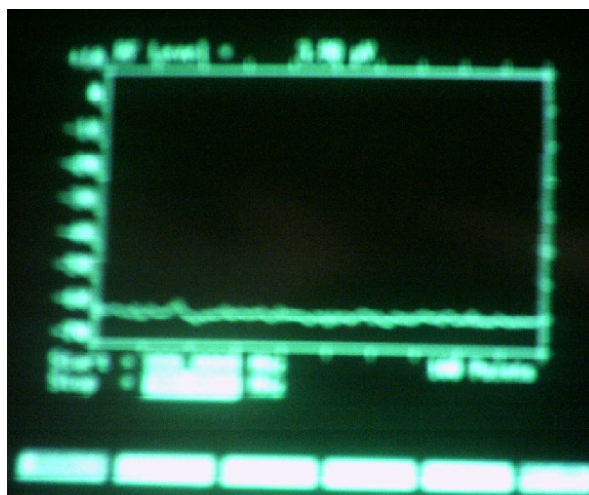


Figura 5.4 – Sinal Capturado pela Câmera Fotográfica

A Figura 5.4 mostra que o sinal capturado não apresenta uma boa nitidez, daí a necessidade da utilização do software.

Ao ligar-se o analisador de sinais na região teste, o mesmo efetua uma varredura para verificação e captura dos sinais apresentados naquela região, assim a escala utilizada (-70dB a +10dB) é automaticamente gerada pelo equipamento.

B. Sinal com o Repetidor de RF

A Figura 5.5 mostra o comportamento do sinal obtido pelo analisador de sinais na faixa de freqüências utilizada para telefonia celular quando o circuito do repetidor de RF foi ligado, observa-se que há uma melhora sensível no sinal na faixa analisada.

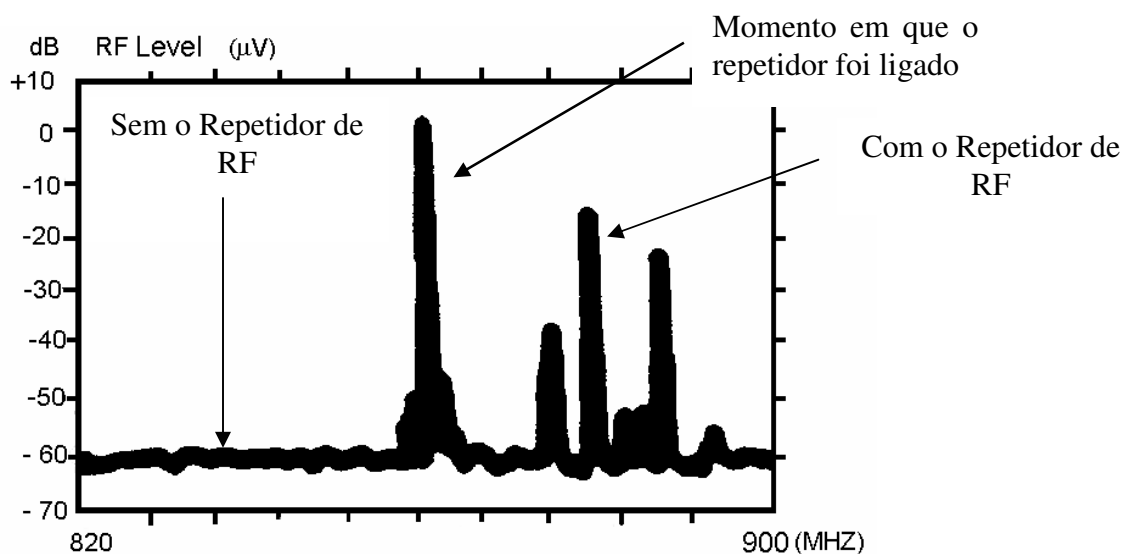


Figura 5.5 – Sinal com o Repetidor CDMA

Pode-se notar na Figura 5.5 que há um pico no sinal na faixa de frequência analisada quando o amplificador foi ligado e o mesmo não se repetiu após a estabilização do mesmo, ou seja, este pico foi gerado por algum transiente ou ruído do próprio amplificador.

C. Estabilização do Sinal

Decorrido alguns minutos após ligar o repetidor foram obtidos os sinais mostrados nas Figuras 5.6 e 5.7.

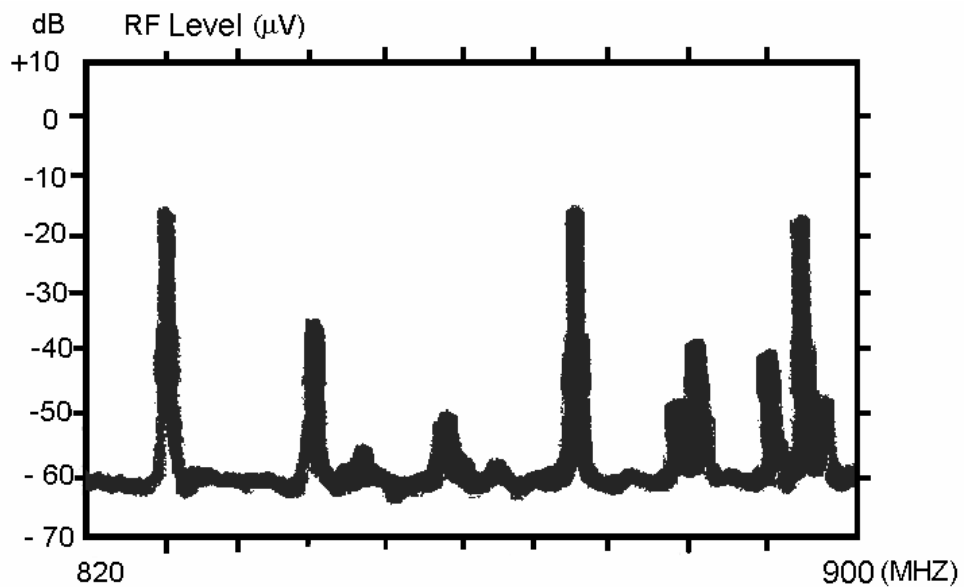


Figura 5.6 – Estabilização do Sinal (5 min)

A Figura 5.6 mostra a estabilização do sinal cinco (5) minutos após o repetidor ter sido ligado. A medida foi efetuada com este tempo para verificar o comportamento do sinal após a estabilização da atuação dos componentes do circuito, como também, para verificar o aquecimento do sistema.

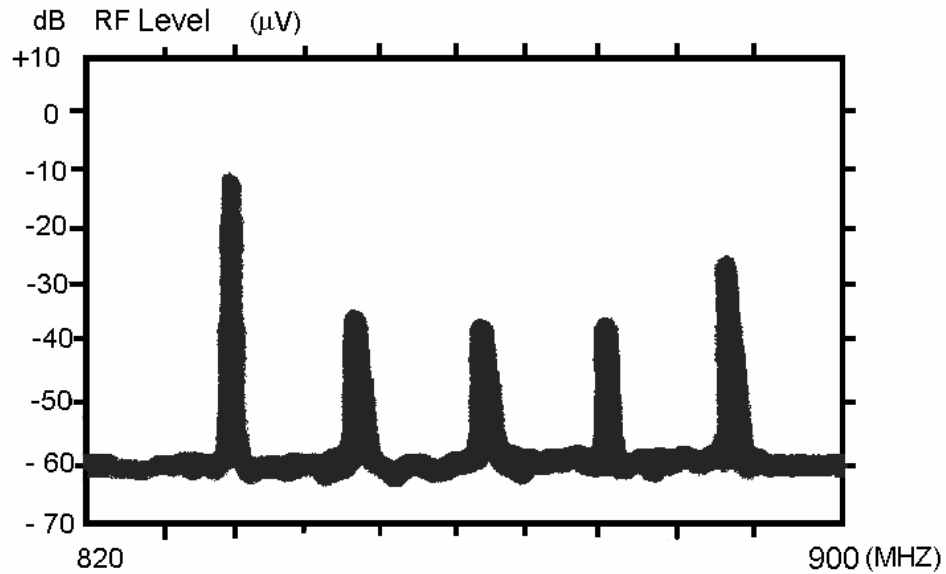


Figura 5.7 – Estabilização do Sinal (15 min)

A Figura 5.7 mostra a estabilização do sinal quinze (15) minutos após o repetidor ter sido ligado. Esta segunda medida foi efetuada no tempo acima citado para verificação da estabilidade do sinal, já que na região há muita variação da alimentação da rede elétrica local.

As duas Figuras (Figura 5.6 e Figura 5.7) mostram que os sinais estão estáveis, pois os valores dos mesmos não baixam de - 40 dB de potência de saída do amplificador.

Na prática observou-se que para ligações originadas pelo telefone celular para telefone fixo (região urbana) distante 18Km, obteve-se êxito em praticamente todas as tentativas, em torno de 95%, mas para ligações originadas do telefone fixo para o telefone celular o percentual de êxito caiu para aproximadamente 70%. Em uma outra situação foram feitas ligações entre dois telefones celulares, sendo que os mesmos estavam localizados na mesma posição, ou seja, próximo ao repetidor de RF. Neste caso a eficiência ficou em torno de 50%. Isto ocorreu devido ao fato que a posição da antena de entrada de RF para o amplificador é de fundamental importância para a captura do sinal oriundo da estação rádio-base (ERB). A Figura 5.8 mostra o esquema utilizado para as ligações entre os aparelhos telefônicos usados nos testes.

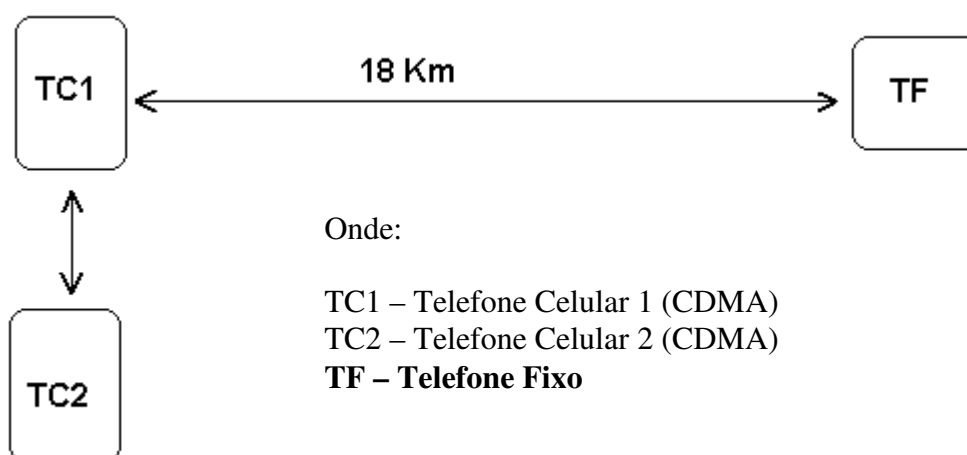


Figura 5.8 – Esquema de Ligações entre Aparelhos Telefônicos

A Tabela 5.1 mostra os resultados obtidos nas ligações entre os aparelhos telefônicos utilizados nos testes.

Tabela 5.1 – Número de Ligações entre os Aparelhos Telefônicos (CDMA)

Ligação origem	Ligação destino	Número de Ligações	Ligações Concluídas
TC1 – TC2	TF	10	9
TF	TC1 – TC2	10	7
TC1 – TC2	TC1 – TC2	10	5

Na Tabela 5.1 verifica-se o número de tentativas de ligações entre aparelho celular – telefone fixo, aparelho fixo – telefone celular e aparelho celular – aparelho celular, e o resultado obtido em número de ligações concluídas.

D. Desligando o Repetidor de RF.

Após algumas horas (3 horas) de testes o repetidor foi desligado para observar o comportamento do sinal obtido, através do analisador de sinais. A Figura 5.9 abaixo mostra os sinais no momento em que o repetidor foi desligado.

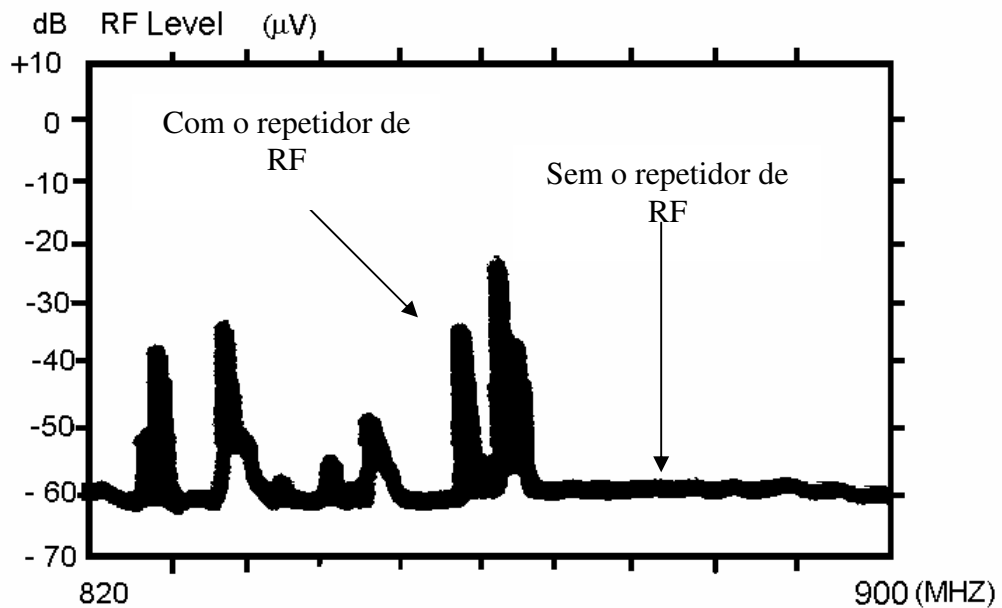


Figura 5.9 – Repetidor CDMA Desligado

A Figura 5.9 mostra que neste caso o fenômeno que ocorreu era o esperado, ou seja, após cessar a alimentação do amplificador de rádio frequência o analisador de sinal voltou a mostrar sinal sem valor mensurável, neste caso - 60dB.

5.2.2. Análise dos Sinais para o Repetidor com Tecnologia CDMA:

Para analisar os sinais de rádio frequência emitidos pelos retransmissores (ERB's) e telefones celulares foi utilizado um analisador de sinais de RF, mostrado na Figura 5.1 acima.

A Figura 5.1 mostra o Analisador de Sinais da marca *Wavetek* modelo STABILOBLOK 4032 com faixa de frequências de 27MHz até 999MHz, o qual é satisfatório para analisar sinais das tecnologias CDMA e TDMA.

5.2.2.1 Metodologia para a aquisição de sinais.

Para capturar os sinais foram utilizadas três antenas de RF sendo que duas acopladas ao amplificador de RF onde a primeira é utilizada para capturar sinais do meio

ambiente e enviar ao amplificador, a segunda é utilizada para enviar os sinais de RF amplificados para o meio, enquanto que a terceira antena tem a finalidade de capturar os sinais do meio ambiente e enviar para o analisador de sinais. A Figura 5.10 ilustra a maneira utilizada para captura e análise de sinais.

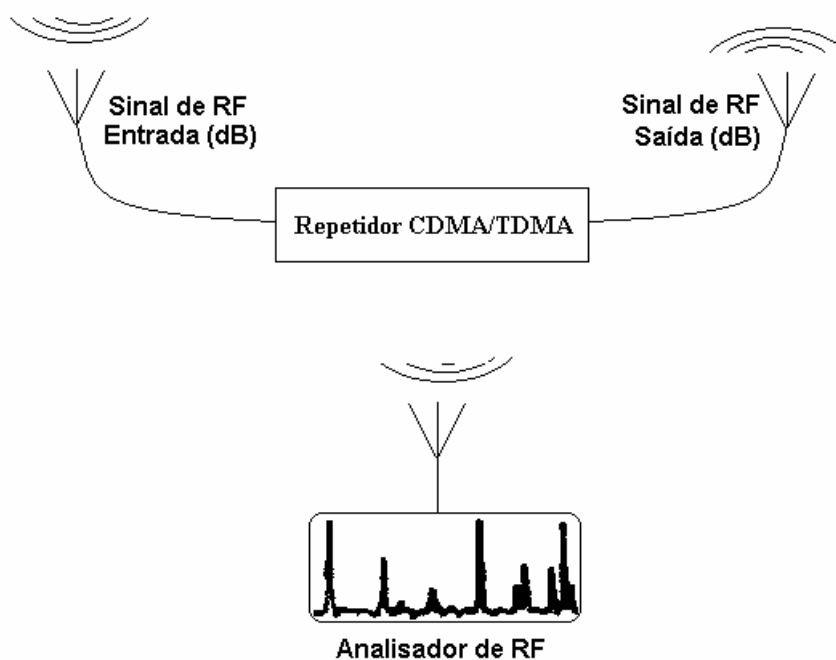


Figura 5.10 – Sistema de captura e análise de sinais

Na Figura 5.10 é mostrado o esquema de captura dos sinais com a utilização de três antenas de RF. As antenas que capturam os sinais de entrada e saída do circuito do repetidor ficam distantes entre si 18m. Esta distância foi calculada utilizando os gráficos do anexo 1, de modo a garantir uma isolação mínima entre a antena servidora e a coletora. Para assegurar um bom desempenho, o valor desta isolação foi calculado utilizando um valor igual ao ganho do repetidor mais uma margem entre 5-15dB, totalizando um valor de 46dB. Consultando o gráfico verifica-se um valor de 22 pés de distância (horizontal) entre as antenas. Fazendo a conversão para o sistema métrico, o valor será de 6.7056m de distância mínima entre as antenas. A escolha do local para a fixação destas antenas foi realizada com o auxílio do telefone portátil, sendo escolhida a localização que apresentou a máxima indicação de sinal, ou o local mais elevado da região teste. O uso de circuitos acopladores ou filtros foi necessário devido à distância entre as antenas de transmissão e recepção. A antena do analisador de sinais é acoplada com o próprio equipamento, sendo que no momento dos testes ficou situada próxima ao circuito do repetidor.

5.2.2.2. Faixa de sinal analisada

Para realizar os testes de aquisição de sinais foi utilizada a faixa de 820MHz até 900MHz no analisador de sinais.

5.2.2.3. Testes com o Repetidor Utilizando Tecnologia CDMA/TDMA

A. Sinal sem o Repetidor de RF.

Como no repetidor para CDMA o sinal adquirido pelo analisador de sinais mostra que não existe valor mensurável na faixa de freqüência analisada, ou seja, sinal de amplitude menor que -60dB. A Figura 5.11 abaixo mostra os sinais com o repetidor desligado.

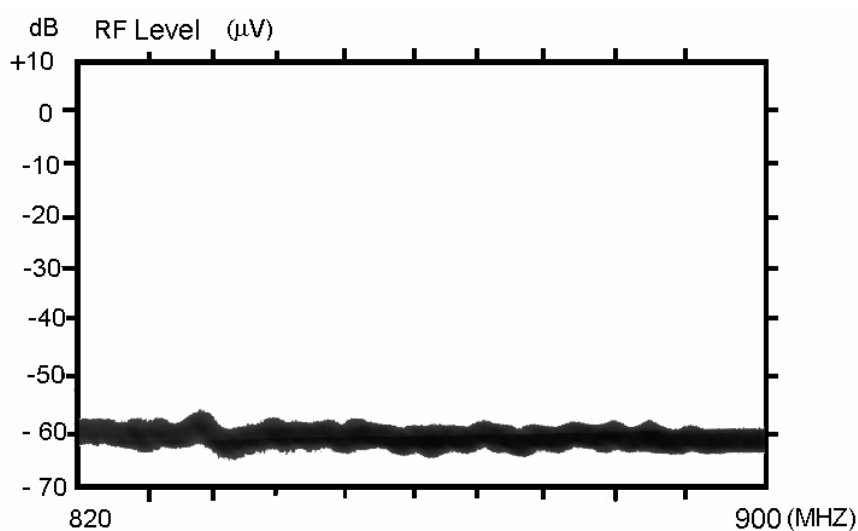


Figura 5.11 – Repetidor CDMA/TDMA Desligado

B. Estabilização do Sinal

Neste repetidor nota-se que o sinal é mais instável, ou seja, dependendo do instante o sinal desaparece conforme mostrado nas Figuras 5.12 e 5.13 abaixo, mas o mesmo se restabelece em alguns segundos.

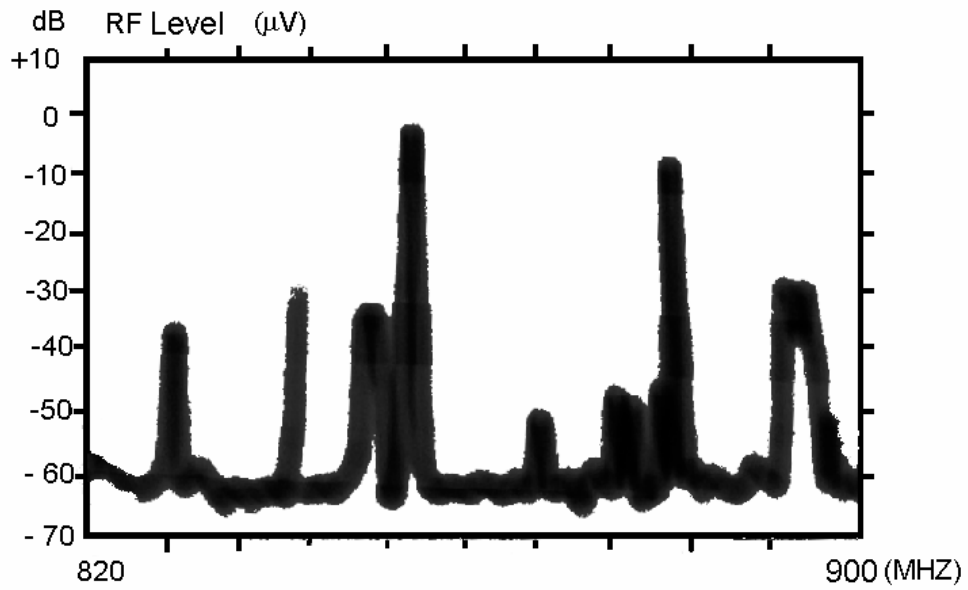


Figura 5.12 – Sinal com Repetidor CDMA/TDMA

A Figura 5.12 mostra os sinais com o amplificador ligado por um período curto de tempo (5 minutos após o repetidor ter sido ligado).

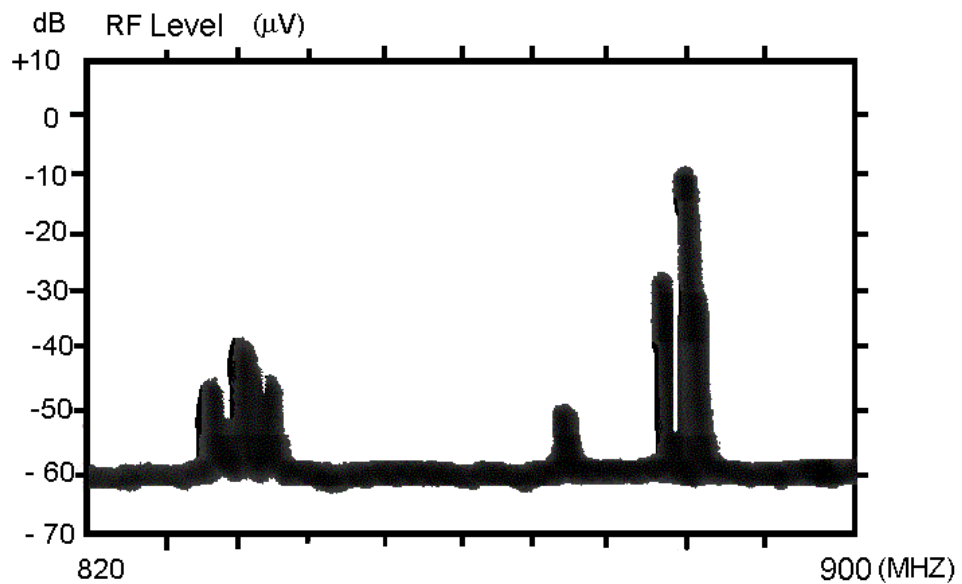


Figura 5.13 – Instabilidade do Sinal do Repetidor CDMA/TDMA

A Figura 5.13 mostra a instabilidade do sinal. Foi observado que esta instabilidade surge quando há um aquecimento excessivo do amplificador. Em uma análise posterior do circuito do repetidor, verificou-se que esta instabilidade era causada por solda fria na conexão de entrada da antena de recepção do sinal. Infelizmente esta constatação foi verificada em laboratório, não podendo realizar-se novamente os testes na região rural escolhida. Como já dito anteriormente, os testes em laboratório não reproduzem as condições do local de teste.

Na prática observou-se que para ligações originadas pelo telefone celular (TC1 ou TC2) para telefone fixo (TF) (região urbana) distante 18Km, obteve-se êxito em praticamente todas as tentativas em torno de 80%, mas para ligações originadas do telefone fixo (TF) para o telefone celular (TC1 ou TC2) o percentual de finalização nas ligações caiu para aproximadamente 60%. A Figura 5.14 abaixo mostra o sistema de ligações entre os aparelhos telefônicos utilizados nos testes.

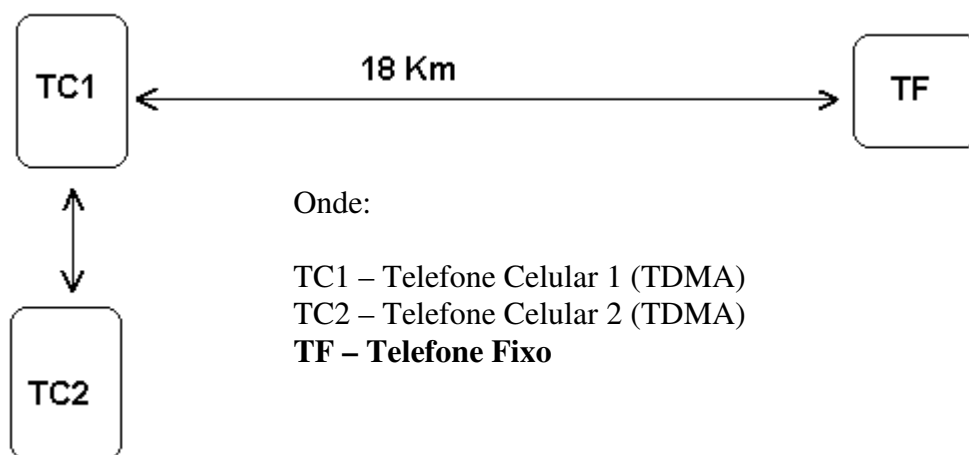


Figura 5.14 – Sistema de Ligações entre Aparelhos Telefônicos

A Figura 5.14 mostra ainda uma outra situação onde foram feitas ligações entre dois telefones celulares (TC1 e TC2), sendo que os mesmos estavam localizados na mesma posição, ou seja, próximo ao circuito do repetidor de RF, neste caso a eficiência ficou em torno de 40%. Isto ocorreu pois a posição da antena de entrada de RF para o amplificador é de fundamental importância para a captura do sinal oriundo da estação rádio-base (ERB).

A Tabela 5.2 mostra os resultados obtidos nas ligações entre os aparelhos telefônicos utilizados nos testes.

Tabela 5.2 – Número de Ligações entre os Aparelhos Telefônicos (CDMA/TDMA)

Ligação origem	Ligação destino	Número de Ligações	Ligações Concluídas
TC1 – TC2	TF	10	8
TF	TC1 – TC2	10	6
TC1 – TC2	TC1 – TC2	10	4

Na Tabela 5.2 pode-se verificar o número de tentativas de ligações entre aparelho celular – telefone fixo, aparelho fixo – telefone celular e aparelho celular – aparelho celular, e o resultado obtido em número de ligações concluídas. O número de tentativas é o mesmo para os dois protótipos.

C. Tabela de Consumo de Corrente entre os Amplificadores

Durante a execução dos testes foram feitas medições de consumo de corrente para os dois repetidores, para comparar o nível de eficiência entre a amplificação do sinal e a potência consumida. Os resultados são mostrados nas Tabelas 5.3 e 5.4 abaixo.

Tabela 5.3 – Consumo de Corrente para o Sistema CDMA

Tensão Aplicada (V)	Corrente de Consumo
24 V	0,75 A

Tabela 5.4 – Consumo de Corrente para o Sistema CDMA/TDMA

Tensão Aplicada (V)	Corrente de Consumo
24 V	1,0 A

Através das Tabelas 5.3 e 5.4 verifica-se o que o protótipo com tecnologia CDMA/TDMA tem um nível maior de consumo de corrente, conseqüentemente uma

potência maior, o que pode ser verificado comparando os dados do fabricante dos dois amplificadores utilizados nos protótipos.

5.3. INVERSOR CC/CA

Durante os testes houve algumas interrupções no fornecimento de energia elétrica por períodos longos, levando assim a ser desenvolvido um elevador de tensão de 12Vcc para 110Vca, cuja a finalidade era aproveitar a energia fornecida por baterias de carros. Segue abaixo o circuito desenvolvido com a sua descrição de funcionamento.

Este circuito usa um oscilador de onda senoidal RC com transistor para criar uma frequência na corrente contínua proveniente da bateria. Devido a atuação de efeito oscilatório, o sinal que sai dos transistores Q3 e Q4 (transistores NPN) é sempre invertido um em relação ao outro. A Figura 5.15 mostra o diagrama elétrico deste circuito.

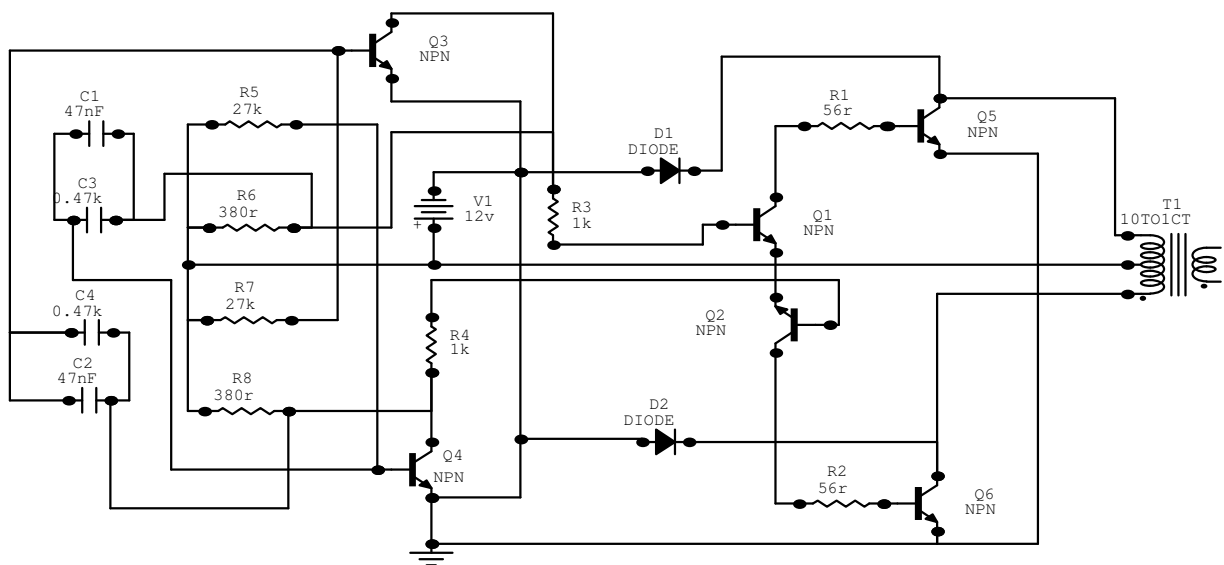


Figura 5.15 – Diagrama Elétrico do Circuito

Na Figura 5.15 pode-se notar que o sinal que sai de Q3 e Q4 (circuito oscilador) é negativo. Este sinal irá polarizar as bases dos transistores Q1 e Q2 (circuito conversor) que são transistores PNP, os mesmos depois de polarizados conduzirão um sinal positivo do emissor para o coletor alimentando a base dos transistores Q5 e Q6 (circuito acionador)

fazendo assim uma ligação em cascata para aumentar o ganho de corrente, melhorando a performance do circuito. Após a polarização de Q5 e Q6 os mesmos entram em condução alimentando o secundário do transformador e alternando o sinal negativo nos extremos dos enrolamentos. O oscilador também fornece um sinal positivo constante no terminal central do secundário do enrolamento do transformador (12+12V), que alimentado eleva esta tensão para 110 ou 220 Vca ,100 W. Com a tensão alternada de 110V basta apenas ligar a fonte chaveada de 26Vcc.

5.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A confecção dos protótipos foi a parte mais crítica do projeto, devido ao tempo despendido na espera de chegada dos componentes para os mesmos. Os dois amplificadores utilizados no projeto, BGF802-20 (Phillips) e MHL9838 (Motorola), foram importados. Isto além de encarer o projeto, provocou atrasos na confecção dos protótipos.

Durante o período de espera dos componentes foi confeccionado e testado o funcionamento do circuito inversor CC/CA. A necessidade do mesmo se deve ao fato de interrupções no fornecimento de energia elétrica no local do teste. Isto é facilmente explicado. Quando há um aumento de consumo da energia elétrica da região urbana é necessário suprir esta demanda, com isto, a energia que é fornecida para a região rural é então utilizada para prover esta necessidade. Como os habitantes da região rural utilizam cargas pequenas, a energia é remanejada desta região para a região urbana (por períodos curtos de tempo, mas várias vezes ao dia).

As experiências com os amplificadores para tecnologia CDMA (Phillips) e CDMA/TDMA (Motorola) mostraram que tal alternativa é economicamente viável. Os resultados indicam uma sensível melhora na qualidade do sinal.

Os resultados mostrados são dos testes preliminares. Há a necessidade de novos testes verificando o efeito do circuito do repetidor sobre a estação rádio-base (ERB). Outro teste é o do controle da potência. Os circuitos apresentados possuem um ganho fixo, desta forma não há como o usuário controlar a potência do repetidor.

As experiências foram realizadas sob condições climáticas consideradas ótimas (dia ensolarado, com poucas nuvens), não houve oportunidades de se testar o sistema sob condições climáticas adversas.

5.5. REFERÊNCIAS

- [1] Agência Nacional de Telecomunicações “*Atribuição, Destinação e Distribuição de Faixas de Freqüências no Brasil*”, 2004, <http://www.anatel.gov.br/Radiofrequencia/plaradio.asp>. Acessado em 20/04/04.
- [2] Phillips BGF802–20, *Semiconductor Technical Data*, Phillips Inc., 2003.
- [3] Motorola MHL9838, *Semiconductor Technical Data*, Motorola Inc., 2002.
- [4] Novak, Mark., e Swanson, Kevin. *Cellular Repeater*. ECE 345 Senior Design Project Laboratory, University of Illinois, USA, Dezembro, 1999.
- [5] Federal Communications Commission “Spectrum Use Summary 137 MHz – 10 GHz”, November 1999, <http://www.ntia.doc.gov/osmhome/nebia03.html>. Acessado em 21/04/04.
- [6] Steven J. Frank, “Filter Design”, 1999, ch.1, pp.-21.
- [7] Microwave Materials Division, Rogers Corporation, “Microwave Impedance Calculator (MWIJ1.0)”, 1999, http://www.rogers-corp.com/mwu/mwi_java/Mwij_vp.html. Acessado em 11/03/04.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Paralelamente à evolução tecnológica dos sistemas, a massificação do uso dos celulares demanda um aumento na qualidade do serviço prestado, especialmente com relação aos tipos de facilidades oferecidas e dos níveis satisfatórios de cobertura. Estes níveis tornam-se mais difíceis de alcançar com o aumento das frequências utilizadas para o oferecimento dos serviços.

No intuito de atender as exigências deste novo mercado mais competitivo e com usuários cada vez mais rigorosos, o uso de repetidores para prover a melhoria de qualidade da cobertura tem-se mostrado uma boa opção, sendo utilizados por diversas operadoras de telefonia móvel.

A aplicação principal do repetidor é para situações onde a qualidade do sinal entre a estação rádio base e o usuário é fraco e/ou ocorrem interrupções na comunicação.

Os resultados obtidos nos experimentos foram satisfatórios, no sentido de prover um serviço de telefonia a uma região carente deste tipo de serviço, contudo melhorias são necessárias. O custo de implementação do projeto é viável, pois o mesmo é relativamente baixo, para atender economicamente a população daquela região.

Analisando os resultados obtidos verifica-se a necessidade de um estudo melhor das características topográficas, morfológicas e sistêmicas (tipo de cobertura desejada), da região escolhida, para a verificação de rádio interferência.

Sugestões para Trabalhos Futuros:

- Estudo da qualidade do sinal em situações adversas, ou seja, as diferenças dos sinais durante o período diurno x período noturno, ou qualidade do sinal em dias ensolarados x dias nublados ou chuvosos;
- Estudo qualitativo e quantitativo das taxas e velocidades dos sinais em regiões rurais ou isoladas;
- Estudo da qualidade do sinal para serviços de dados e imagens.
- Estudo das descargas atmosféricas da região em estudo e desenvolvimento de um sistema de proteção.
- Estudo do comportamento radioelétrico do amplificador do repetidor sobre a estação rádio-base, bem como dos protocolos envolvidos.
- Estudo do controle da potência do amplificador do repetidor.

Durante a conclusão desta dissertação, um artigo foi escrito e submetido à Revista do IST. No Anexo 5 encontra-se uma cópia do mesmo.

REFERÊNCIAS

CAPÍTULO 1 – A TELEFONIA RURAL NO PARANÁ: ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS

- [1] Ferrari, Antônio Martins. *Telecomunicações – Evolução e Revolução*. 8ª edição. Editora Érica, São Paulo, 2004.
- [2] Nascimento, Juarez do. *Telecomunicações*. 2ª edição. Editora Makron Books, São Paulo, 2000.
- [3] Gomes, Alcides Tadeu. *Telecomunicações – Transmissão e Recepção*. 19ª edição. Editora Érica, São Paulo, 2002.
- [4] Castro, Maria Cristina F. De. *Comunicações Celulares*. Faculdade de Engenharia – Departamento de Engenharia Elétrica, PUC/RS. Porto Alegre, RS, 2001.
- [5] <http://www.fariascelular.hpg.ig.com.br/rural/index.htm>. Acessado em 3/4/2004.
- [6] <http://www.icantenas.com.br/servicos.htm>. Acessado em 10/2/2004.
- [7] <http://www.anatel.gov.br>. Acessado em 15/3/2004.
- [8] Huemer, Eduardo Roberto. *Guia Prático de Antenas*. 9ª edição. Dinâmica Gráfica e Editora Ltda, São Paulo, 2003.
- [9] <http://www.telecompaulista.com.br/mono.htm>. Acessado em 1/4/2004.
- [10] <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialsatcom/default.asp>. Acessado em 21/4/2004.

CAPÍTULO 2 – ANÁLISE DOS SISTEMAS DE TELEFONIA RURAL NO PARANÁ

- [1] Wohlers, M., *A Guerra das Telecomunicações: Internacionalização, Privatização e Novas Oportunidades*. São Paulo, Editora da Universidade Estadual de Campinas, 1997.
- [2] Ferrari, Antônio Martins. *Telecomunicações – Evolução e Revolução*. 8ª edição. Editora Érica, São Paulo, 2004.
- [3] Nascimento, Juarez do. *Telecomunicações*. 2ª edição. Editora Makron Books, São Paulo, 2000.
- [4] Gomes, Alcides Tadeu. *Telecomunicações – Transmissão e Recepção*. 19ª edição. Editora Érica, São Paulo, 2002.
- [5] <http://www.anatel.gov.br>. Acessado em 15/3/2004.
- [6] Dosi, G., “*Institution and markets in a dynamic world*”, Manchester School, vol. 46, 1998.
- [7] <http://www.telecompaulista.com.br/mono.htm>. Acessado em 1/4/2004.

- [8] Castro, Maria Cristina F. De. *Comunicações Celulares*. Faculdade de Engenharia – Departamento de Engenharia Elétrica, PUC/RS. Porto Alegre, RS, 2001.
- [9] <http://www.fariascelular.hpg.ig.com.br/rural/index.htm>. Acessado em 3/4/2004.
- [10] <http://www.jcantenas.com.br/servicos.htm>. Acessado em 10/2/2004.
- [11] Huemer, Eduardo Roberto. *Guia Prático de Antenas*. 9ª edição. Dinâmica Gráfica e Editora Ltda, São Paulo, 2003.
- [12] <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialsatcom/default.asp>. Acessado em 21/4/2004.
- [13] Waldman, H & Yacoub, M. D., *Telecomunicações - Princípios e Tendências*. Editora Érica, 1997.
- [14] Pires, J.L.C., *A Reestruturação do Setor de Telecomunicações no Brasil*. Revista do BNDES, V 11, pp. 187-214, 1999.
- [15] Rigolon, F.J.Z., *Regulação da Infra-Estrutura: a experiência recente no Brasil*. Revista do BNDES, n 7. pp. 123-150, 1997.

CAPÍTULO 3 – ANÁLISE DOS REPETIDORES UTILIZADOS NOS SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES

- [1] <http://www.gsl.net/n1bwt/preface.htm> online microwave antenna book. Acessado em 10/4/2004.
- [2] Luiz, B. M. A. *Planejamento de Cobertura de Sistemas GSM com Uso de Repetidores*/ Bruno Maia Antonio Luiz; Orientador: Luiz A. R. da Silva Mello – Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Elétrica, 2002.
- [3] Boaventura, A. M. S., *Avaliação de Métodos de Estimação da Direção de Chegada de Sinais em Sistemas de Comunicações Celulares*, Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Elétrica, 2003.
- [4] Smith, K., *Antennas For Low Power Applications*, Artech House, 1999.
- [5] <http://www.fariascelular.hpg.ig.com.br/rural/index.htm>. Acessado em 3/4/2004.
- [6] <http://www.jcantenas.com.br/servicos.htm>. Acessado em 10/2/2004.
- [7] Huemer, Eduardo Roberto. *Guia Prático de Antenas*. 9ª edição. Dinâmica Gráfica e Editora Ltda, São Paulo, 2003.
- [8] Rolim, T. H. de P. Novaes, C. P. D., Vono, A. de and Guimarães, D. A.. *Survey: A System for Propagation Analysis in Mobile Communication Environments*. VII International Conference on Engineering and Technology Education, INTERTECH 2002, Santos, SP, Março, 2002.
- [9] Rolim, T. H. de P. Novaes, C. P. D., Vono, A. de and Guimarães, D. A.. *Um Método para Síntese e Análise dos Principais Efeitos de Propagação em Canais de Rádio Móvel*.

Revista Telecomunicações, Vol. 5, No. 1, pp. 35-40: Inatel, Santa Rita do Sapucaí, MG, Junho, 2002.

- [10] Novak, Mark., e Swanson, Kevin. *Cellular Repeater*. ECE 345 Senior Design Project Laboratory, University of Illinois, USA, Dezembro, 1999.

CAPÍTULO 4 – PROPOSTA DE UM PROJETO DE TELEFONIA MÓVEL RURAL PARA A REGIÃO DE GUARAPUAVA

- [1] KULLER, M.L. 1984. Caracterização litoestrutural e aspectos ambientais da área de influência da usina hidrelétrica Segredo (Rio Iguaçu), PR. Dissertação de Mestrado, IGCE/UNESP, Rio Claro, SP. 107p.
- [2] Agência Nacional de Telecomunicações “Atribuição, Destinação e Distribuição de Faixas de Freqüências no Brasil”, 2004, <http://www.anatel.gov.br/Radiofrequencia/plaradio.asp>. Acessado em 20/04/04.
- [3] Phillips BGF802–20, Semiconductor Technical Data, Phillips Inc., 2003.
- [4] Romano, Hélio Drago, “Filtros de Freqüência e Linhas de Transmissão”, ch. 9, pp.104-118, Rio de Janeiro, 1999.
- [5] Motorola MHL9838, Semiconductor Technical Data, Motorola Inc., 2002.

CAPÍTULO 5 – TESTES, MEDIÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

- [1] Agência Nacional de Telecomunicações “Atribuição, Destinação e Distribuição de Faixas de Freqüências no Brasil”, 2004, <http://www.anatel.gov.br/Radiofrequencia/plaradio.asp>. Acessado em 20/04/04.
- [2] Phillips BGF802–20, *Semiconductor Technical Data*, Phillips Inc., 2003.
- [3] Motorola MHL9838, *Semiconductor Technical Data*, Motorola Inc., 2002.
- [4] Novak, Mark., e Swanson, Kevin. *Cellular Repeater*. ECE 345 Senior Design Project Laboratory, University of Illinois, USA, Dezembro, 1999.
- [5] Federal Communications Commission “Spectrum Use Summary 137 MHz – 10 GHz”, November 1999, <http://www.ntia.doc.gov/osmhome/nebia03.html>. Acessado em 21/04/04.
- [6] Steven J. Frank, “Filter Design”, 1999, ch.1, pp.-21.
- [7] Microwave Materials Division, Rogers Corporation, “Microwave Impedance Calculator (MWIJ1.0)”, 1999, http://www.rogers-corp.com/mwu/mwi_java/Mwij_vp.html. Acessado em 11/03/04.

OUTRAS REFERÊNCIAS CONSULTADAS

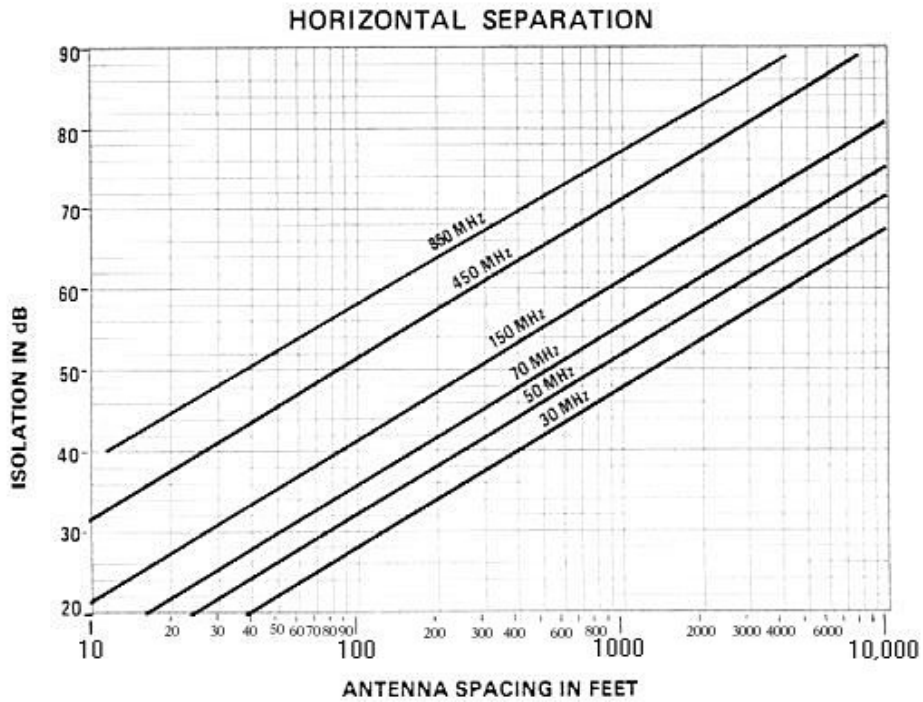
- [1] Kraus, *Antennas*, 2nd Edition, McGraw Hill, 1988.
- [2] Straw, R. D., *The ARRL Antenna Book*, 19th Edition, American Radio Relay League, 2000
Jasik, H., *Antenna Engineering Handbook*, McGraw Hill, 1961.
- [3] Siwiak, K., *Radiowave Propagation and Antennas for Personal Communications*, Artech House, 1995.
- [4] Leeson, D., *Physical Design of Yagi Antennas*, ARRL, 1992.
- [5] Fujimoto, K., Henderson, A., Hirasawa, K and James, J., *Small Antennas*, J. Wiley, 1987.
- [6] <http://www.nitehawk.com/rasmit/offset.html>. offset fed parabola. Acessado em 7/1/2004.
- [7] <http://web.mit.edu/mclose/www/TelecomNotes.pdf>. spacecraft antennas. Acessado em 7/1/2004.
- [8] <http://www.ee.surrey.ac.uk/Personal/D.Jefferies/aperture.html>. aperture antennas. Acessado em 10/2/2004.
- [9] <http://www.ee.surrey.ac.uk/Personal/D.Jefferies/antarray.html>. array antennas. Acessado em 10/2/2004.
- [10] <http://www.ee.surrey.ac.uk/Personal/D.Jefferies/slotnotch.html>. slot antennas. Acessado em 10/2/2004.
- [11] <http://www.ee.surrey.ac.uk/Personal/D.Jefferies/feeds.html>. feeds. Acessado em 10/2/2004.
- [12] http://www.atci.net/ProdsNServs/earth_stations/simulsat.htm. a multiple beam reflector. Acessado em 10/1/2004.

ANEXOS

Anexo 1 – Isolação entre Antenas	78
Anexo 2 – Amplificador BGF802-20.....	79
Anexo 3 – Amplificador MHL9838.....	91
Anexo 4 – Processo de Cálculo dos Filtros.....	95
Anexo 5 – Artigo submetido a Revista IST.....	97

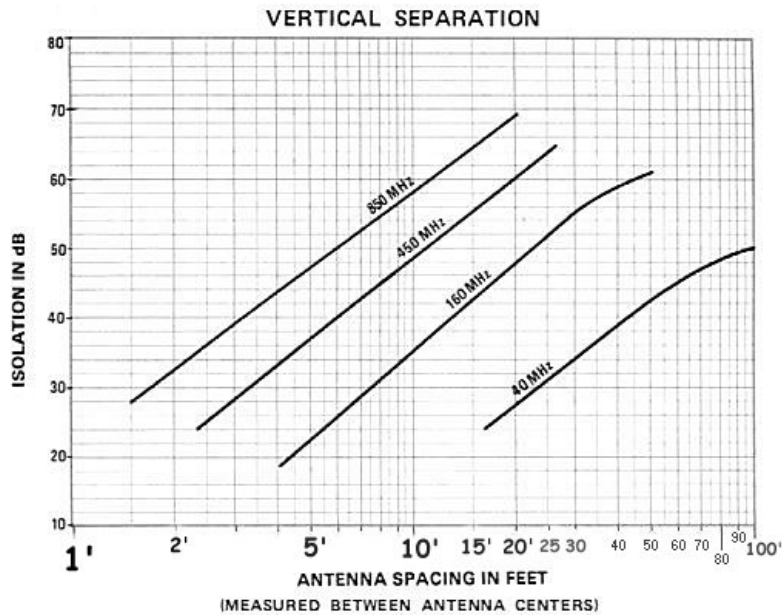
ANEXO 1

Isolação entre Antenas



These curves are based on the use of half-wave dipole antennas. The curves will also provide acceptable results for gain type antennas if (1) the indicated isolation is reduced by the sum of the antenna gains and if (2) the spacing between the gain antennas is greater than 50 feet.

ISOLATION VS. ANTENNA SEPARATION

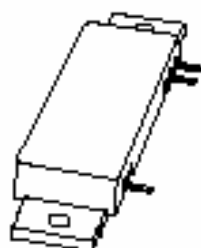


Above curves are based on the use of half-wave dipole antennas. The curves will also provide acceptable results for gain type antennas if (1) the spacing is measured between the physical centers of the antennas and if (2) one antenna is mounted directly above the other (collinear), with no horizontal offset. No correction factor is required for the antenna gains. Note: The values indicated by the curves are approximate values because of coupling which exists between the antenna and tower. Increasing the antenna spacing beyond that shown by these curves may not always provide additional isolation because of antenna-tower coupling.

ANEXO 2

Amplificador BGF802-20

DATA SHEET



BGF802-20 CDMA800 power module

Product specification
Supersedes data of 2003 Feb 24

2003 Jun 13

CDMA800 power module

BGF802-20

FEATURES

- Typical CDMA IS95 performance at a supply voltage of 28 V:
 - Output power = 3 W
 - Gain = 30 dB
 - Efficiency = 18%
 - ACPR ≤ -53 dBc at 750 kHz and BW = 30 kHz
 - ACPR ≤ -69 dBc at 1.98 MHz and BW = 30 kHz
- Low distortion to CDMA signals
- Excellent 2-tone performance
- Low die temperature due to copper flange
- Integrated temperature compensated bias
- 50 Ω input/output system
- Flat gain over frequency range.

APPLICATIONS

- Base station RF power amplifiers in the 889 to 894 MHz frequency range
- CDMA IS95, CDMA2000, multi carrier applications
- Macrocell (driver stage) and Microcell (final stage).

DESCRIPTION

25 W LDMOS power amplifier module for base station amplifier applications in the 889 to 894 MHz range.

QUICK REFERENCE DATA

Typical RF performance at $T_{\text{amb}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

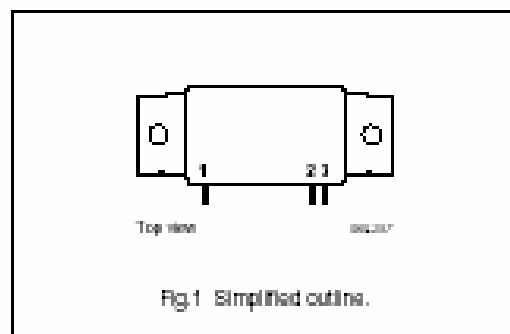
MODE OF OPERATION	f (MHz)	V _{DS} (V)	P _L (W)	G _p (dB)	η (%)	ACPR (dBc)	EVM (%)
CW	889 to 894	28	25	29	48	–	–
IS95 CDMA ⁽¹⁾	889 to 894	28	3	30	18	–53 ⁽²⁾ –69 ⁽³⁾	–
GSM EDGE	889 to 894	28	2.5	30	16	–65 ⁽⁴⁾	0.4

Notes

1. IS95 CDMA (Pilot, paging, sync and traffic codes 8–13).
2. ACPR 750 kHz at 30 kHz resolution bandwidth.
3. ACPR 1.98 MHz at 30 kHz resolution bandwidth.
4. ACPR 400 kHz at 30 kHz resolution bandwidth.

PINNING - SOT365C

PIN	DESCRIPTION
1	RF input
2	V _{DS}
3	RF output
Flange	ground



CDMA800 power module

BGF802-20

LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134).

SYMBOL	PARAMETER	MIN.	MAX.	UNIT
V_{DS}	DC supply voltage	–	30	V
P_{D1}	input drive power	–	100	mW
P_L	load power	–	30	W
T_{stg}	storage temperature	–30	+100	°C
T_{mb}	operating mounting base temperature	–20	+60	°C

CHARACTERISTICS

 $T_{mb} = 25\text{ °C}$; $V_{DS} = 28\text{ V}$; $P_L = 3.0\text{ W}$; $f = 869\text{ to }894\text{ MHz}$; $Z_S = Z_L = 50\text{ }\Omega$; unless otherwise specified.

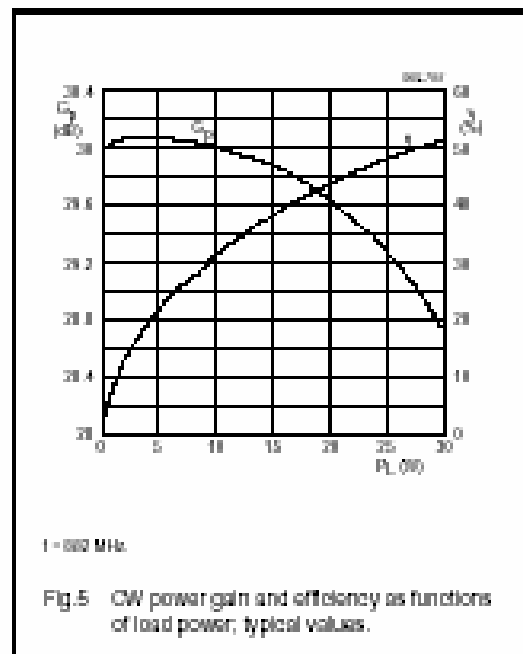
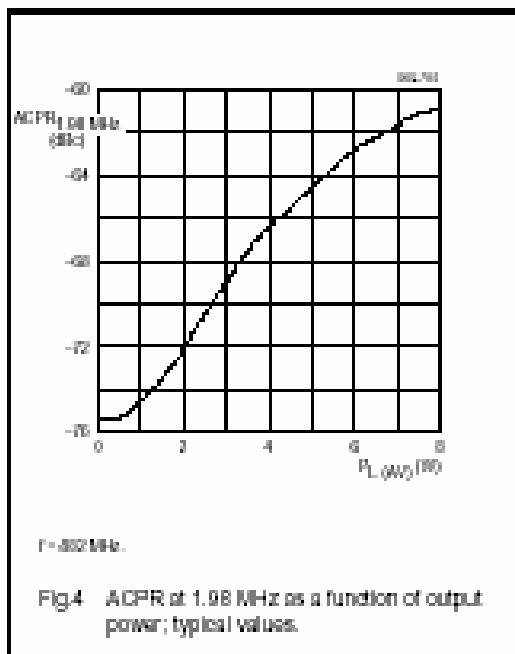
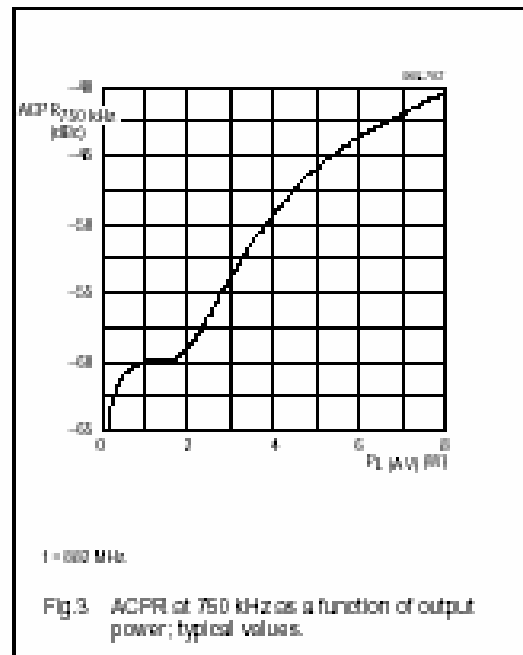
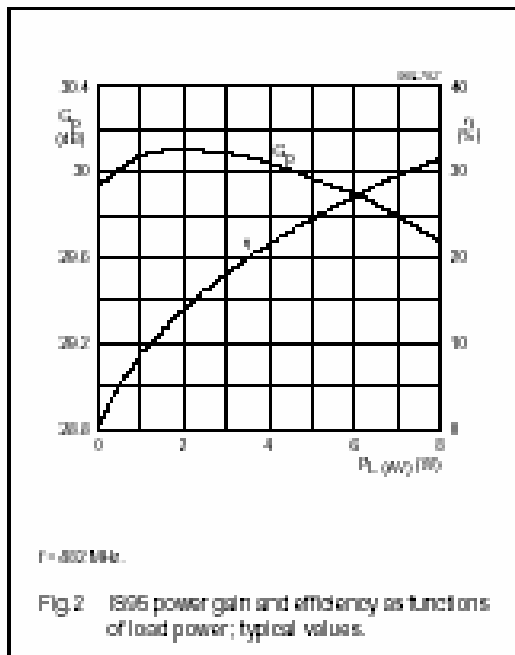
SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I_{DQ}	quiescent current (pin 2)	$P_{D1} = 0\text{ mW}$	245	280	320	mA
P_{D1st}	load power	at 1 dB gain compression	18	25	–	W
G_P	power gain		28	30	32	dB
$\Delta G_P\text{ freq}$	gain flatness over frequency range		–	0.2	1	dB
$\Delta G_P\text{ pow}$	gain flatness over power band	$P_L = 30\text{ mW}$ up to 3 W	–0.8	–0.2	0.2	dB
$\Delta\phi\text{ freq}$	phase linearity over frequency range		–	0.2	–	deg
	delay flatness		–	200	–	ps
G_{out}	out of band gain	small signal, $P_{D1} = 0\text{ dBm}$; 894 MHz < f < 869 MHz	–	–	$G_{Pmax} + 1$ note 1	dB
$VSWR_{in}$	input VSWR		–	1.6 : 1	2 : 1	
H_2	second harmonic		–	–37	–34	dBc
H_3	third harmonic		–	–61	–58	dBc
	stability	$VSWR \leq 3 : 1$ through all phases; $V_{DS} = 25\text{ to }28\text{ V}$	all spurious outputs more than 60 dB below desired signal			
	ruggedness	$VSWR = 10 : 1$ through all phases; $P_L = 5\text{ W}$	no degradation in output power			
IS95 CDMA ($P_L = 3\text{ W}$ average)						
η	efficiency		15	18	–	%
$ACPR_{750\text{ kHz}}$	spectral regrowth; measured in 30 kHz RBW		–	–53	–49	dBc
$ACPR_{1.5\text{ MHz}}$			–	–69	–65	dBc

Note

- G_{out} is small signal in-band gain.

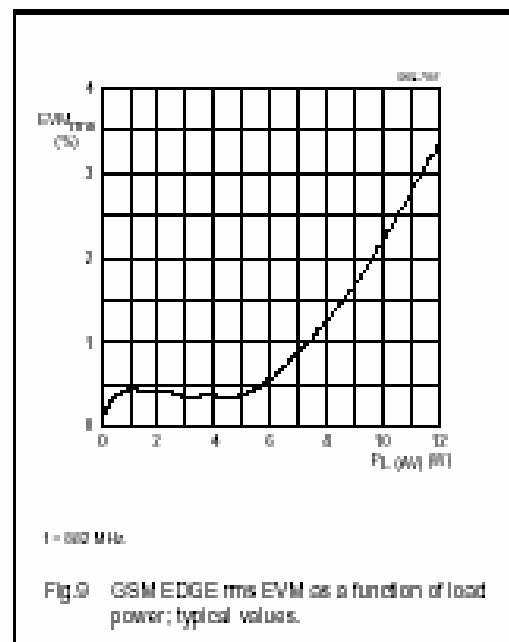
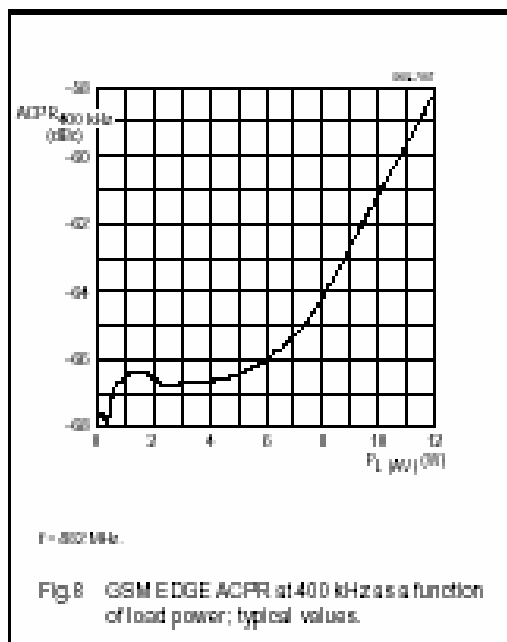
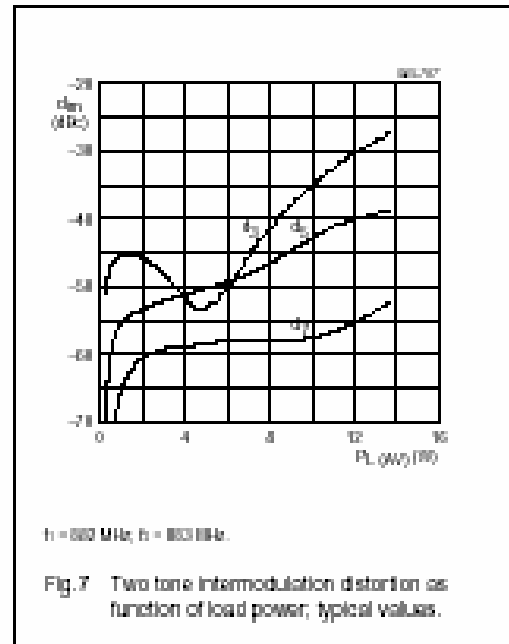
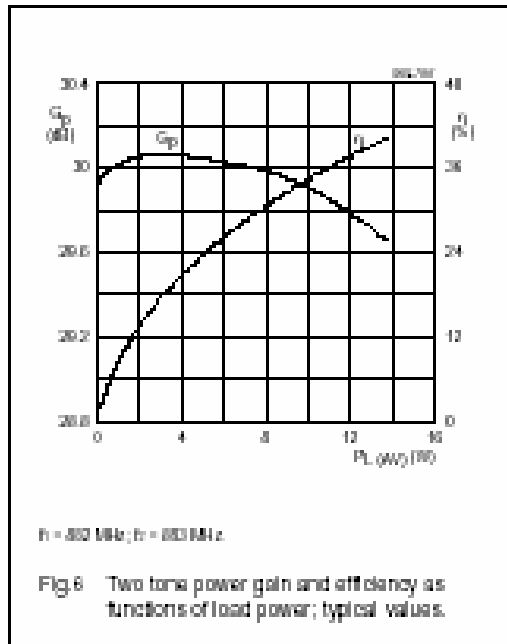
CDMA800 power module

BGF802-20



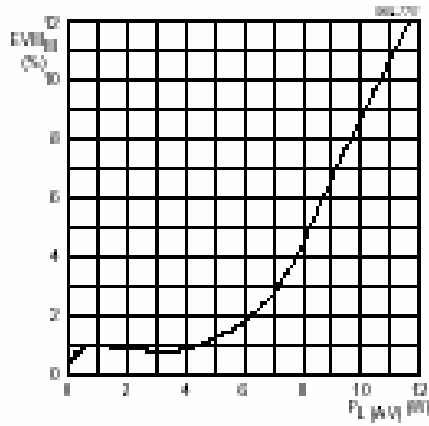
CDMA800 power module

BGF802-20



CDMA800 power module

BGF802-20



$f = 800$ MHz.

Fig.10 GSM EDGE peak EVM as a function of load power; typical values.

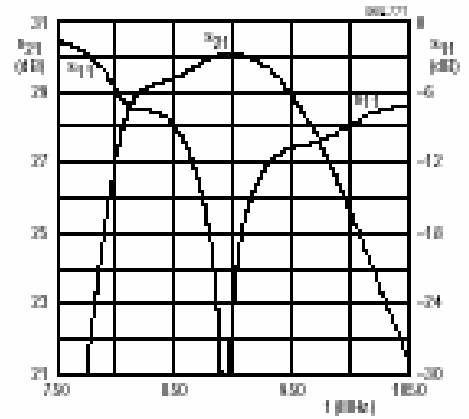


Fig.11 s-parameters as a function of frequency.

CDMA800 power module

BGF802-20

MOUNTING RECOMMENDATIONS**General**

LMOST base station modules are manufactured with the dies directly mounted onto a copper flange. The matching and bias circuit components are mounted on a printed-circuit board (PCB), which is also soldered onto the copper flange. The dies and the PCB are encapsulated in a plastic cap, and pins extending from the module provide a means of electrical connection. This construction allows the module to withstand a limited amount of flexing, although bending of the module is to be avoided as much as possible. Mechanical stress can occur if the bottom surface of the module and the surface of the amplifier casing (external heatsink) are not mutually flat. This, therefore, should be a consideration when mounting the module in the amplifier. Another cause of mechanical stress can arise from the thermal mismatch after soldering of the pins. Precautions should be taken during soldering, and efforts made to ensure a good thermal contact between the flange and the external heatsink.

External heatsink (amplifier casing)

The module should always be mounted on a heatsink with a low thermal resistance to keep the module temperature as low as possible. The mounting area of the heatsink should be flat and free from burrs and loose particles. We recommend a flatness for the mounting area of between 50 µm concave and 50 µm convex. The 50 µm concave value is to ensure optimal thermal behaviour, while the 50 µm convex value is intended to limit mechanical stress due to bending.

In order to ensure optimal thermal behaviour, the use of thermal compound is recommended when mounting the module onto the amplifier external heatsink.

The following recommended thermal compounds have a thermal conductivity of >0.5 W/mK:

- WPS II (silicone-free) from Austerlitz-Electronics
- Comp. Trans. from KF
- 340 from Dow Corning
- Trans-Heat from E. Frits-Mikkelsen.

The use of thermal pads instead of thermal compound is not recommended as the pads may not maintain a uniform flatness over a period of time.

Mounting**PREPARATION**

Ensure that the surface finishes are free from burrs, dirt and grease.

CAUTION

During the following procedures ESD precautions should be taken to protect the device from electrostatic damage.

PROCEDURE:

1. Apply a thin, evenly spread layer of thermal compound to the module flange bottom surface. Excessive use of thermal compound may result in increased thermal resistance and possible bending of the of the flange. Too little thermal compound will result in an increase in thermal resistance.
2. Take care that there is some space between the cap and the PCB. Bring the module into contact with the external heatsink casing, ensuring that there is sufficient space for excessive thermal compound to escape.
3. Carefully align the module with the heatsink casing mounting holes, and secure with two 3 mm bolts and two flat washers. Initially tighten the bolts to "finger tight" (approximately 0.05 Nm). Using a torque wrench, tighten each bolt in alternating steps to a final torque of 0.4 Nm.
4. After the module is secured to the casing, the module leads may be soldered to the PCB. The leads are for electrical connection only, and should not be used to support the module at any time in the assembly process.

A soldering iron may be used up to a temperature of 250 °C for a maximum of 10 seconds. Avoid contact between the soldering iron and the plastic cap.

Electrical connections

The main ground path of all modules is via the flange. It is therefore important that the flange is well grounded and that return paths are kept as short as possible. An incorrectly grounded flange can result in a loss of output power or in oscillation.

The RF input and output of the module are designed for 50 Ω connections.

Incoming inspection

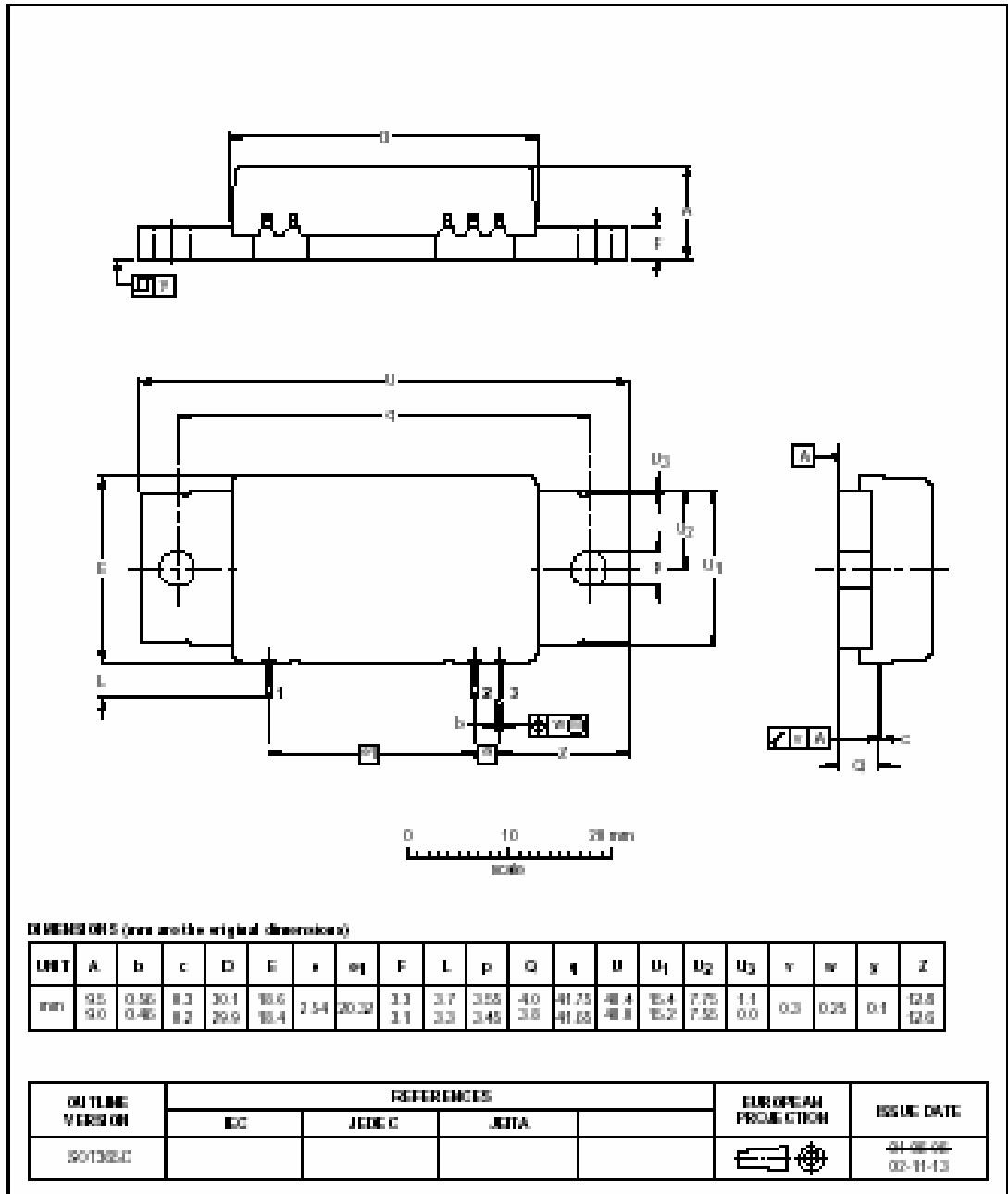
When incoming inspection is performed, use a properly designed test fixture to avoid excessive mechanical stress and to ensure optimal RF performance. Philips can deliver dedicated test fixtures on request.

CDMA800 power module

BGF802-20

PACKAGE OUTLINE

Plastic rectangular single-ended flat package; flange mounted; 2 mounting holes; 3 in-line leads SOT365C



CDMA800 power module

BGF802-20

DATA SHEET STATUS

LEVEL	DATA SHEET STATUS ⁽¹⁾	PRODUCT STATUS ⁽²⁾⁽³⁾	DEFINITION
I	Objective data	Development	This data sheet contains data from the objective specification for product development. Philips Semiconductors reserves the right to change the specification in any manner without notice.
II	Preliminary data	Qualification	This data sheet contains data from the preliminary specification. Supplementary data will be published at a later date. Philips Semiconductors reserves the right to change the specification without notice, in order to improve the design and supply the best possible product.
III	Product data	Production	This data sheet contains data from the product specification. Philips Semiconductors reserves the right to make changes at any time in order to improve the design, manufacturing and supply. Relevant changes will be communicated via a Customer Product/Process Change Notification (CPCN).

Notes

1. Please consult the most recently issued data sheet before initiating or completing a design.
2. The product status of the device(s) described in this data sheet may have changed since this data sheet was published. The latest information is available on the Internet at URL <http://www.semiconductors.philips.com>.
3. For data sheets describing multiple type numbers, the highest-level product status determines the data sheet status.

DEFINITIONS

Short-form specification — The data in a short-form specification is extracted from a full data sheet with the same type number and title. For detailed information see the relevant data sheet or data handbook.

Limiting values definition — Limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of the specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.

Application information — Applications that are described herein for any of these products are for illustrative purposes only. Philips Semiconductors make no representation or warranty that such applications will be suitable for the specified use without further testing or modification.

DISCLAIMERS

Life support applications — These products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Philips Semiconductors customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips Semiconductors for any damages resulting from such application.

Right to make changes — Philips Semiconductors reserves the right to make changes in the products - including circuits, standard cells, and/or software - described or contained herein in order to improve design and/or performance. When the product is in full production (status "Production"), relevant changes will be communicated via a Customer Product/Process Change Notification (CPCN). Philips Semiconductors assumes no responsibility or liability for the use of any of these products, conveys no licence or title under any patent, copyright, or mask work right to these products, and makes no representations or warranties that these products are free from patent, copyright, or mask work right infringement, unless otherwise specified.

Philips Semiconductors – a worldwide company

Contact information

For additional information please visit <http://www.semiconductors.philips.com>. Fax: +31 40 27 24825
For sales offices addresses send e-mail to: sales.addresses@www.semiconductors.philips.com.

© Koninklijke Philips Electronics N.V. 2003

SCA75

All rights are reserved. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner.

The information presented in this document does not form part of any quotation or contract, is believed to be accurate and reliable and may be changed without notice. No liability will be accepted by the publisher for any consequence of its use. Publication thereof does not convey nor imply any license under patent- or other industrial or intellectual property rights.

Printed in The Netherlands

4510200049912

Date of release: 2003 Jun 13

Dissemination code: 0007 00 11000

Let's make things better

**Philips
Semiconductors**



PHILIPS

ANEXO 3

Amplificador MHL9838

The RF Line
**Cellular Band
RF Linear LDMOS Amplifier**

Designed for ultra-linear amplifier applications in 50 ohm systems operating in the cellular frequency band. A silicon FET Class A design provides outstanding linearity and gain. In addition, the excellent group delay and phase linearity characteristics are ideal for the most demanding analog or digital modulation systems, such as TDMA and CDMA.

- Third Order Intercept: 50 dBm Typ
- Power Gain: 31 dB Typ (@ f = 880 MHz)
- Excellent Phase Linearity and Group Delay Characteristics
- Ideal for Feedforward Base Station Applications
- For Use in TDMA and CDMA Multi-Carrier Applications

MHL9838

800–925 MHz
8.0 W, 31 dB
RF LINEAR LDMOS AMPLIFIER



CASE 301AP-02, STYLE 1

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
DC Supply Voltage	V_{DD}	30	Vdc
RF Input Power	P_{in}	+6	dBm
Storage Temperature Range	T_{stg}	-40 to +100	$^\circ\text{C}$
Operating Case Temperature Range	T_C	-20 to +100	$^\circ\text{C}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{DD} = 28\text{ Vdc}$, $T_C = 25^\circ\text{C}$; 50 Ω System)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Supply Current	I_{DD}	—	770	800	mA
Power Gain (f = 880 MHz)	G_p	30	31	32	dB
Gain Flatness (f = 800–925 MHz)	G_F	—	0.1	0.3	dB
Power Output @ 1 dB Comp. (f = 880 MHz)	$P_{out\ 1\ dB}$	—	39	—	dBm
Input VSWR (f = 800–925 MHz)	$VSWR_{in}$	—	1.2:1	1.5:1	
Output VSWR (f = 800–925 MHz)	$VSWR_{out}$	—	1.2:1	1.5:1	
Third Order Intercept (f1 = 879 MHz, f2 = 884 MHz)	ITO	49	50	—	dBm
Noise Figure (f = 925 MHz)	NF	—	3.7	4.5	dB

TYPICAL CHARACTERISTICS

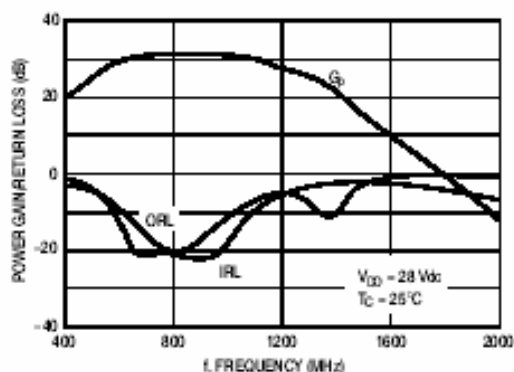


Figure 1. Power Gain, Input Return Loss, Output Return Loss versus Frequency

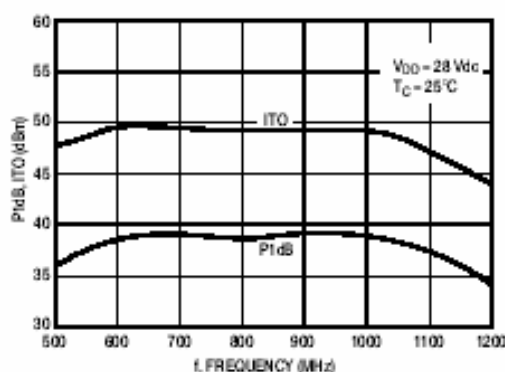


Figure 2. P1dB, ITO versus Frequency

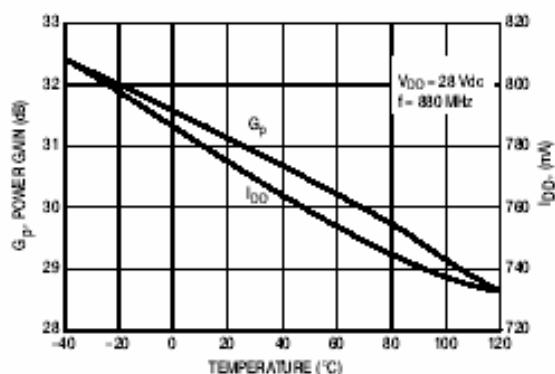


Figure 3. Power Gain, I_{DD} versus Temperature

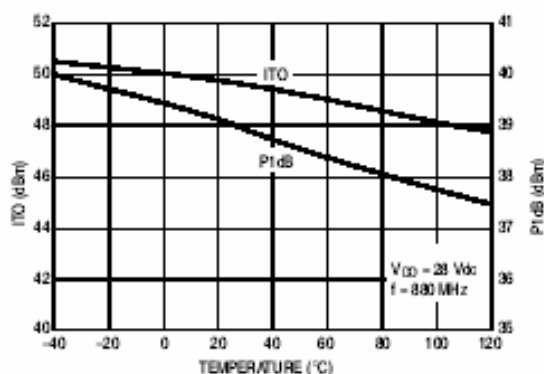


Figure 4. ITO, P1dB versus Temperature

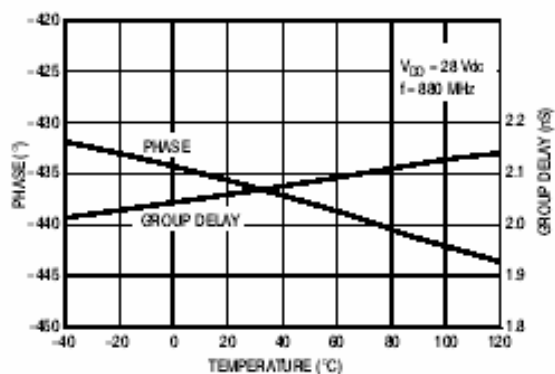


Figure 5. Phase⁽¹⁾, Group Delay⁽¹⁾ versus Temperature
⁽¹⁾In Production Test Fixture

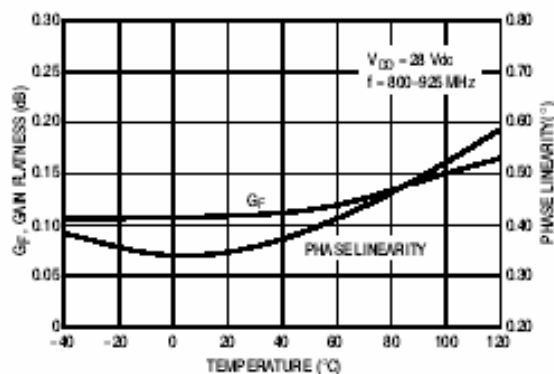


Figure 6. Gain Flatness, Phase Linearity versus Temperature

TYPICAL CHARACTERISTICS

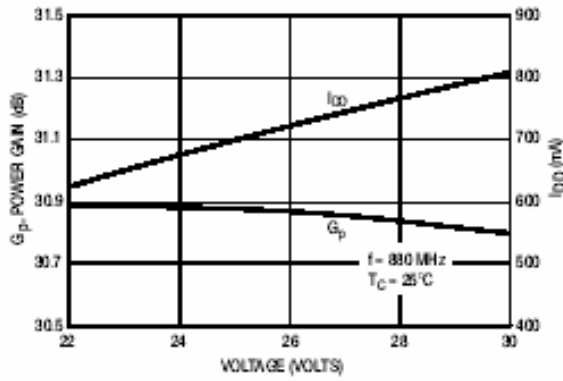


Figure 7. Power Gain, I_{DD} versus Voltage

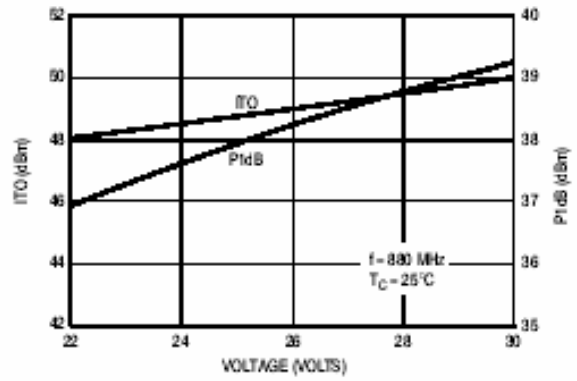


Figure 8. ITO, P1dB versus Voltage

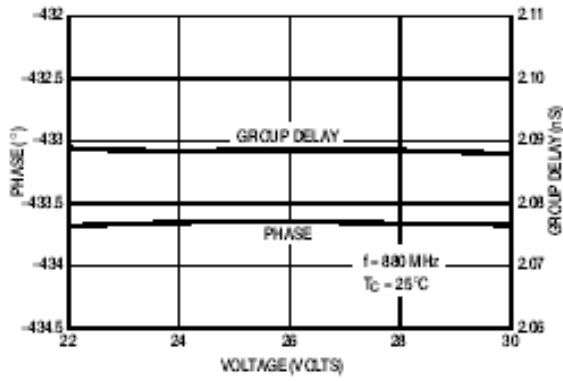


Figure 9. Phase(f), Group Delay(f) versus Voltage
(¹In Production Test Fixture)

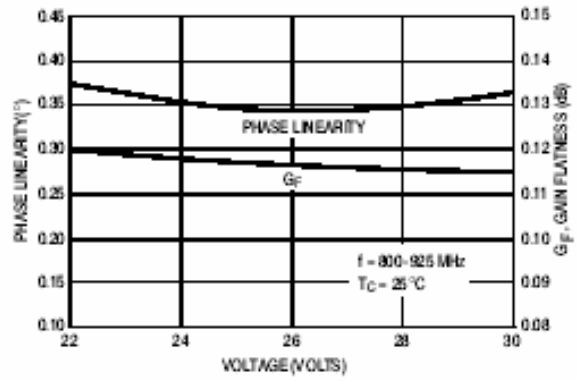
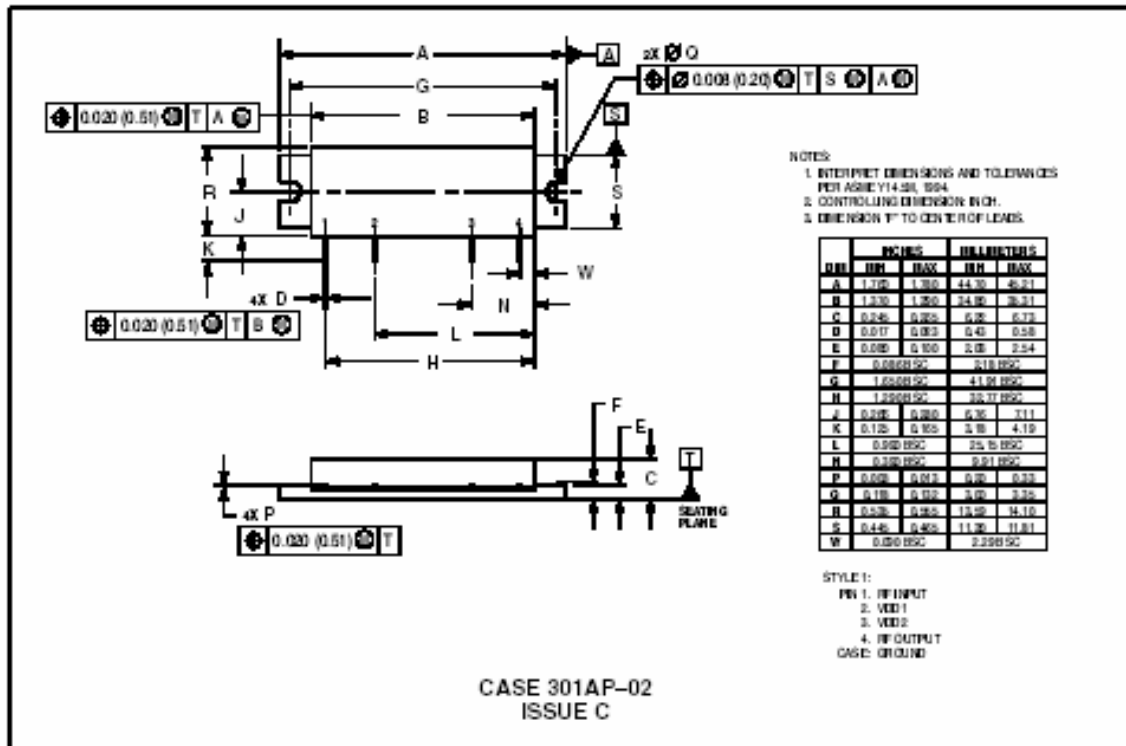


Figure 10. Phase Linearity, Gain Flatness versus Voltage

PACKAGE DIMENSIONS



Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. MOTOROLA and the M logo are registered in the US Patent & Trademark Office. All other product or service names are the property of their respective owners.

© Motorola, Inc. 2002.

How to reach us:

USA/EUROPE/Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution, P.O. Box 5405, Denver, Colorado 80217. 1-303-675-2140 or 1-800-441-2447

JAPAN: Motorola Japan Ltd.; SPS, Technical Information Center, 3-20-1, Minami-Azabu, Minato-ku, Tokyo 106-8573, Japan. B1-3-3440-3569

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; Silicon Harbour Centre, 2 Dal King Street, Tai Po Industrial Estate, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26988334

Technical Information Center: 1-800-521-6274

HOME PAGE: <http://www.motorola.com/semiconductors/>



MHL9838/D

ANEXO 4

Processo de Cálculo dos Filtros

PROCESSO DE CÁLCULO DOS COMPONENTES DO FILTRO UTILIZADO NO PROJETO

Para a faixa de frequências de transmissão do aparelho do usuário (handset), 869MHz – 894MHz, foram encontrados os seguintes valores, para o filtro com largura de banda igual a 25MHz e frequência de ressonância de 881,5MHz.

$$bw = \frac{BW}{f_o} = \frac{25MHz}{881,5MHz} = 0,02836 = 2,836\% \quad (4.1)$$

$$L_1 = \frac{1}{\pi(f_2 - f_1)} = 12,73nH \quad (4.2)$$

$$C_1 = \frac{1}{4\pi R f_1 f_2} = 0,01024\mu F \quad (4.3)$$

$$C_2 = \frac{1}{\pi R(f_2 - f_1)} = 0,127\mu F \quad (4.4)$$

$$L_2 = \frac{R(f_2 - f_1)}{4\pi \cdot f_1 f_2} = 25,60\rho H \quad (4.5)$$

Usa-se $Z_o = 50\Omega$ e $w_o = 2\pi f_o$ para obter os valores dos componentes para o filtro. Para a impedância Z_o foi utilizado 50Ω , pois foram utilizados cabos coaxiais na interligação das antenas com o protótipo.

Para a faixa de frequências de transmissão da estação rádio-base (ERB), 824MHz – 849MHz, foram encontrados os seguintes valores, para o filtro com largura de banda igual a 25MHz e frequência de ressonância de 836,5MHz.

$$bw = \frac{BW}{f_o} = \frac{25MHz}{836,5MHz} = 0,02989 = 2,989\% \quad (4.1)$$

$$L_1 = \frac{1}{\pi(f_2 - f_1)} = 12,73nH \quad (4.2)$$

$$C_1 = \frac{1}{4\pi R f_1 f_2} = 0,0113\mu F \quad (4.3)$$

$$C_2 = \frac{1}{\pi R(f_2 - f_1)} = 0,127\mu F \quad (4.4)$$

$$L_2 = \frac{R(f_2 - f_1)}{4\pi \cdot f_1 f_2} = 28,43pH \quad (4.5)$$

ANEXO 5

Artigo submetido à Revista do IST

Análise e Desenvolvimento de um Sistema de Mini Repetidores para Telefonia Móvel Rural

Lílian Rosana Kremer Schultz¹², Horácio Tertuliano Filho¹³, Edson Luiz Schultz¹⁴

Este documento apresenta o projeto, discussão e testes de um Repetidor de Celular. A aplicação principal do repetidor é para situações onde a qualidade do sinal entre a estação rádio base e o usuário é fraco e/ou ocorrem interrupções na comunicação. Interrupções no sinal em chamadas telefônicas resultam em perdas de receita por prestadoras de serviço bem como insatisfação dos clientes. O Repetidor Celular é constituído de antenas para recepção e transmissão do sinal, dois amplificadores para a faixa de frequências de 824-894 MHz (padrão de frequências para telefonia celular no Brasil), e um circuito de acoplamento. Este documento discute o processo do projeto e seleção de componentes e a dificuldade de obtenção do circuito de acoplamento necessário ao repetidor. O projeto final do amplificador é então detalhado, bem como, os procedimentos de testes para o amplificador, antenas, e o sistema inteiro. Também são incluídas uma análise de custo e recomendações para melhorias futuras do Repetidor de Celular.

This paper document the design, discuss, and testing of a Cellular Repeater. The intended application of repeater is for situations where signal quality between the base station and the user is poor and communication fails. Drops in phone calls result in loss of revenues for cellular providers as well as poor service and customer dissatisfaction. The Cellular Repeater consists of receiving and transmitting antennas, two 824-894 MHz amplifiers, and coupling circuitry. This paper discusses the design process, beginning with component selection and difficulty in obtaining the coupling circuitry necessary to complete the Repeater. The final design of 824-894 MHz amplifier is then detailed as well as design verification and test procedures for the amplifier, antennas, and the entire system. A cost analysis and recommendations for future improvements of the Cellular Repeater are also included.

Key words: Cellular, Repeater, Amplifier.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento na indústria de comunicações móveis tem surpreendido nos últimos anos. Cada vez mais pessoas estão usando telefones celulares, e os provedores de serviços estão ampliando rapidamente suas redes para incluir todas as áreas deste mercado.

Infelizmente, a cobertura nem sempre é perfeita. Frequentemente, existem áreas isoladas (dentro de fronteiras geográficas) das redes de serviços onde pessoas não podem conversar seguramente em seus telefones celulares sem que suas ligações sejam interrompidas. Estas áreas podem estar posicionadas nos limites de uma célula, neste caso a estação rádio-base para a célula tem uma radiação padrão (serviço celular) que não alcança as fronteiras da célula perfeitamente. Outras áreas que sofrem com este problema são as regiões cercadas por morros ou montanhas. Nas regiões metropolitanas os engenheiros de rede têm que lutar com as construções que impedem as comunicações.

¹² Engenheira Eletricista Especializada em Telecomunicações pela UFPR. (kremer@sociesc.com.br)

¹³ Ph.D. em Engenharia de Telecomunicações, professor orientador de mestrado UFPR. (tertulia@eletrica.ufpr.br)

¹⁴ Engenheiro Eletricista Mestre em Automação Industrial pela UDESC. (schultz@sociesc.com.br)

Interrupções no sinal em chamadas telefônicas resultam em perdas de receita por prestadoras de serviço bem como insatisfação dos clientes. Uma solução seria montar repetidores analógicos em regiões estratégicas para fornecer a cobertura às áreas problemáticas dentro das suas redes de comunicações.

Este trabalho aborda a utilização de repetidores na implantação de sistemas móveis celulares. Esta técnica permite estender a cobertura dos sistemas móveis celulares com baixo custo e curto tempo de implantação a áreas ou ambientes onde a utilização de estações rádio base seria dispendiosa ou demorada.

O propósito desta aplicação foi projetar um amplificador de sinal para o sistema TDMA e/ou CDMA, usando a faixa de frequência de 824 a 894 MHz do espectro de radiofrequência. A escolha da tecnologia dependerá do sinal captado na região escolhida para testes, isto é, depende qual ERB estará mais próxima ou com sinal de potência mais adequado.

2. DESCRIÇÃO DO PROJETO

2.1. Diagrama de Blocos do Repetidor

Este sistema permite a comunicação entre usuários que de outro modo não seria possível. Funcionalmente o projeto é bem simples. A interface com o usuário é feita através da antena do próprio *handset* do usuário e no outro lado a antena da estação rádio-base. Qualquer sinal recebido em uma das antenas deve ser amplificado e transmitido para outra antena.

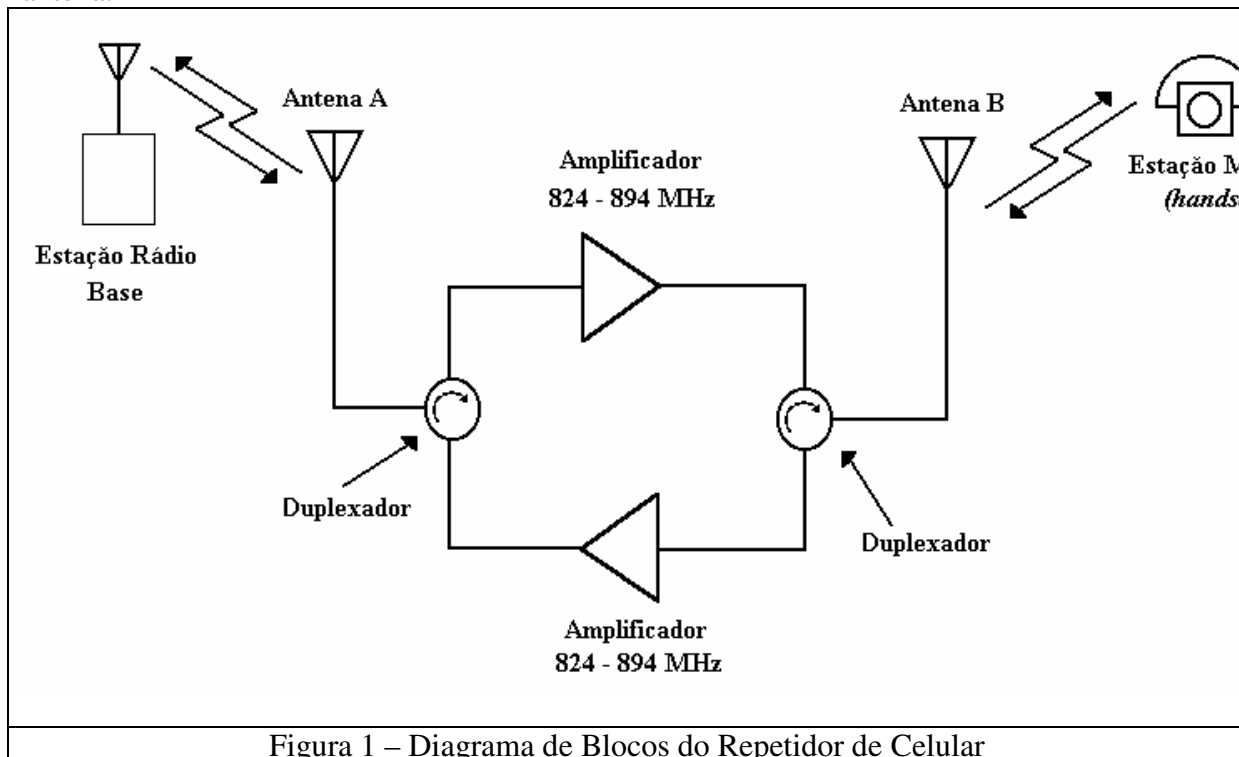


Figura 1 – Diagrama de Blocos do Repetidor de Celular

A Figura 1 mostra o diagrama de blocos do repetidor. O sistema tem uma forma simétrica, ou seja, a antena "A" recebe os sinais da estação rádio-base e transmite de volta para estação rádio-base versões amplificadas do sinal originado no telefone móvel celular.

Simetricamente, a antena “B” recebe sinais do telefone móvel celular e transmite de volta ao telefone versões amplificadas do sinal originado da estação rádio-base.

O amplificador superior faz a amplificação dos sinais recebidos da estação rádio-base, enquanto que o amplificador inferior faz a amplificação dos sinais recebidos do *handset* do usuário. Este sistema requer o uso de dispositivos circuladores ou duplexadores¹⁵ para evitar o acoplamento dos sinais de entrada de um amplificador com os sinais de saída do outro.

2.2. Especificações

O maior desafio do sistema foi projetar o ganho do repetidor sobre a faixa de frequências escolhida. A TIM (*Telecom Italy Mobile*) e a VIVO utilizam a faixa de 869-894 MHz para transmitir os sinais da estação rádio-base. As estações móveis (*handset's*) utilizam a faixa de 824-849 MHz [1]. O sistema deve ser capaz de amplificar todos os sinais recebidos que estejam entre as faixas de frequências acima citadas. Por simplicidade, o objetivo foi projetar uma amplificação do sinal do limite mais baixo da banda inferior ao limite mais alto da banda superior, isto é, de 824 a 894 MHz. O sistema deve satisfazer as condições de frequências da estação rádio-base, bem como, dos *handset's*. O maior desafio está no cálculo e projeto do ganho do amplificador do repetidor. Cada *site* terá suas condições de transmissão e o ganho deverá ser calculado para cada *site* individualmente. Na prática, medidas do sinal deverão ser feitas em cada *site* para determinar o ganho necessário para que a comunicação seja realizada com segurança. Depois de ter sido determinado o valor do ganho do *site*, o amplificador do repetidor deve ser projetado para produzir este ganho.

2.3. Escolha do Amplificador

Foi desenvolvido um circuito eletrônico para amplificação do sinal que é captado pela antena externa. Este circuito utiliza como componente principal o amplificador semicondutor **MHL9838** da Motorola [2], que apresenta um ganho de 31 dB e faixa de frequência típica de 800 -925 MHz, 8,0 W de potência, podendo ser utilizado para trabalhar nas tecnologias CDMA e TDMA.

2.4. Escolha das Antenas

A escolha das antenas deve obedecer três objetivos: (1) faixa de frequência de operação, 824 – 894 MHz; (2) baixa razão de ondas estacionárias (SWR) sobre esta faixa de frequências; e (3) radiação em todas as direções exceto na direção da saída do repetidor. O terceiro item garante que um sinal radiado por uma antena não é recebido por outra, amplificado novamente e retransmitido (loop infinito), causando a saturação do amplificador e degradação do desempenho do repetidor.

2.5. Circuladores e/ou Duplexadores

Devido ao fato de ambas antenas estarem recebendo e transmitindo ao mesmo tempo, alguns tipos de circuitos acopladores são necessários para isolar a transmissão e recepção dos sinais. Particularmente, o circuito acoplador precisa evitar que a saída de um amplificador realmente a entrada do outro. Circuladores operam como dispositivos de três portas, onde a entrada da porta 1 alimenta a saída da porta 2, e a entrada da porta 2 alimenta a saída da porta 3, e a entrada da porta 3 alimenta a saída da porta 1. O circuito de isolamento interna previne que

¹⁵ Este dispositivo é especificado no item 2.5.

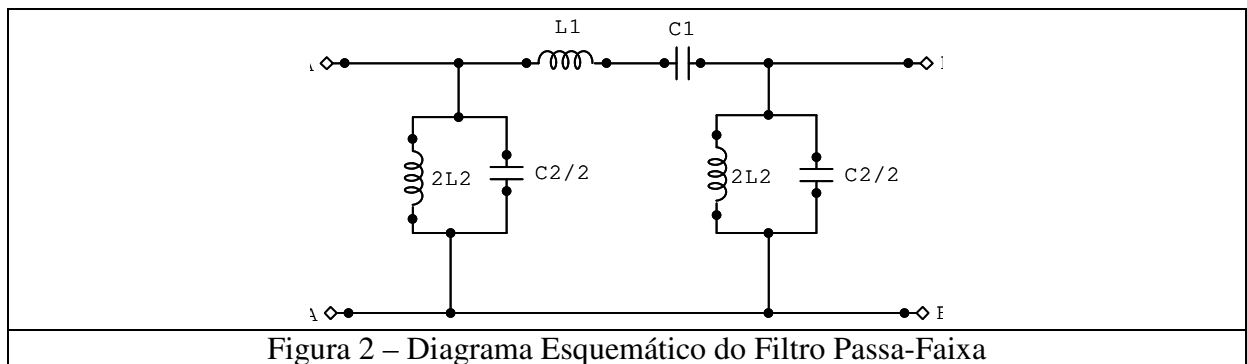
o sinal circule em outras direções. Duplexadores atuam essencialmente como filtros passa-faixa, permitindo que sinais de uma determinada faixa de frequências passem e rejeitando todos os outros. Um duplexador convenientemente configurado teria essencialmente a mesma função que um circulador.

Circuitos de acoplamento alternativos foram estudados devido ao custo destes dispositivos, especialmente os duplexadores, que para a pequena quantidade a ser utilizada no protótipo, seria excessivamente alto.

2.6. Filtros Passa-Faixa

A alternativa considerada envolveu o projeto e a construção de filtros passa-faixa, realizando a função do próprio duplexador. A referência [3] apresenta métodos detalhados para o desenvolvimento de tais filtros. Abaixo está uma descrição do processo de cálculo para um filtro passa-faixa para a faixa de 824 – 849 MHz.

Para a faixa de frequências acima citada, o filtro com largura de banda igual a 25 MHz e frequência de ressonância de 836,5 MHz. A Figura 2 mostra o diagrama esquemático deste filtro.



$$bw = \frac{BW}{f_0} = \frac{25MHz}{836,5MHz} = 0,02989 = 2,989\% \quad (1)$$

$$L_1 = \frac{1}{\pi(f_2 - f_1)} \quad (2)$$

$$C_1 = \frac{1}{4\pi R f_1 f_2} \quad (3)$$

$$C_2 = \frac{1}{\pi R(f_2 - f_1)} \quad (4)$$

$$L_2 = \frac{R(f_2 - f_1)}{4\pi f_1 f_2} \quad (5)$$

Usa-se $Z_0 = 50 \Omega$ e $\omega_0 = 2\pi f_0$ para obter os valores dos componentes para o filtro.

2.7. Esquema Final do Amplificador

A Figura 3 mostra a configuração final do amplificador. Foi utilizada uma fonte chaveada CC de 26 V para alimentar o circuito. O protótipo foi montado sobre uma placa de alumínio que serve ao mesmo tempo como dissipador de calor e terra do circuito.

Na Figura 3 os itens indicados como RF IN e RF OUT são as entradas/saídas para interligar o amplificador as antenas transmissora e receptora. O item indicado pela letra “A” é a placa de alumínio acima citada. O item “B” é o conector SMA fêmea para ligar os cabos coaxiais das antenas. O item “C” é o indutor. Os itens “D”, “E”, “F” e “G” (10 μF , 1 μF , 0,1 μF e 0,01 μF , respectivamente) são os capacitores. O item “H” é a própria placa de circuito impresso. E Vdd é a alimentação do sistema.

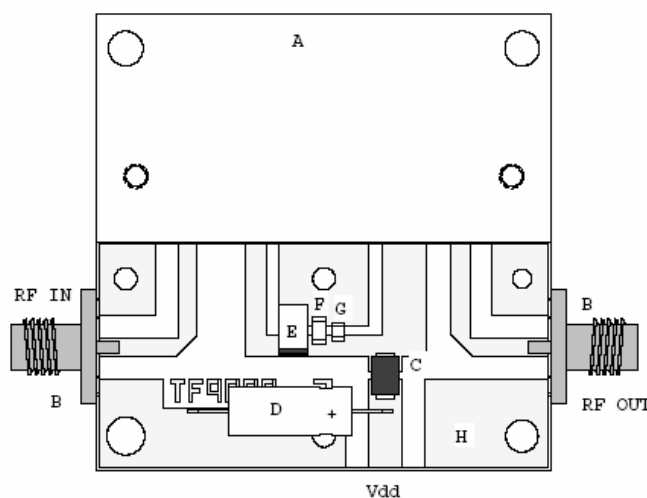


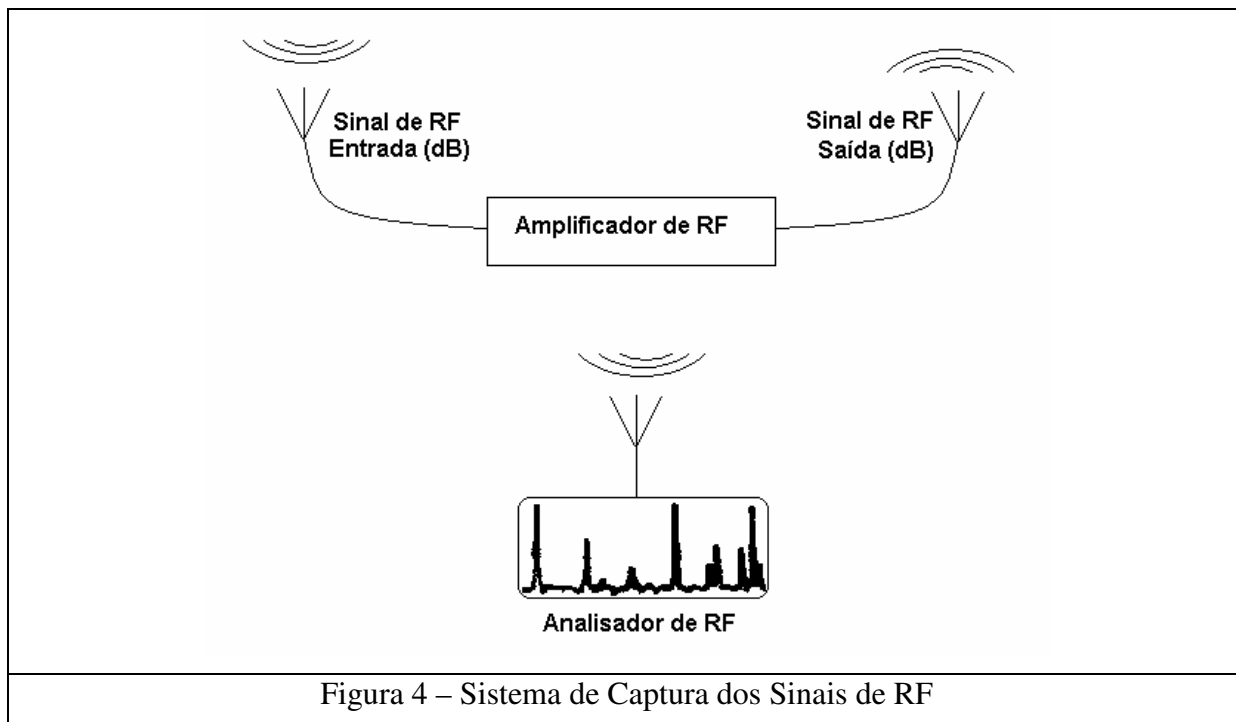
Figura 3 – Esquema final do Amplificador

2.8. Testes e Medições

As medidas de sinal foram realizadas em campo aberto, ou seja, na localidade¹⁶ em que o repetidor será implementado. Para analisar os sinais de rádio frequência emitidos pelos retransmissores (ERBs) e telefones celulares foi utilizado um analisador de sinais de RF marca Wavetek modelo STABILOBLOK 4032 AMPS B.A.T.E. *Universal Analog/Digital Communication Test Set*, com range de frequência de 27 MHz até 999 MHz, o qual é satisfatório para analisar sinais das tecnologias CDMA e TDMA.

Para capturar os sinais utilizou-se três antenas de RF sendo que duas acopladas ao amplificador de RF onde a primeira é utilizada para capturar sinais do meio ambiente e enviar ao amplificador, a segunda é utilizada para enviar os sinais de RF amplificados para o meio, enquanto que a terceira antena tem a finalidade de capturar os sinais do meio ambiente e enviar para o analisador de sinais. A figura 4 ilustra a maneira utilizada para captura e análise de sinais.

¹⁶ Localidade conhecida como Morro Alto, região rural do Município de Guarapuava, Paraná.



Para realizar os testes de aquisição de sinais foi utilizada a faixa de 820 MHz até 900 MHz no analisador de sinais.

Foram realizados ainda testes de comunicação com aparelhos celulares das tecnologias TDMA e CDMA, da marca Nokia.

Foram feitas medidas sob duas condições distintas, ou seja, com o circuito amplificador desligado e com o circuito ligado. Os resultados dos sinais medidos no analisador de espectro foram os seguintes:

- 1) Neste caso o sinal adquirido pelo analisador de RF mostra que não existe valor mensurável na faixa de frequência analisada. A figura 5 foi tratada com software específico, pois a mesma foi obtida através de uma máquina fotográfica digital, já que o analisador de sinal não possuía saída serial ou paralela para enviar os dados para um computador pessoal. A figura 6 mostra a o sinal obtido via máquina fotográfica digital.

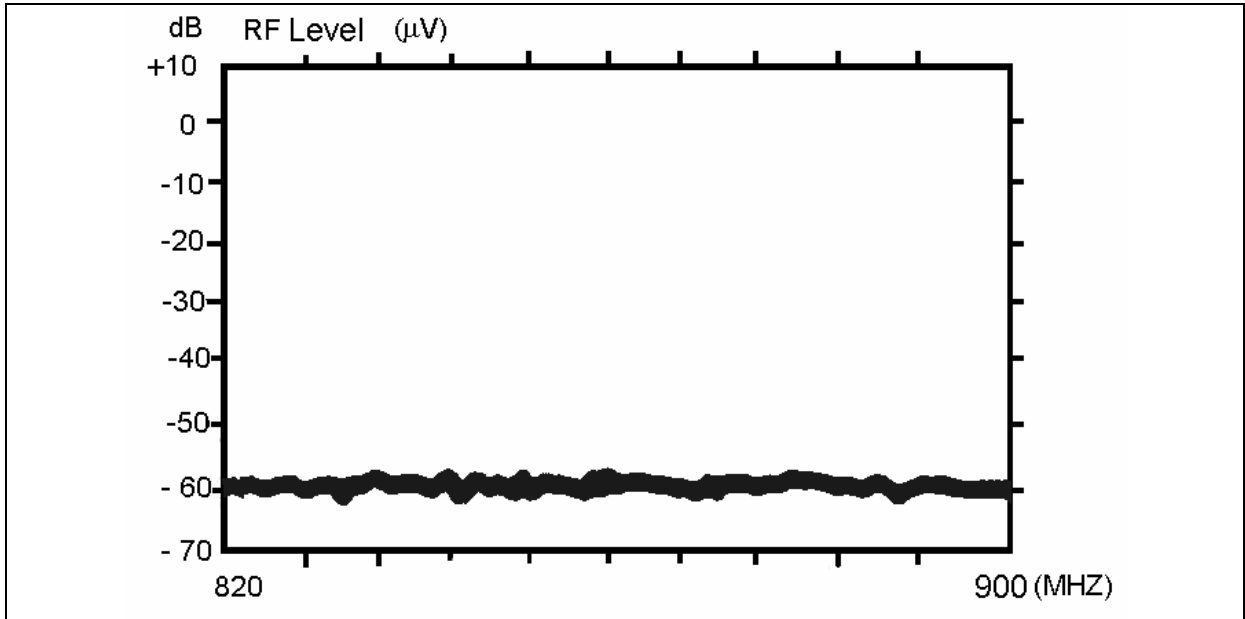


Figura 5 – Circuito Amplificador Desligado

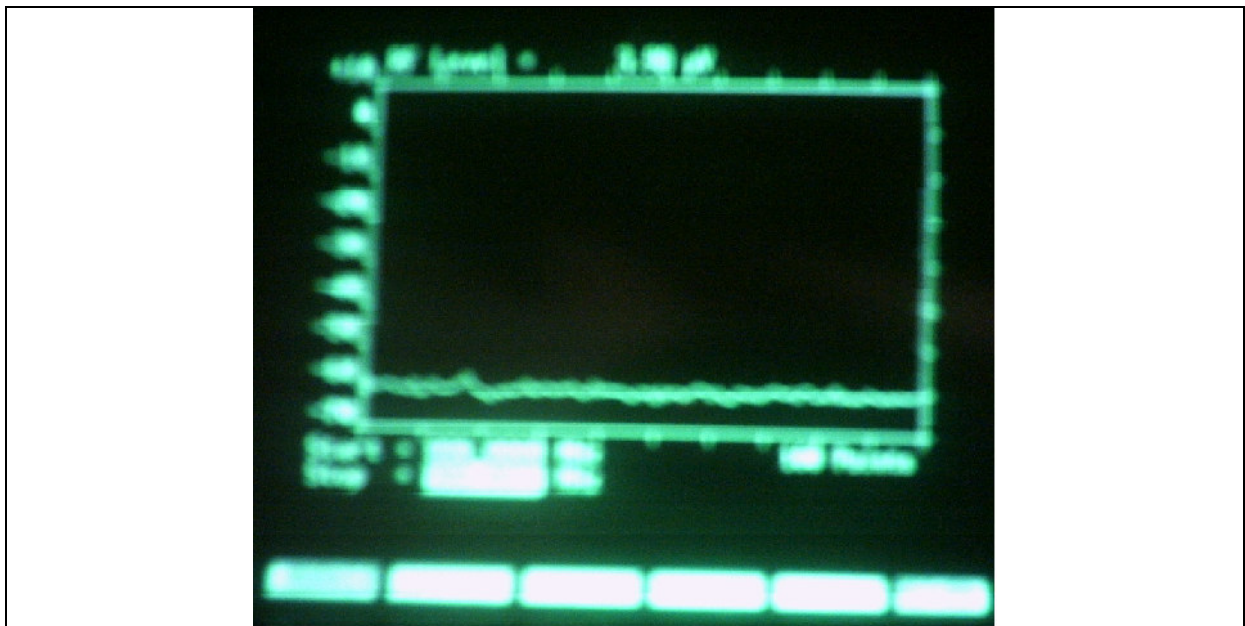


Figura 6 – Foto do Amplificador Desligado

A Tabela 1 mostra os valores obtidos através do analisador de sinais.

Tabela 1 – Valores de Ganho do Sinal do Amplificador

Freq. (MHz)	G (dB)
824	- 60
849	-60
869	-60
894	-60

2) A figura 7 mostra o sinal obtido pelo analisador de sinais no instante em que o amplificador de RF foi ligado. Observa-se que há uma melhora sensível no sinal na

faixa analisada. Pode-se notar que há um pico no instante que o amplificador foi ligado, e que o mesmo não se repetiu após a estabilização do mesmo, ou seja, este pico foi gerado por algum ruído do próprio amplificador.

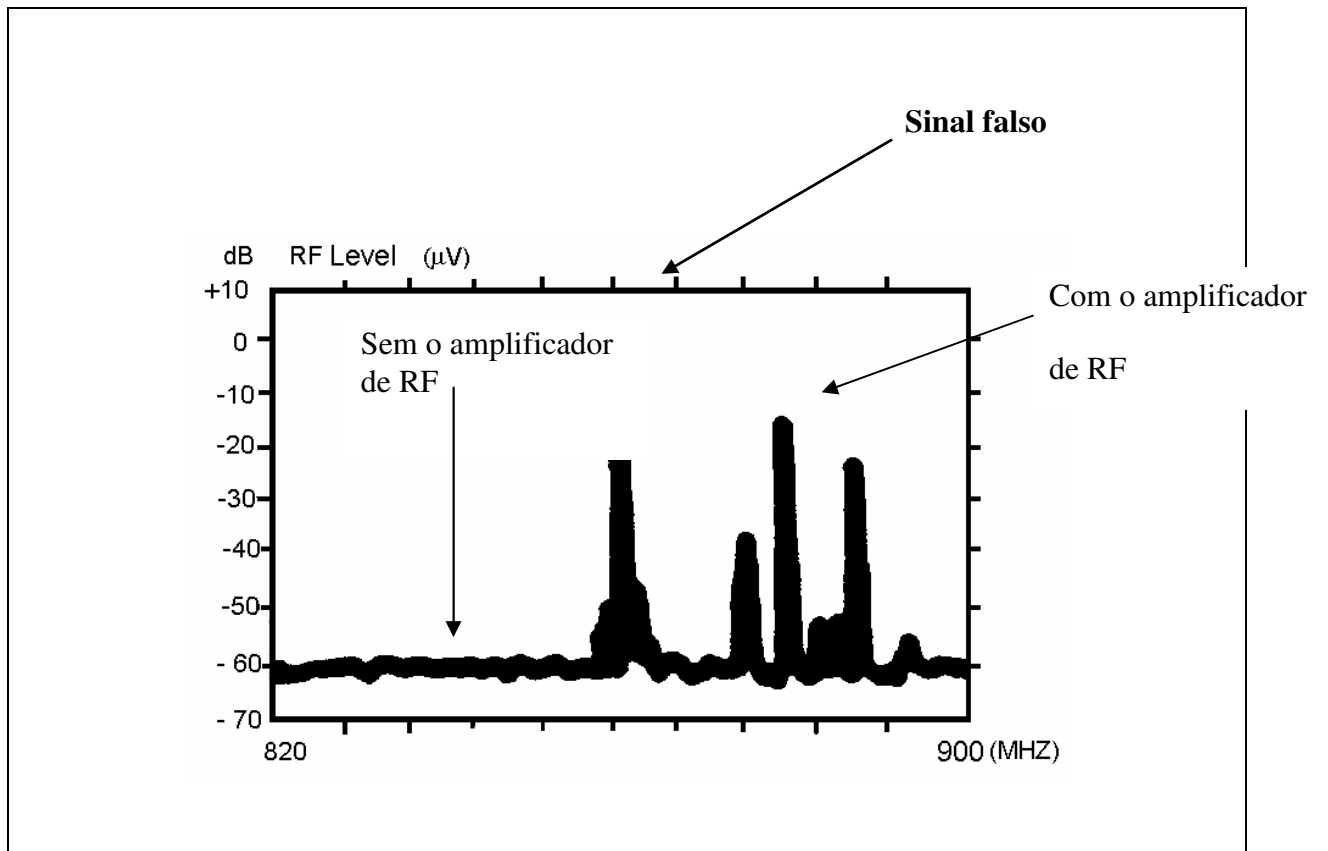


Figura 7 – Sinal no Instante que o Circuito foi Ligado

3) Decorrido alguns minutos após ligar o amplificador foram obtidos os sinais mostrados na Figura 8.

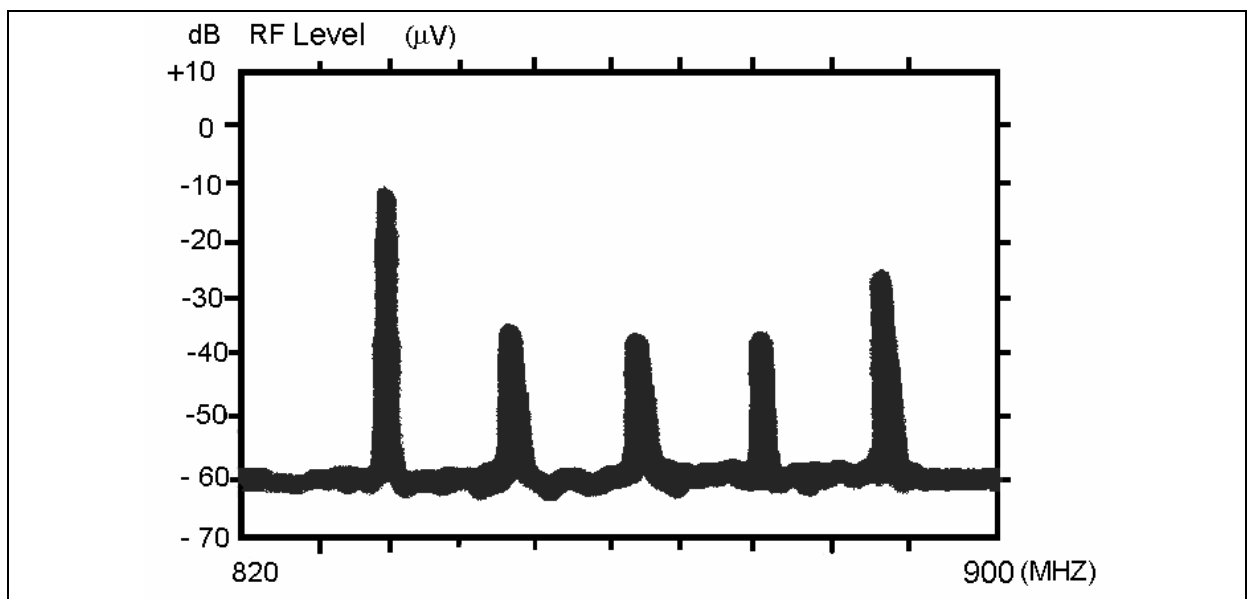


Figura 8 – Circuito Amplificador Ligado

A Tabela 2 mostra os valores obtidos através do analisador de sinais.

Tabela 2 – Valores de Ganho do Sinal do Amplificador

Freq. (MHz)	G (dB)
824	- 10
849	-35
869	-35
894	-30

Na prática observou-se que para ligações originadas pelo telefone celular para telefone fixo distante 18 Km (região urbana), obteve-se êxito em praticamente todas as tentativas, em torno de 95 %, mas para ligações originadas do telefone fixo para o telefone celular o percentual de êxito caiu para aproximadamente 70%. Em uma outra situação foram feitas ligações entre dois telefones celulares, sendo que os mesmos estavam localizados na mesma região, ou seja, próximo ao amplificador de RF. Neste caso a eficiência ficou entorno de 50%, isto ocorreu, pois a posição da antena de entrada de RF para o amplificador é de fundamental importância para a captura do sinal oriundo de fora (região urbana).

Através das Figuras 7 e 8 é possível verificar que houve uma melhoria no sinal recebido na localidade escolhida, mas melhorias no sistema são necessárias. Os testes realizados com os aparelhos celulares indicaram um melhor aproveitamento nas ligações com aparelhos da tecnologia TDMA.

2.9. Análise de Custo

A seguir é mostrada a Tabela 3 com os valores dos componentes principais do projeto. O objetivo é mostrar que este sistema tem um custo relativamente baixo, podendo ser implementado não apenas em regiões em que o sinal é fraco, mas também em regiões onde os custos de implantação dos sistemas de comunicações (telefonia fixa rural, via rádio, etc) são altos.

Tabela 3 – Custo do Projeto

Componente	Descrição	Fabricante	Custo Unitário	Quantidade	Custo Total
MHL9838	Amplificador 900 MHz	Motorola	R\$ 250,00	1	R\$ 250,00
CF-913	Antena Receptora	Amplimatic	R\$ 50,00	1	R\$ 50,00
CF-919	Antena Transmissora	Amplimatic	R\$ 70,00	1	R\$ 70,00
-	Indutores	-	R\$ 0,77	2	R\$ 1,54
-	Capacitores	-	R\$ 0,37	4	R\$ 1,48

FTP 2603	Fonte CC	Hayonik	R\$ 30,00	1	R\$ 30,00
SMA Fêmea	Conectores	-	R\$ 8,91	2	R\$ 17,82
-	Outros	-	-	-	R\$ 30,00
Custo Total do Projeto:					R\$ 450,84 ¹⁷

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Paralelamente à evolução tecnológica dos sistemas, a massificação do uso dos celulares demanda um aumento na qualidade do serviço prestado, especialmente com relação aos tipos de facilidades oferecidas e níveis satisfatórios de cobertura. Estes níveis tornam-se mais difíceis de alcançar com o aumento das frequências utilizadas para o oferecimento dos serviços.

No intuito de atender as exigências deste novo mercado mais competitivo e com usuários cada vez mais rigorosos, o uso de repetidores para prover a melhoria de qualidade da cobertura tem-se mostrado uma boa opção, sendo utilizados por diversas operadoras de telefonia móvel.

Em relação ao objetivo de oferecer uma alternativa de comunicações de baixo custo e melhoria do sinal recebido em uma região em que o sinal é fraco, os resultados indicados nas tabelas e figuras mostram que o mesmo foi alcançado, contudo não inteiramente, pois houve situações em que o sistema funcionou intermitentemente, principalmente quando havia um aquecimento excessivo do amplificador.

Analisando os resultados obtidos verifica-se a necessidade de um estudo melhor das características topográficas, morfológicas e sistêmicas (tipo de cobertura desejada), da região escolhida, para a verificação de rádio interferência.

Outra alternativa para a melhoria do protótipo seria a substituição do amplificador por outro de outro fabricante com função dedicada a apenas uma das tecnologias (TDMA e/ou CDMA).

REFERÊNCIAS

- [1] Agência Nacional de Telecomunicações “**Atribuição, Destinação e Distribuição de Faixas de Frequências no Brasil**”, 2004, <http://www.anatel.gov.br/Radiofrequencia/plaradio.asp>. Acessado em 20/04/04.
- [2] Motorola MHL9838, **Semiconductor Technical Data**, Motorola Inc., 2002.
- [3] Romano, Hélio Drago, “**Filtros de Frequência e Linhas de Transmissão**”, ch. 9, pp.104-118, Rio de Janeiro, 1999.

Agradecimentos

Ao senhor Renato Frias da empresa Motorola Semiconductors Ltda. por fornecer os amplificadores MHL9838 para fins educacionais.

¹⁷ Este cálculo não inclui o valor das horas de trabalho do técnico.