

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**UMA PROPOSTA PARA PROJETO DE REDE DE ACESSO
EM TELEFONIA CELULAR**

FÁBIO FREISCHLAG

Porto Alegre, 2002.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**UMA PROPOSTA PARA PROJETO DE REDE DE ACESSO
EM TELEFONIA CELULAR**

Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia – Modalidade Profissionalizante – Ênfase em Qualidade e Desenvolvimento de Produto e Processo.

FÁBIO FREISCHLAG

Orientador: Professor Doutor José Luis Duarte Ribeiro

Porto Alegre, 2002.

Este Trabalho de Conclusão foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de mestre em ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo orientador e pelo coordenador do Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. José Luis Duarte Ribeiro

Orientador
Escola de Engenharia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof^a. Helena Beatriz Bettella Cybis

Coordenadora
Mestrado Profissionalizante em Engenharia
Escola de Engenharia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

BANCA EXAMINADORA

Prof.a. Maria Cristina Felippetto de Castro
Engenharia Elétrica/PUCRS

Prof. Carlos Eduardo Pereira
Engenharia Elétrica/UFRGS

Prof.a. Carla Schwengber ten Caten
Engenharia de Produção/UFRGS

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pais, que sempre incentivaram minha educação.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Eufrásio Newton Balbão Freischlag, e Carmen Silvia Freischlag, por sempre apoiarem meus estudos, e pelas palavras de incentivo que, com certeza, me ajudaram a tornar-me um homem. Por serem os maiores responsáveis pela minha formação de caráter e personalidade.

À minha namorada Juliana de Moraes Soster, pelo carinho que demonstrou durante todo o nosso relacionamento. Sua paciência e presença certamente me ajudaram muito.

À minha sogra Ana Regina de Moraes Soster, pelos conselhos e discussões. Principalmente por estar em situação semelhante, tirando título de Mestre, certamente contribuiu na conclusão desse trabalho.

Ao orientador José Luis Duarte Ribeiro que, sem dúvida, me ajudou a decidir sobre o título do trabalho, bem como, com sua experiência de doutor, soube ensinar e passar muito do seu conhecimento.

Aos professores do Mestrado, que me ensinaram muito durante as aulas, e mesmo fora delas. Certamente devo muito do que hoje sou à esses formidáveis professores, responsáveis pelo excelente curso de pós graduação ministrado, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Aos amigos e colegas, que tiveram participação direta, e indireta nesse trabalho. Agradeço muito os favores, os conselhos e, sem dúvida, a paciência demonstrados durante todo esse tempo.

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	12
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Comentários Iniciais.....	13
1.2 Tema e Objetivos	18
1.3 Método de Trabalho.....	21
1.4 Estrutura.....	22
1.5 Limitações	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1 Telefonia Móvel.....	24
2.2 Transmissão Digital via Microondas.....	26
2.3 Rede de Acesso	30
2.4 Confiabilidade	33
2.5 Planejamento Celular	36
3 ESTUDO DAS CONFIGURAÇÕES BÁSICAS E RESPECTIVAS SOLUÇÕES ÓTIMAS	38
3.1 Telefônica Celular.....	38
3.2 Definição das Configurações Básicas de Rede de Acesso para Serviço Móvel Celular	42
3.2.1 A Confiabilidade de um Enlace.....	45
3.2.2 Configuração em Série	48
3.2.3 Configuração Estrela	52
3.2.4 Configuração Mista.....	55
3.2.5 Configuração em Anel	57
3.3 Escolha da Configuração Ótima.....	60

4 DESENHO DA REDE.....	62
4.1 Considerações Iniciais.....	63
4.2 Desenvolvimento da Rede.....	66
4.3 Desenho Ideal da Rede de Acesso.....	78
5 OTIMIZAÇÃO DO DESENHO DA REDE.....	80
5.1 Resumo da Planta.....	80
5.2 Estudo de Viabilidade dos Enlaces.....	83
5.3 Soluções para os Enlaces Inviáveis.....	90
5.4 Resumo das Soluções.....	93
5.5 Resumo da Metodologia Proposta.....	95
6 COMENTÁRIOS FINAIS.....	98
6.1 Conclusões.....	98
6.2 Sugestões para Trabalhos Futuros.....	101
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico de Vendas de Terminais Celulares no Mundo	15
Figura 2 – Sistema Celular	17
Figura 3 – Anel Óptico Norte	20
Figura 4 – Acumulado de Enlaces Licenciados por Ano (Inglaterra)	29
Figura 5 – Cálculo de Confiabilidade em Sistemas de Comunicações.....	35
Figura 6 – Política de Qualidade e Missão da Empresa	40
Figura 7 – Configuração em Série	49
Figura 8 – Configuração Estrela	53
Figura 9 – Configuração Mista.....	55
Figura 10 – Configuração em Anel	58
Figura 11 – Anel Óptico Norte e Estações Rádio Base	65
Figura 12 – Primeira Área de Cobertura.....	68
Figura 13 – Segunda Área de Cobertura.....	71
Figura 14 – Terceira Área de Cobertura	72
Figura 15 – Quarta Área de Cobertura	74
Figura 16 – Quinta Área de Cobertura	76
Figura 17 – Sexta Área de Cobertura	77
Figura 18 – Rede de Acesso Ideal	79
Figura 19 – Levantamento de Perfil.....	84
Figura 20 – Estudo de Viabilidade de Enlace no <i>Path Loss</i>	87
Figura 21 – Exemplo de Enlaces Inviáveis	89
Figura 22 – Primeira Solução para Enlace Inviável	92
Figura 23 – Segunda Solução para Enlace Inviável	93
Figura 24 – Terceira Solução para Enlace Inviável	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Uso do Espectro Eletromagnético	28
Tabela 2 – Fatores Ambientais.....	36
Tabela 3 – Custo dos Equipamentos de um Enlace.....	48
Tabela 4 – Equipamentos para Configuração em Série	51
Tabela 5 – Confiabilidade das Estações na Configuração em Série.....	51
Tabela 6 – Equipamentos para Configuração Estrela	53
Tabela 7 – Confiabilidade das Estações na Configuração Estrela	54
Tabela 8 – Equipamentos para Configuração Mista.....	56
Tabela 9 – Confiabilidade das Estações na Configuração Mista.....	56
Tabela 10 – Equipamentos para Configuração em Anel	59
Tabela 11 – Confiabilidade das Estações na Configuração em Anel	59
Tabela 12 – Quantitativos do Projeto Ideal.....	82
Tabela 13 – Levantamento de Perfil Topográfico	85
Tabela 14 – Quantitativos do Projeto Final.....	94

LISTA DE SIGLAS

AM - Amplitude Modulation
Anatel – Agência Nacional de Telecomunicações
CCC – Central de Comutação e Controle
CDMA – Code Division Multiple Access
CF – Centro de Fios
CRT – Companhia Riograndense de Telecomunicações
E1 – quantidade de tráfego 1 E1 tem 32 canais de 64kbps
EM – Estação Móvel (aparelho celular)
ERB – Estação Rádio Base
FDMA – Frequency Division Multiple Access
FM – Frequency Modulation
FUST – Fundo de Universalização dos Sistemas de Telecomunicações
GSM – Global System for Mobile
ITU – International Telecommunications Union
Kbps – quilo Bits por segundo
PASTE - Perspectivas para Ampliação e Modernização do Setor de Telecomunicações
PDH -Plesiochronous Digital Hierarchy
PTO – Public Telecommunication Operator
RF – Rádio Freqüência
RTPC – Rede de Telefonia Pública Comutada
SDH – Synchronous Digital Hierarchy
TDMA – Time Division Multiple Access
WAP – Wireless Access Protocol

RESUMO

Esse trabalho apresenta um estudo envolvendo uma proposta para os procedimentos de projeto de redes de acesso, aplicado à telefonia móvel celular. O trabalho foi desenvolvido através de uma pesquisa-ação. O projeto de redes de acesso é um assunto bastante antigo em telefonia, mas, em se tratando de telefonia móvel, passa a ser uma novidade. Inicialmente, foi realizado um estudo teórico, buscando as tecnologias disponíveis no mercado, tais como as sugeridas por fornecedores de equipamentos. Foram consideradas também as modificações feitas em teorias das redes de acesso da telefonia fixa. O resultado do estudo teórico forneceu uma base para seguir o trabalho, aplicando o modelo em um estudo real. Posteriormente, foi desenvolvido um estudo prático, envolvendo o planejamento da rede de acesso ao anel óptico norte. A abordagem proposta contempla as seguintes etapas: (i) estudo detalhado das configurações, em busca de uma configuração básica a ser expandida em toda a rede; (ii) desenho da rede, propondo um método de desenho de rede de acesso, aplicado à rede da Telefônica Celular nas estações existentes; (iii) otimização do desenho da rede, buscando soluções para as inviabilidades apresentadas no desenho ideal; e (iv) a concretização do trabalho, com o desenho de rede proposto para implementação em campo. A abordagem desenvolvida neste estudo auxilia o projetista nas etapas de planejamento de redes de acesso. Seguindo a abordagem proposta, desenvolvida junto à telefonia celular, tem-se maior facilidade no gerenciamento e nas tomadas de decisão, principalmente em momentos de expansão da rede.

ABSTRACT

This work presents a proposal for the project of mobile telecommunication access networks. The work has been developed through an action research. The project of access networks is an old issue in telecommunications, but, regarding mobile telecommunications, it becomes something new. At first, a theoretic study has been made, searching the available technologies in the market, such as the ones suggested by equipment suppliers. The modifications on theories about wired telecommunication were also considered. The result of this study provided a base to continue the work, applying the model on a real study. A practical study has been developed, including the access network planning of the optical north ring. The suggested approach contemplates the following steps: (i) detailed study of the configurations, searching one basic configuration to be expanded over the network (ii) network project, suggesting a method for the project of access networks, applied to the existent network of Telefonica Celular (iii) optimization of the network project, searching solutions to the constrains present in the real project and (iv) the materialization of the work, with the project of the proposed network to field implementation. The approach developed in this study helps designers on the steps of planning access networks. This approach, which was developed oriented to mobile telecommunication, facilitates the decisions regarding the network management, mostly when it comes to network expansion.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Comentários Iniciais

A Comunicação humana é muito antiga. Significa a troca de informações, utilizando um meio para o transporte da mensagem de um lado ao outro, sem alteração no seu conteúdo. Os índios comunicavam-se através da fumaça, criando códigos de comunicação. A utilização da eletricidade para Comunicação, contudo, teve seu início apenas em 1876, quando Graham Bell criou o primeiro sistema de comunicação por meio elétrico. Assim, em 1878, estabeleceu-se a primeira central telefônica nos Estados Unidos, com assinantes, que se comunicavam entre si distantemente. Ao longo do tempo, a comunicação vem se aperfeiçoando e ganhando cada vez mais espaço e importância. Os meios de comunicação vêm sendo cada vez mais explorados, partindo para sistemas cada vez mais complexos. Passamos por várias gerações de tecnologias e, com o passar do tempo, as comunicações se dividiram em vários segmentos, rádio, satélite, televisionamento, entre outros. Em 1999 as grandes fusões nos meios de telecomunicações giraram um montante de 670,5 bilhões de dólares. Nos últimos dez anos, as fusões entre empresas de telecomunicações estiveram cinco vezes no primeiro lugar das grandes operações financeiras¹.

O mundo depende cada vez mais de telecomunicações, seja por motivos econômicos ou tecnológicos. Serviços novos são lançados a cada dia no mercado mundial. Existem tantos meios de comunicação que, atualmente, o problema é descobrir qual o mais apropriado. Internet por meio físico, por rádio, por satélite ou

por celular? Quem sabe qual o meio mais econômico de transmitir um determinado tipo de informação?

No Brasil, a situação não é diferente. As telecomunicações vêm ganhando importância crescente na nossa economia, desde a privatização do Sistema Telebrás, regido atualmente pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). Atualmente, algumas das maiores empresas de telecomunicações do mundo estão explorando o mercado brasileiro e trazendo tecnologias e serviços novos e ao alcance de todos.

Observa-se que, entre as 20 maiores empresas de tecnologia do Brasil, em 1999, tomando-se como base o volume de vendas, 18 estão atuando no setor de serviços de comunicação. A quantia de 23,8 bilhões de dólares foi movimentada em vendas nesse setor da economia, o que representa 55% das vendas no mundo digital no ano de 1999².

A importância das telecomunicações, entretanto, não se resume apenas a dados financeiros. Além disso, o acesso aos meios de comunicação vem expandindo-se cada vez mais, chegando a milhares de residências em todo o país. Segundo o PASTE da ANATEL, a densidade de acessos a TV por assinatura, por exemplo, aumentou de 9,1% para 12,3%, de 1999 até o que estava previsto para 2001.

Os brasileiros contam, ainda, com legislação e fiscalização para garantir que as pessoas mais humildes tenham acesso às comunicações. Neste sentido, por exemplo, o Fundo de Universalização dos Sistemas de Telecomunicações (FUST) criado pela ANATEL, é uma taxa que vem sendo cobrada desde 2001 das operadoras de serviços de telecomunicação do Brasil inteiro. Tem o objetivo de universalizar as comunicações de massa, segundo o plano de ações desse fundo prevê que todas as localidades no país, com até 600 habitantes, devem ter acesso a, pelo menos, telefones públicos até o final de 2003.

¹ Segundo *Gartner Group, Thopson Financial Scurities Data, Roland Berger – Strategy Consultants*. Disponível em: <<http://www4.gartner.com/recognizeduser>>.

² “As 200 Maiores Empresas de Tecnologia do Brasil”, Revista INFO.

As operadoras de telefonia celular vêm acompanhando essa evolução dos meios de comunicação. Esse serviço oferecido pelas operadoras mostra claramente a facilidade de acesso à informação. Atualmente, é possível acessar à Internet, a partir de aparelhos celulares. Já existem vários serviços associados ao serviço móvel celular. O mundo vem ingressando, aos poucos, na terceira geração de celulares, geração essa que trará a capacidade de trafegarmos som e imagem, em tempo real, a partir dos nossos terminais, além de efetuarmos a baixa de arquivos, em alta velocidade, para nossos computadores de mão. Pode ser citado como exemplo a *UK Mobile*, que foi vendida por 45 bilhões de dólares, para a *France Telecom*, por ter a licença para explorar os serviços de terceira geração de celular.

A Figura 1 apresenta as previsões de venda de terminais celulares com e sem navegadores de Internet. Pode ser observado que, em 2003, segundo a estimativa, a quantidade de terminais vendidos com a possibilidade de acesso à Internet deve ser de aproximadamente 90% do total de terminais vendidos no mundo.

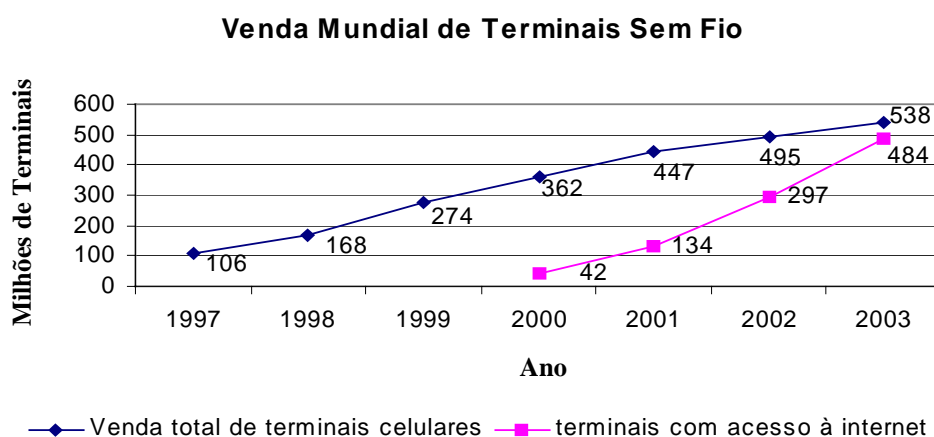


Figura 1 – Gráfico de Vendas de Terminais Celulares no Mundo

As operadoras de telefonia devem transportar seu tráfego até uma Central de Comutação e Controle (CCC), responsável pelo fechamento das chamadas efetuadas entre terminais. Para que esse tráfego de informação seja possível, é necessária uma rede de transporte. Essa rede é quem faz tráfego de grande

capacidade de informação entre as centrais. No caso da telefonia celular, é preciso haver uma rede de acesso, que será a rede responsável pelo tráfego das Estações Rádio Base, conhecidas como ERBs, até uma das CCCs. Assim, para uma operadora funcionar, ela deve trafegar informações entre CCCs e entre ERBs e CCCs. A rede de acesso é, portanto, de vital importância para a empresa, uma vez que as Estações Rádio Base devem prover sinal celular para certa área e, para que isso aconteça, essas estações têm que estar ligadas às CCCs da planta telefônica.

Uma rede de acesso deve ser bem planejada. Como uma das pontas do sistema, é a grande responsável pela confiabilidade geral, que deve corresponder a certos índices impostos pela ANATEL – tais como percentual máximo de quedas de chamadas. Esse percentual pode ficar comprometido quando uma ERB tem sua conexão com a CCC interrompida, isso provoca a interrupção de todas as chamadas que estão em curso naquele momento, podendo fazer extrapolar o índice controlado pela ANATEL.

A Figura 2 auxilia o leitor no conhecimento do sistema celular, além de ilustrar a diferença entre rede de acesso e a rede de transporte. A ligação deve sair da Estação Móvel (EM) 1 e chegar até a EM2. Para isso ela comunica-se com a ERB, através da chamada Interface-Ar. A ERB, por sua vez, comunica-se com a sua CCC. Cada ERB responde a uma CCC.

Conforme mencionado, a CCC é a responsável pela inteligência do sistema. Ela pesquisa as outras CCCs do sistema, em busca do assinante B. Ao encontrá-lo, a Central comuta a chamada para a CCC correspondente. O tráfego entre as CCC, aparece em vermelho na Figura 2, é a rede de transporte, ou *backbone* da rede. As setas em azul representam a rede de acesso, responsável pela comunicação entre a ERB e a CCC.

A descrição acima é apenas ilustrativa e está bastante reduzida pois não é foco do trabalho. É claro que existem muitas comunicações no sistema antes de completar uma chamada. À isso tudo soma-se a complexidade de os assinantes estarem em movimento, trocando freqüentemente de ERBs e até de CCCs, e a chamada deve continuar ativa, sem interrupções.

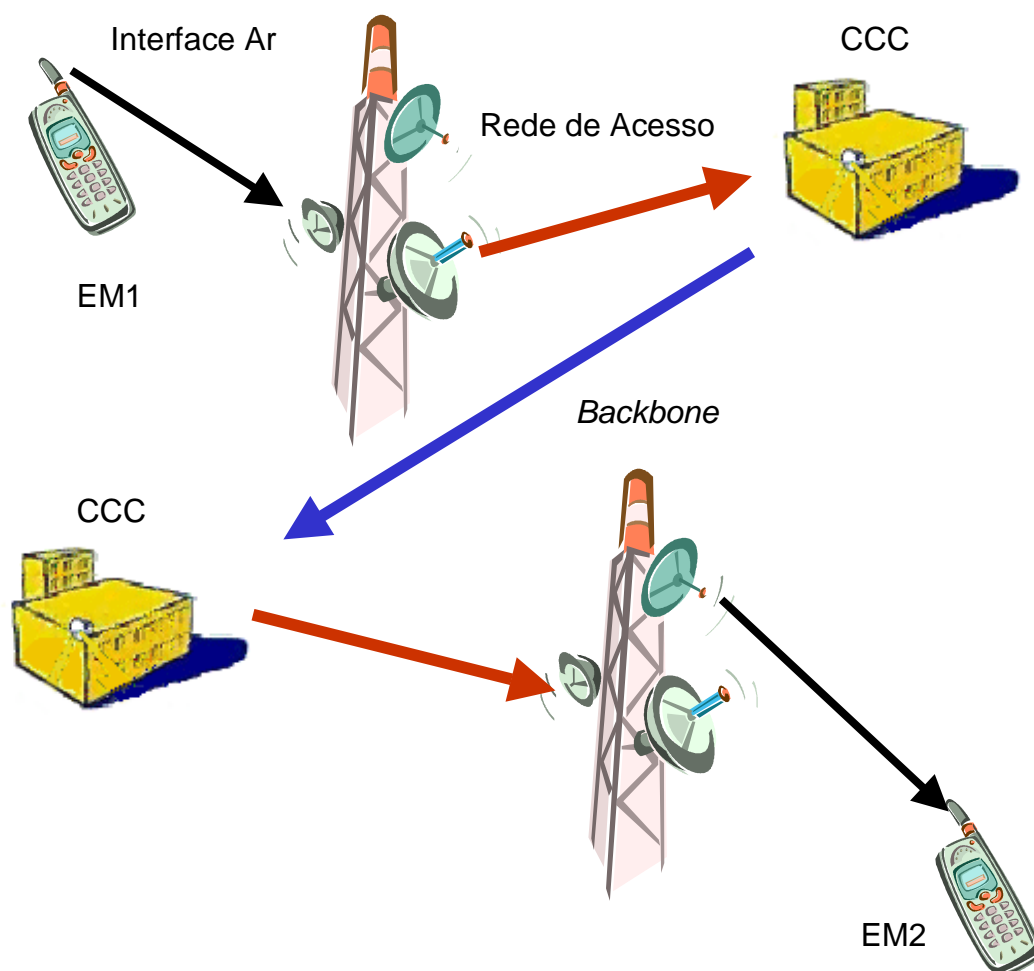


Figura 2 – Sistema Celular

Uma vez compreendido o funcionamento de uma rede de acesso, é possível entender melhor a necessidade de um projeto bem elaborado, que garanta alta confiabilidade ao sistema e seja capaz de trafegar toda a informação necessária atualmente e futuramente. Isso significa que é preciso considerar o aumento da demanda por meios de comunicação, previsto em função do ingresso de novos serviços e tecnologias, criados a cada dia.

1.2 Tema e Objetivos

Atualmente vive-se em uma fase onde cada operadora celular do país, que descende das antigas operadoras de telefonia fixa, está buscando a independência de meios de transmissão. As operadoras de celular mais antigas no país têm sua origem nas operadoras de telefonia fixa. Utilizam-se, portanto, até hoje muitos meios de transmissão já implantados nas diversas regiões do país, pois no início não havia a necessidade de projetar uma rede de transmissão própria. Em 1997, com o desencadeamento da privatização dos serviços de telefonia pela ANATEL, as operadoras de telefonia celular foram separadas das operadoras de telefonia fixa, ficando, cada uma, pertencendo a uma empresa diferente. Essa fase modificou profundamente a estratégia das empresas de serviço móvel celular, que passaram a pagar aluguel por esse meio de transmissão, agora de outra operadora.

Essa mudança de cenário e o fato de que a ANATEL está promovendo, no final de 2002, a desregulamentação do setor de telecomunicações, permite que as operadoras de telefonia fixa explorem o serviço móvel celular e vice-versa. Assim, as empresas retentoras dos meios de transmissão, poderão tornar-se concorrentes das operadoras de telefonia celular. Nesse sentido, as operadoras de serviço móvel celular apresentam a tendência de investimento em redes de acesso.

Em função do cenário que se configura, as empresas de telefonia móvel celular defrontam-se com a urgência de projetar suas próprias redes de transmissão. As previsões dessas empresas apontam grandes investimentos para os próximos dois anos, com o intuito de não mais depender dos meios de transmissão alugados.

O tema desse trabalho é, portanto, a rede de acesso da Telefônica Celular. Rede de acesso é a que transporta o tráfego das Estações Rádio Base, ponta do sistema celular, até um ponto onde há a inserção em um anel de transporte, chamado de estação coletora. Por meio de fibra óptica, os dados de toda a planta celular trafegam até as Centrais de Comutação e Controle, as CCCs.

O objetivo do trabalho está relacionado com o desenvolvimento de um método para projetar redes de acesso, tendo como base a planta da Telefônica

Celular no estado do Rio Grande do Sul. O método foi desenvolvido, visando à definição de procedimentos e tecnologia de projeto de redes, específicos para a situação atual. Foi considerada, também, a futura demanda pelos serviços de telecomunicações e a agilidade na implantação e expansão da planta atual.

Uma vez desenvolvido, o método pode ser aplicado a uma rede de acesso a um anel óptico, projetado para a região norte do estado do Rio Grande do Sul. O anel óptico é apresentado na Figura 3 e mostra pontos onde possivelmente passará a fibra óptica. Vale lembrar que o anel está projetado, mas poderá sofrer alterações, quando for o momento de implantação.

Os valores apresentados nesse trabalho, bem como as informações consideradas estratégicas pela empresa, foram alterados, no intuito de preservar informações vitais. A quantidade de estações foi alterada, bem como a real localização das mesmas sofreu ajuste de posicionamento, preservando como estratégicos os pontos em que a empresa possui Estações Rádio Base. Os quantitativos de custo dos equipamentos foram alterados e o mesmo ocorreu com outros valores, igualmente estratégicos, para preservar preços praticados pelos fornecedores da empresa.

As alterações feitas nos dados do projeto não tiram a validade do trabalho, uma vez que a abordagem é acadêmica e pretende apresentar uma metodologia para projetos de redes de acesso. As figuras foram incluídas como forma de apresentar ao leitor uma ilustração, no sentido do que seja facilitado o entendimento da metodologia.

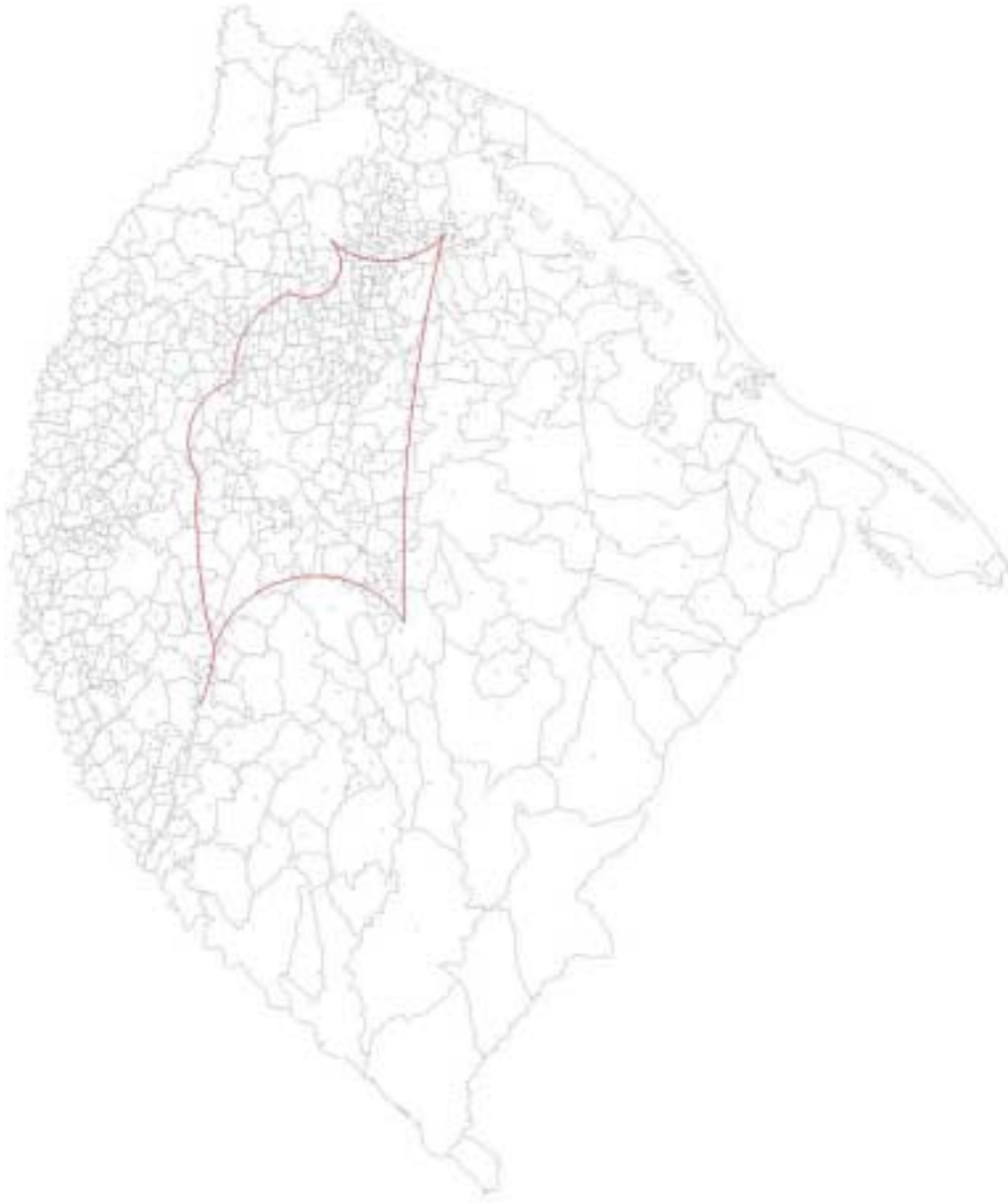


Figura 3 – Anel Óptico Norte

1.3 Método de Trabalho

O trabalho foi desenvolvido seguindo os preceitos da pesquisa-ação. Foi concebido e realizado a partir de estreita associação com uma ação e com a resolução de um problema coletivo. O autor deste trabalho manteve grande envolvimento em todas as etapas da pesquisa, atuando em forma cooperativa com outros participantes. Essas ações caracterizaram as etapas da pesquisa, conforme descrito a seguir.

Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica que, devido à atualidade do tema, foi baseada contemplando fornecedores de equipamentos e soluções, que envolvem os temas redes de acesso para telefonia, telefonia móvel celular, transmissão digital via microondas, confiabilidade de enlaces de microondas e planejamento celular. Estes testes expõem as opiniões dos fornecedores e autores e os resultados de pesquisas feitas na área de redes de telefonia sobre esses assuntos.

Em seguida, foi feito um estudo teórico envolvendo diferentes configurações básicas para uma rede de acesso. Essas configurações foram estudadas separadamente, quanto ao custo e à confiabilidade de cada enlace do sistema.

A identificação das soluções ótimas para as configurações básicas estudadas foi feita a partir do estudo de custo e confiabilidade. Foi escolhida a configuração que apresentou a maior confiabilidade média para os enlaces da configuração associada ao menor custo de implantação. Depois disso, foi elaborada uma sistemática de desenho de rede de acesso, apoiada nas soluções ótimas encontradas nas configurações básicas. Essas soluções, por sua vez, foram expandidas para o anel óptico norte da Telefônica Celular. A seguir, foi feito o desenho da rede de acesso. Este desenho foi realizado considerando as restrições para a aplicação da configuração ideal, tais como a falta de visada direta, necessária para esse tipo de transmissão. A solução mais geral, que considera as restrições, conduziu a proposta do desenho da rede de acesso.

Por fim, foi feita a otimização da rede de acesso, tomando como base os estudos de confiabilidade, o custo de implantação e as restrições existentes. Isto levou a um desenho ótimo para a configuração atual da Telefônica Celular.

1.4 Estrutura

O capítulo 1 é uma introdução ao trabalho. São feitos comentários iniciais, procurando situar o leitor na atualidade das telecomunicações no Brasil e no Mundo, com o enfoque voltado para as atuais posições das prestadoras de serviço móvel celular. A intenção, aqui, é introduzir o leitor ao projeto de redes de acesso.

O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica, que engloba os assuntos confiabilidade de rádio enlaces, propagação de ondas em enlaces digitais, desenho de redes de acesso, tecnologias sugeridas pelos fornecedores de equipamentos ,e as mais utilizadas em redes de acesso.

Já no capítulo 3 há o relato dos estudos de configurações básicas, mostrando as topologias a serem consideradas quanto ao custo e confiabilidade. Através desta pesquisa pôde-se chegar a soluções ótimas para essas configurações, que devem ser expandidas, no momento do desenho da rede, para a rede de acesso ao Anel Óptico Norte.

A seguir, o capítulo 4 traz a sistemática para o desenho da rede, com explicações sobre como será desenhada, a metodologia de desenho proposta e um desenho ideal, previsto para a pesquisa-ação da rede de acesso ao Anel Óptico Norte.

No capítulo 5, o leitor vai encontrar a otimização do traçado, realizado considerando as restrições existentes, a confiabilidade e os custos de implantação. As restrições impedem que o desenho ideal seja utilizado. A solução das restrições, associada às considerações de confiabilidade e custo, conduz ao desenho ótimo, onde a totalidade das estações tem acesso ao Anel Óptico Norte.

Por fim, o capítulo 6 apresenta as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

1.5 Limitações

Apesar de tratar de um método para o projeto de redes de acesso, o desenvolvimento está orientado ao caso da Telefônica Celular/RS. O uso do método proposto, junto a outros cenários, pode necessitar adaptações, devido a detalhes da infra-estrutura da rede já instalada.

Além disso, esse projeto está restrito ao desenho da rede e apresentação da configuração ótima a ser utilizada no caso do Rio Grande do Sul. Não conta, portanto, com os detalhes necessários para a implantação da rede de acesso proposta, tais como a infra-estrutura e serviços de instalação.

O Anel Óptico Norte, utilizando tecnologia SDH para transmissão de informação, já está projetado, não entrando no mérito do projeto da rede de acesso. Sendo a rede de acesso formada por Estações Rádio Base, em uma ponta, e Anel Óptico Norte, na outra, não haveria possibilidade de se projetar uma rede de acesso, sem a definição dos coletores primários que se encontram no caminho por onde passará a fibra.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Telefonia Móvel

A telefonia móvel celular teve seu início em 1895, quando Marconi construiu o primeiro transmissor de rádio, utilizando a teoria de Maxwell e Heinrich Hertz. A partir daí, os sistemas de comunicação via ondas eletromagnéticas tiveram grande expansão e transformaram-se em diversos novos sistemas. Entre os novos sistemas, destacam-se o sistema ponto-multiponto (*broadcast*), onde tem-se uma única estação transmissora para vários receptores, como os sistemas de rádio AM e FM e as emissoras de TV; e os sistemas multiponto-ponto, onde tem-se várias estações enviando sinais para um mesmo receptor, como em sistemas de coleta de informações de trânsito (FAGUNDES, 1999).

O sistema celular é resultado da evolução do sistema ponto-multiponto, onde vários aparelhos celulares comunicam-se com uma Estação Rádio Base.

O grande diferencial deste sistema é o fato de que trabalha com células. A limitação da banda de frequência disponível para o sistema não suportaria muitos usuários em conversação simultânea. Foi, então, criado o conceito de célula, que consiste em dividir a faixa de frequência em vários canais e, esses, em grupos de canais. Com isso, ficou fácil separar os grupos de canais em células que podem ser reutilizadas. Assim, surge o conceito de telefonia celular (FAGUNDES, 1999).

A Estação Móvel (EM), ou seja, o telefone propriamente dito, comunica-se com a Estação Rádio Base (ERB), através de sinais de rádio. Por sua vez, a ERB comunica-se com uma Central de Comutação e Controle (CCC). Por tratar-se de um

sistema *full-duplex*, ou seja, a conversação é simultânea e bidirecional, o canal de voz é constituído de dois canais de rádio unidirecionais: um no sentido ERB/EM e outro no sentido EM/ERB. Entre as funções da EM, estão: decodificar ordens e sinalização, transmitir de mensagens durante a originação de chamada (unidade de controle) realizar interface com o usuário (microfone, alto-falante, teclado, display, indicadores), possibilitar transmissão e recepção de sinais de rádio (antena).

A Estação Rádio Base é composta basicamente por uma antena de recepção, amplificador de baixo ruído, amplificador de potência e antena transmissora. A ERB nada mais é que uma repetidora, que faz a interconexão entre as estações móveis e a CCC.

Tem-se ainda, para completar o sistema, a Central de Comutação e Controle (CCC), responsável pela interconexão do sistema com a Rede de Telefonia Pública Comutada (RTPC). A CCC comuta chamadas originadas/terminadas para as estações móveis e permite que estas tenham à sua disposição os mesmos serviços e facilidades fornecidas aos assinantes de telefonia fixa. A CCC é a unidade central do sistema. É ela que faz o monitoramento e controle das chamadas, a interligação das ERB's, a supervisão do sistema e a interface com a RTPC, entre outras atribuições (FAGUNDES, 1999).

O sistema móvel celular possibilita que o acesso entre as Estações Móveis e as CCC's seja feito por diversas tecnologias. Entre as mais conhecidas, pode-se citar o sistema FDMA (*Frequency Division Multiple Access*), ou analógico, e os sistemas digitais, como o TDMA T (*Time Division Multiple Access*), e o CDMA (*Code Division Multiple Access*).

De acordo com Fagundes, o sistema AMPS teve origem nos Estados Unidos da América. Possui 832 canais e a Estação Rádio Base tem cobertura de dois a 25km. O sistema analógico permite apenas um usuário por canal de voz. Com isso, perde muito em capacidade.

Esse autor afirma que o sistema TDMA também teve sua origem nos EUA, tratando-se de um sistema padronizado, conforme IS-54. O sistema TDMA é digital

e, através de técnicas de multiplexação, codificação e compactação de sinais, consegue efetuar a transmissão simultânea de três usuários no mesmo canal de voz, sem interferência. Com isso ele ganha significativamente do sistema AMPS.

Há, ainda, o sistema GSM, surgido na Europa. É também um sistema padronizado, que teve como meta a universalização do celular. Através do sistema GSM, todos os países da Europa podem oferecer serviços como *roaming* para seus clientes, sem a necessidade de troca de aparelhos ou mesmo de número de telefone. O sistema GSM é uma derivação do sistema TDMA.

O sistema CDMA surgiu nos EUA, para substituir o TDMA. A grande diferença entre os sistemas TDMA e CDMA é a tecnologia de acesso múltiplo empregada. Com o CDMA, são utilizados vários códigos diferentes, um para cada usuário. Assim pode-se utilizar melhor a banda disponível, uma vez que cada Estação Rádio Base pode utilizar todos os canais disponíveis no sistema. A limitação do sistema CDMA está ainda nos equipamentos que não suportam a conversação simultânea de muitos usuários (SOARES, 1999).

2.2 Transmissão Digital via Microondas

A transmissão digital via rádio, utilizando a faixa de microondas serve para vários fins. Entre eles, está a utilização ponto-multiponto, como nos meios de comunicação televisão e rádio, a utilização multiponto-ponto, como os satélites que recebem informações de várias fontes diferentes e as enviam novamente a uma base. Há também a transmissão ponto a ponto, que utiliza rádios para comunicação apenas entre dois pontos. A transmissão ponto a ponto, assim como as demais, pode operar de diversas maneiras possíveis, sendo capaz de transportar informação em apenas um sentido, a chamada transmissão *simplex*, ou nos dois sentidos, transmitindo e recebendo dados. Essa última forma pode ser operada em *half-duplex*, quando a informação é transmitida em tempos diferentes nos dois sentidos, e *duplex*, quando se pode transmitir informação nos dois sentidos ao mesmo tempo (GOMES, 1989).

A revisão bibliográfica aqui apresentada faz referência a apenas um meio de transmissão, que utiliza a tecnologia *duplex* para uma transmissão ponto a ponto. Sobre esse assunto, Manning (1999) afirma que é necessário um par de frequências para transmitir e receber nas duas direções. A informação do usuário está limitada à banda em que esta pode trafegar no canal, bem como à tecnologia usada para transmissão. O sinal é modulado e enviado para uma portadora de Rádio-Frequência (RF) e transmitido pelo ar, como uma onda eletromagnética.

A *International Telecommunications Union* (ITU) divide o espectro disponível para RF, segundo a Tabela 1. A faixa que será utilizada na pesquisa-ação, desenvolvida no próximo capítulo, encontra-se nas microondas de 3GHz até 60GHz. A Agência Nacional das Telecomunicações (ANATEL), órgão regulamentador nacional, reserva as faixas de frequências para a utilização em território nacional e, através de atos, autoriza operadoras de serviços de telecomunicações, empresas e pessoas físicas para utilização de cada uma das faixas de frequência. A Telefônica Celular possui licença para operar na faixa reservada para o uso de celular na banda A, além de licenças para utilização de vários canais de microondas, destinados à transmissão de dados via rádio.

Tabela 1 - Uso do Espectro Eletromagnético

Frequência	Comprimento de Onda	Aplicação
10kHz	30km	Frequência muito baixa – comunicação submarina
100kHz	3km	Emissoras de rádio em ondas longas
1MHz	300m	Transmissão de rádio em AM
10MHz	30m	Emissoras de rádio em ondas curtas
100MHz	3m	Transmissão de rádio em FM
150MHz	2m	Rádios Móveis
300MHz	1m	Transmissão UHF de TV e links ponto a ponto
3-60GHz	10cm-0,5mm	Enlaces de microondas
230THz	1300nm	Fibras ópticas
420-750THz	400-700nm	Luz visível
1000THz	300pm	Raios X

Manning (1999) indica que o meio de transmissão via rádio vem sendo utilizado mundialmente, devido ao seu custo e qualidade. A fibra óptica, que muitos diziam que substituiria completamente os rádios, vem ganhando espaço graças à sua grande capacidade de transmissão. Neste sentido, esta vem sendo muito utilizada nos *backbones* das grandes empresas de comunicações. O rádio, contudo, vem ganhando um mercado inimaginável, quando se trata do acesso às redes de dados. A Figura 4 mostra o crescimento das redes de rádios na Inglaterra, com base nas licenças solicitadas. Um crescimento similar é observado em todo o mundo, tanto nos países considerados do primeiro mundo como no terceiro mundo.

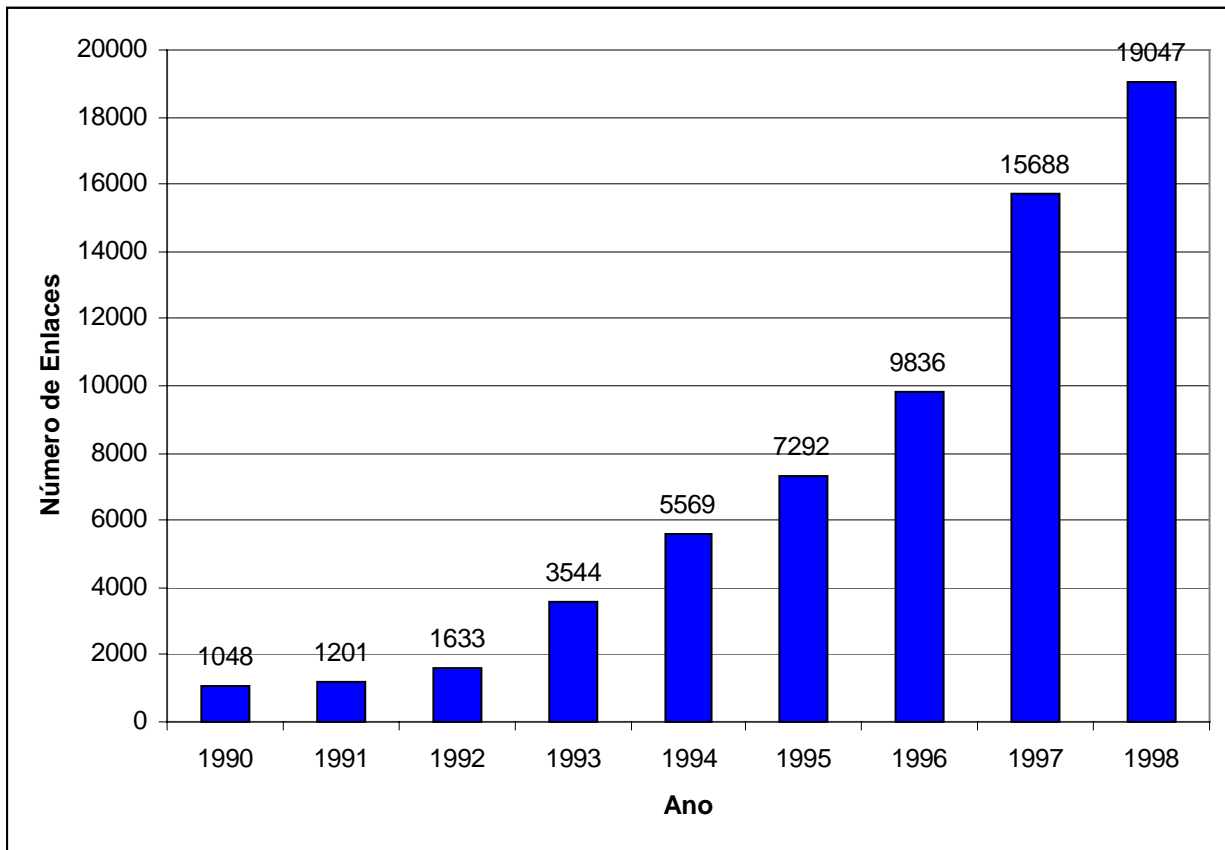


Figura 4 – Acumulado de Enlaces Licenciados por Ano (Inglaterra)

Ainda conforme Manning (1999), os rádios são mais baratos que a transmissão por satélite e também têm custo menor que o decorrente de aluguel de meios de comunicação. Os sistemas de rádio não variam o preço, tanto quanto os sistemas de transmissão por cabo e fibra óptica quando se trata de distância. Além disso, apresentam fácil manutenção e instalação imediata. Outra vantagem é que os rádios não impactam no terreno onde estarão instalados.

De acordo com Carvalho (2000), os fenômenos que influenciam na propagação por microondas e, portanto, devem ser estudados nos projetos de enlaces são os seguintes: (i) frequência utilizada, (ii) direcionalidade das antenas, (iii) proximidade das antenas com o solo. Além disso, o autor cita a natureza do caminho físico de propagação. Essa natureza pode ser dividida em áreas montanhosas, urbanas, mares e rios e em climas tropicais, úmidos, secos, entre vários outros fenômenos.

Carvalho (2000) explica que o desvanecimento é a súbita perda de nível de sinal recebido. Suas causas podem estar relacionadas com a topologia e com as condições atmosféricas. Esse fenômeno é ponto importantíssimo no estudo de enlaces de rádio, uma vez que determinam a confiabilidade do mesmo. A cada desvanecimento pode-se detectar a perda do sinal e, com isso, a perda de comunicação. Nos casos em que temos chuvas e efeitos como a refração na ionosfera ou atmosfera, deve-se utilizar bases estatísticas para o cálculo do desvanecimento.

Direcionando o estudo para as ondas acima de 50MHz, como o caso que será apresentado no próximo capítulo, contemplando a Telefônica Celular, é necessário considerar a reflexão das ondas em terrenos planos, especialmente rios, lagos ou até mesmo os oceanos. A reflexão das ondas pode causar uma perda por reflexão. Essa perda ocorre através da onda que percorre diferentes trajetos (multipercursos) e chega ao receptor com diferentes atrasos em seu sinal. Caso o sinal recebido apresente 180° de defasagem em relação ao sinal recebido direto da antena transmissora, haverá uma perda significativa, uma vez que ambos se subtraem no momento da recepção (COSTA SILVA, 2000).

2.3 Rede de Acesso

Quaglia (1995) diz que o planejamento da rede de transmissão tem por objetivo dimensionar o número de equipamentos e respectivas taxas de transmissão necessárias para interligar os Centros de Fios (CF's), tendo como dados a matriz de demanda entre centro de fios e a matriz de demanda de circuitos não comutados ou Linha Privadas (LP's). São definidos também, no planejamento de transmissão, os meios de transporte (rádio, fibra óptica ou cobre) e a malha de galerias utilizadas pelos meios de transmissão. Pode-se dizer que os CF's ou Centros de Fios projetados no planejamento de transmissão para telefonia fixa, são as Estações Rádio Base do sistema celular. Assim, o planejamento de transmissão, segundo Quaglia, resume-se na definição de equipamentos e rotas necessárias para suprir a demanda de tráfego entre as Estações Rádio Base e as Centrais de Comutação e

Controle. Isso é importante, uma vez que o sistema móvel celular não possui a facilidade de linhas privadas, que não são comutadas na CCC e interligam dois assinantes exclusivamente.

Segundo Yacoub (1995), a rede sem fio vem para substituir e até complementar uma rede já existente. Com isso, já estabelece alguns aspectos que devem ser respeitados, tais como a segurança dos dados, vazão e também confiabilidade. Esse autor ensina que a questão da tecnologia a ser empregada também é fator determinante na rede sem fio.

Ainda conforme Yacoub (1995), as células devem operar com frequências diferentes. Caso sejam as mesmas frequências, elas devem ser utilizadas de forma que não haja interferência entre elas. Na rede sem fio, pode-se distinguir dois tipos de elementos; o assinante, que é o ponto remoto, e o ponto de acesso, que possui a função de gerenciar o transporte de informação de e para as estações remotas.

Souza (1999), ao discutir redes de acesso, refere-se ao processo de desregulamentação. Segundo ele, trata-se de um dos fatores que cria a expectativa de que, com as novas operadoras, as redes de acesso venham a ser um dos focos da atenção dos investidores. Souza espera que haja uma evolução na rede de acesso, com uma crescente utilização de novas tecnologias, ocasionando a oferta de novos serviços ao usuário final.

Segundo Mateus (1995), o projeto de redes de acesso consiste em determinar a topologia, o dimensionamento e o roteamento de custo mínimo para conectar às suas respectivas centrais um conjunto de estágios de linha integrados. No sistema móvel celular, os chamados estágios de linha são os pontos onde se concentram várias linhas de chamadas, ou uma estação onde se localizam equipamentos para estabelecer ligações (Estações Rádio Base).

Manning (1999) ensina que os sistemas de transmissão via rádio eram utilizados pelas Operadoras de Serviços Públicos (PTO's) em suas rotas de alta capacidade, mas ressalta que eles vêm sendo substituídos pela fibra óptica, que

oferece maior capacidade de transmissão, ou uma banda maior. A grande explosão da rede de rádios tem ocorrido nas redes de acesso sem fio.

Durante um curso feito na Ericsson do Brasil, sobre planejamento celular, Guilherme Ramalho falou sobre a tecnologia de configurações utilizadas em redes de acesso sem fio, aplicada ao uso das operadoras de telefonia móvel celular. Ele apresenta quatro tipos de configurações a serem utilizadas na rede de acesso. Dentre elas, estão as configurações em anel, em estrela, em série e mista. Esta última seria uma mistura entre as configurações série e estrela. Em seguida, serão discutidas as vantagens e desvantagens de cada uma, bem como as suas utilizações.

Ramalho (1999) diz ainda que a configuração em anel veio para o meio do rádio, através do conceito das redes de fibra óptica. Estas utilizam a redundância de meios de transmissão para o tráfego da rede. Sendo assim, a confiabilidade da rede é drasticamente aumentada. Para que possa ser utilizada, a configuração em anel necessita de mais equipamentos de rádio, além de um equipamento extra, capaz de rotear, isso é, modificar a rota do tráfego, no momento em que há falhas no sistema. Essa configuração não é utilizada em grande escala, devido ao custo de implantação, maior do que o das demais, em função dos equipamentos extras necessários. Sua utilização, contudo, ocorre em locais onde há grande relevância no tráfego passante. Normalmente acontece em regiões metropolitanas, onde se tem saturação de fibras ópticas no centro da cidade e são necessários outros meios de transmissão.

A configuração em estrela é um método de transmissão que usa a filosofia de concentrar estações em uma concentradora. Essa configuração apresenta vantagens nas regiões metropolitanas de alta densidade de estações, uma vez que permite juntar várias estações em uma única, para que, então, esta última acesse à Central de Comutação e Controle. A configuração em estrela apresenta baixo custo de equipamentos, pois ela transporta individualmente o tráfego de cada estação. Além disso, ela também apresenta maior confiabilidade, na medida em que uma estação não depende da transmissão de outra. Temos aumento na confiabilidade

individual de cada estação e, com isso, maior confiabilidade do sistema (MIRAIDER, 2001).

Segundo Miraidier (2001), na configuração em série, as estações são coletadas uma após a outra ao longo de um caminho. Essa configuração, geralmente, é utilizada para tráfego de estações que fazem cobertura de rodovias. É comum a urbanização estar alinhada com a rodovia. Assim, não há estações fora da linha que acompanha a rodovia, ficando sem a opção de coletar as estações com a configuração estrela. A confiabilidade das redes em série é intrinsecamente menor, devido à dependência que uma estação tem em relação às demais. Quanto mais na ponta da rede está uma estação, menor será sua confiabilidade. Com isso, decresce a confiabilidade do sistema. Esse é um dos motivos pelos quais a configuração em série não é amplamente utilizada, com a exceção das rodovias, nas quais o tráfego de celulares é relativamente baixo. Isto torna aceitável a operação do sistema, com uma confiabilidade um pouco menor.

Já a configuração mista é amplamente utilizada nos meios de comunicação, principalmente nos países subdesenvolvidos, que apresentam um histórico de pouco planejamento nas suas ações. A rede mista é simplesmente a busca pelo mais fácil. Coleta-se uma estação à estação que estiver mais próxima e assim por diante. Não importa se a confiabilidade está sendo preservada ou não. Essa configuração é uma mescla de série com estrela e não caracteriza uma rede de acesso. No momento posterior à implantação, é comum ocorrerem problemas com o gerenciamento da rede, já que o diagrama de transmissão torna-se complexo e, muitas vezes, incompreensível.

2.4 Confiabilidade

De acordo com Ribeiro (1999), a confiabilidade é a probabilidade de um certo sistema, submetido às condições operacionais de projeto, cumprir as funções especificadas, durante um período de tempo especificado. Pode-se dizer que a confiabilidade de um sistema é a probabilidade de que esse funcione, dentro dos limites estabelecidos, durante um certo tempo estabelecido.

O cálculo de confiabilidade é definido pelos componentes desse sistema. Existem sistemas com componentes em série, em que cada elemento adicionado reduz a confiabilidade do mesmo. Isto porque este novo elemento é mais um componente com possibilidade de falha e, no caso de sistemas em série, a falha de qualquer componente conduz à falha do sistema. Por outro lado, em sistemas em paralelo, a adição de componentes adicionais promove o aumento da confiabilidade do mesmo, uma vez que, para que aconteça a falha do sistema, é necessário que todos os componentes falhem. Existem ainda as configurações mistas, onde componentes em série misturam-se com componentes em paralelo. Para esses casos, o cálculo de confiabilidade deve levar em conta os sub-sistemas em série e paralelo que formam o sistema (RIBEIRO, 1999).

A confiabilidade de sistemas em série é calculada, multiplicando-se as confiabilidades dos componentes em série do sistema. A falha de qualquer um dos componentes do sistema implica na falha do sistema como um todo.

A confiabilidade dos sistemas em paralelo é calculada da seguinte forma: calcula-se a probabilidade de falha de cada um dos componentes do sistema e multiplica-se. O resultado será a probabilidade de falha do sistema. Para se conhecer a confiabilidade do sistema tem-se $R_s = 1 - F_s$, onde R_s é a confiabilidade do sistema e F_s a probabilidade de falha do sistema.

Para redes de telecomunicações, onde existem várias estações formando um sistema, o cálculo de confiabilidade deve ser efetuado de forma pontual para cada estação. Ao calcular um sistema em série com várias estações, o sistema como um todo só deve falhar, quando o enlace entre as duas primeiras estações falhar. As estações operam independentemente umas das outras, com isso, ao apresentar falha, a estação sai do sistema, porém o sistema continua no ar, com as demais estações. Na Figura 5, temos uma ilustração de um sistema de rádio com quatro estações.

A confiabilidade da estação um depende da confiabilidade de todo o sistema que se encontra à sua frente. Caso qualquer um dos trechos apresentar falha, a

estação não terá seu sinal chegando ao destino. Quando se calcula a confiabilidade da estação dois o sistema passa a ser apenas entre ela e a estação quatro. Assim uma falha no enlace entre um e dois não impede que a estação dois chegue com sucesso ao seu destino.

Nos sistemas de comunicações, a adição de uma estação em série na periferia do sistema não reduz a confiabilidade do restante do sistema, apenas da estação adicionada.

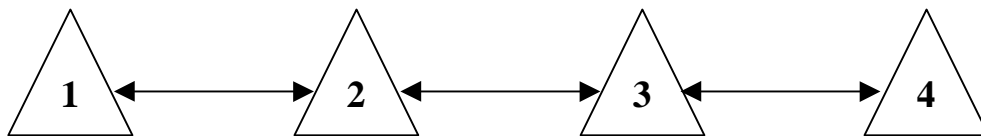


Figura 5 – Cálculo de Confiabilidade em Sistemas de Comunicações

Abdala Júnior (1999) diz que a confiabilidade de um sistema de comunicação deve estar entre 99,9 e 99,99%, aceitando a comunicação por, no máximo, 88 minutos fora do ar por mês.

Rushell (2000) afirma que a probabilidade de ocorrer desvanecimento, que leve o receptor ao limiar da taxa de erro, é estimada pela expressão de Mojoli-Mengali. Depende da margem de desvanecimento, do clima na região do enlace e do tipo de terreno. Enlaces em regiões úmidas, como as regiões costeiras, e sobre terrenos planos com baixos coeficientes de rugosidade têm maior chance de sofrerem desvanecimentos profundos do que aqueles em climas secos, com terrenos bastante acidentados.

A probabilidade de desvanecimento fornece o risco de um enlace ficar sem transmissão, devido à taxa de erro no receptor estar muito elevada. Geralmente, a probabilidade de desvanecimento é apresentada em minutos por mês. A Tabela 2, adaptada de Rushell (2000), mostra coeficientes ambientais que devem ser

utilizados na fórmula de Monjoli-Mengali onde D é a distância do enlace, f é a frequência em GHz, a é o fator climático e b é o fator do terreno.

Tabela 2 - Fatores Ambientais

Clima	Fator Climático	Relevo	Fator Rugosidade
Seco	0,25	Montanhoso	0,25
Temperado	1,0	Irregular	1,0
Úmido	4,0	Planície	4,0

2.5 Planejamento Celular

Segundo Manning (1999), no momento de planejar uma rede de acesso, deve-se ter cuidados quanto à capacidade que será instalada. O crescimento da demanda por banda vem se mostrando muito alto atualmente. Futuras expansões serão necessárias e, portanto, é preciso que isso seja considerado, já no planejamento da rede. Em alguns casos, para que se possa aumentar a capacidade instalada de uma rede, deve-se partir para utilização de mais banda. Com isso necessita-se de mais frequências. Neste sentido, muitas vezes, é importante obter o licenciamento de mais uma faixa de frequência para operar.

Manning explica que, no momento do planejamento, os equipamentos devem ser especialmente dimensionados, pois eles implicam diretamente na capacidade da rede. Os multiplexadores são um exemplo de cuidados que devem ser obedecidos nesta fase. Eles são os equipamentos responsáveis pela capacidade de transmissão do rádio. Caso o aparelho de multiplexação não seja expansível, no momento em que é necessário um aumento da capacidade de transmissão, isso implicará em custos altos decorrentes do mau planejamento.

Outro aspecto cuja importância foi enfatizada por Manning (1999) é a tentativa de prever, no momento do planejamento, a futura necessidade por serviços, que atualmente não demandam muita capacidade de transmissão, mas que apresentam

uma tendência de crescimento devido à criação de novos serviços, tais como WAP (Internet no celular) e outros. Muitos provedores de serviços são prováveis clientes para um aluguel dos meios de transmissão já instalados. Ocorre que esses provedores não possuem tráfego suficiente para criar sua própria rede. Assim, os novos serviços tornam-se fatores importantes no momento de planejar a rede de acesso, bem como a rede de transporte e a de *backbone*.

O processo de planejamento, após decidida a necessidade de utilização de rádios, deve iniciar com um levantamento das necessidades de transmissão, ao invés de iniciar perguntando qual será a margem de desvanecimento utilizada – como geralmente é feito pelos projetistas de sistemas de transmissão. O levantamento das necessidades de transmissão deve envolver aspectos atuais e futuros, bem como os equipamentos e tecnologias que estarão disponíveis no mercado.

Carvalho (2000), ao comentar sobre planejamento de redes de acesso, diz que este deve ser iniciado com o levantamento das necessidades de transmissão atuais e futuras. Posteriormente, segundo ele, deve-se escolher os meios para atender tal demanda e a tecnologia que será utilizada. Assim que se tem o projeto definido, estuda-se a configuração a ser seguida para, então, começar a definir rotas e traçados. Após a etapa de planejamento, deve-se efetuar visitas a campo, para verificar se o planejado condiz com a realidade e se não surgirá nenhum empecilho para a implantação da rede. Entre esses empecilhos, podem ser citados, como por exemplo: legislações municipais, estaduais ou mesmo federais preservando certas localidades e impedindo implantação de sistemas em outras.

No momento do planejamento, deve-se sempre estar atento à evolução da tecnologia, procurando prever como pode mudar. Com isso, a escolha dos equipamentos da rede passa a ter importância principal. São os equipamentos os responsáveis pela melhor utilização do meio de transmissão escolhido, conforme Carvalho.

3 ESTUDO DAS CONFIGURAÇÕES BÁSICAS E RESPECTIVAS SOLUÇÕES ÓTIMAS

Inicialmente, será feita uma apresentação da empresa, para posicionar o leitor no mercado atual das telecomunicações, onde a empresa atua. Serão apresentados vários aspectos, para que se possa chegar mais próximo à complexidade do mercado em que atualmente encontra-se.

Na continuação, será feito o estudo das configurações básicas de redes de acesso aplicado à telefonia celular. Este estudo é necessário, para que seja possível expandir a solução ótima encontrada, projetando assim a rede de acesso. O objetivo do estudo de configurações básicas é encontrar uma solução ótima, que possa ser expandida para uma certa região de interesse, formando assim uma rede de acesso ao anel óptico. Assim, será possível encontrar uma rede de acesso ideal para a empresa, considerando a confiabilidade de cada enlace de rádio, bem como o custo dos equipamentos a serem instalados.

3.1 Telefônica Celular

A *Telefónica de España*, empresa que possui o controle acionário da Telefônica Celular, foi fundada em 1924, em Madrid. Apenas em 1929, contudo, inaugurou sua primeira central telefônica. Foi estatizada pelo governo espanhol em 1946. Permaneceu no controle do Estado até os anos 60, quando este vendeu parte das ações, tornando-a uma empresa de capital misto.

A empresa cresceu nas mãos do governo e com investimentos privados. Em 1970, já contava com a histórica marca de quatro milhões de assinantes, um número bastante expressivo para as empresas de telefonia da época.

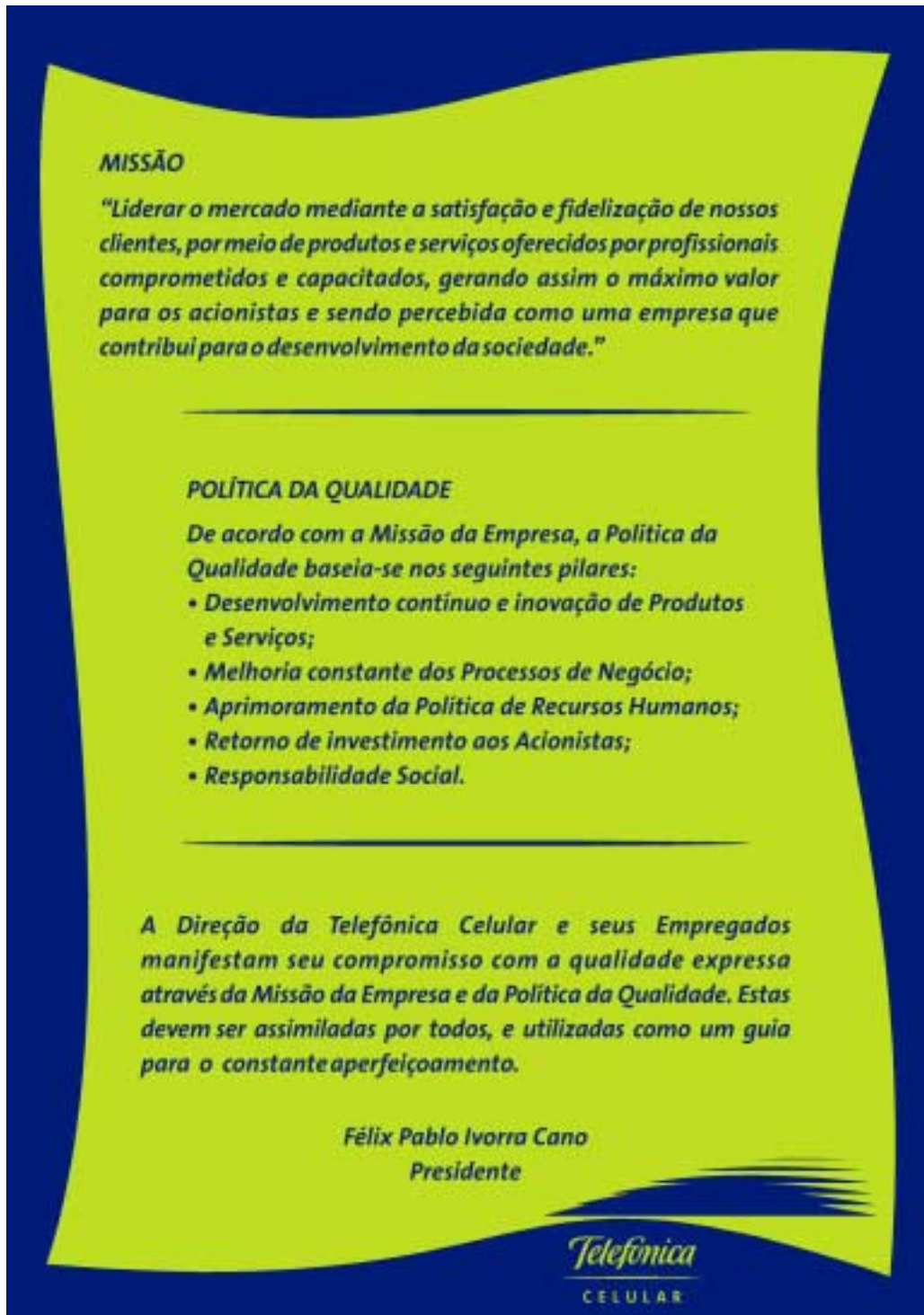
No início dos anos 90, mais precisamente em 1991, foi desencadeado o processo de privatização. Esta decisão foi tomada sob o argumento de que a empresa se tornasse uma competidora em mercados internacionais, com alto nível de qualidade em seus serviços e a política de satisfação total dos clientes. Atualmente a empresa está presente em 17 países entre Europa e Américas. Entre eles cita-se: Estados Unidos, México, Guatemala, Colômbia, Perú, El Salvador, Chile, Porto Rico, Venezuela, Brasil, Argentina, Holanda, Portugal, Marrocos, Alemanha, Áustria e Itália.

A política da empresa, através do seu corpo acionário atual, que conta com mais de 1,5 milhão de acionistas privados, é a de liderança de mercado, *market share* e competência de funcionários. Atualmente, a *Telefónica de España* é a sexta maior empresa de telefonia móvel no mundo, colocando-se em segundo lugar, em transmissão de dados, e em terceiro lugar, em provimento de serviços de Internet. São mais de 110 mil empregados em todo o mundo para atender aos mais de 62,4 milhões de clientes.

Presente no Brasil desde 1996, quando da privatização do sistema Telebrás, a *Telefónica* adquiriu parte das ações da Companhia Riograndense de Telecomunicações, a CRT, junto com a Celular CRT. Empresa estatal, pertencente ao governo do estado, a Celular CRT atua no mercado desde 1992, quando se instalou a primeira Estação Rádio Base, em Porto Alegre. Juntamente com a CRT, a empresa colocou-se no mercado de São Paulo, Bahia, Sergipe, Espírito Santo e Rio de Janeiro. Atuando tanto em telefonia fixa quanto em celular, variando de estado para estado. Atualmente, no Brasil, existem mais de quatro milhões de clientes da telefonia celular e mais de 10 milhões da telefonia fixa. Estes números representam 23% da base total de seus clientes no mundo.

A política de qualidade da empresa, que vem certificando seus processos através das normas ISO 9000, mostra a todos a sua verdadeira missão. Neste

sentido, seu objetivo é liderar o mercado nacional de telefonia. Abaixo, na Figura 6, vemos a política de qualidade da empresa, assinada pelo presidente nacional da holding:



MISSÃO

“Liderar o mercado mediante a satisfação e fidelização de nossos clientes, por meio de produtos e serviços oferecidos por profissionais comprometidos e capacitados, gerando assim o máximo valor para os acionistas e sendo percebida como uma empresa que contribui para o desenvolvimento da sociedade.”

POLÍTICA DA QUALIDADE

De acordo com a Missão da Empresa, a Política da Qualidade baseia-se nos seguintes pilares:

- *Desenvolvimento contínuo e inovação de Produtos e Serviços;*
- *Melhoria constante dos Processos de Negócio;*
- *Aprimoramento da Política de Recursos Humanos;*
- *Retorno de investimento aos Acionistas;*
- *Responsabilidade Social.*

A Direção da Telefônica Celular e seus Empregados manifestam seu compromisso com a qualidade expressa através da Missão da Empresa e da Política da Qualidade. Estas devem ser assimiladas por todos, e utilizadas como um guia para o constante aperfeiçoamento.

Félix Pablo Ivorra Cano
Presidente

Telefónica
CELULAR

Figura 6 – Política da Qualidade e Missão da Empresa

Aqui no Rio Grande do Sul, a *Telefónica de España*, ao adquirir ações da CRT, ingressou no mercado celular como a única prestadora do serviço, com apenas 600 clientes, em 1992. O crescimento da demanda por telefonia celular, gerado pela baixa considerável nos preços de tarifas e habilitação foi impressionante. Já em 1995 a empresa contava com mais de 56 mil assinantes, que atualmente somam mais de 1,8 milhões.

A empresa foi pioneira na implantação do sistema digital, na telefonia celular brasileira, em 1999, quando já contava com mais de 350 mil assinantes. No final do ano de 1999, recebeu a logomarca da *Telefónica*, e tornou-se Telefônica Celular S.A.

A Telefônica Celular é uma das empresas nacionais com a maior tecnologia em serviços aplicados à telefonia celular. São os mais variados serviços oferecidos para atender a toda a gama de clientes que possui. A seguir, cita-se alguns dos serviços mais conhecidos, prestados atualmente:

- @viso E-mail – serviço que permite ao usuário de Internet enviar mensagens diretamente para o aparelho dos clientes Telefônica;
- @viso Informação – serviço que envia automaticamente informações das mais diversas fontes, tais como condições de trânsito, notícias esportivas, tempo etc;
- @viso Agenda – serviço que permite ao cliente o acesso a uma agenda de compromissos, que alarma no terminal do usuário, quando programado;
- @viso Banking – extrato ou saldo da conta de certos bancos são enviados diretamente para o celular do cliente;
- Movistar Torpedo – facilidade de enviar mensagens de celular para celular, entre os clientes da operadora;
- Movistar Chat – salas criadas para que os clientes possam conhecer-se e trocar mensagens entre grupos dos mais variados temas.

Atualmente são 840 funcionários, trabalhando na Telefônica Celular – RS, que ainda mantém a firma em nome de Celular CRT S.A.

A Gerência de Planejamento e Engenharia, onde está sendo aplicado esse projeto, conta com 20 funcionários e 3 estagiários. Está dividida em três seções: (i) Planejamento de Rede, (ii) Planejamento e Engenharia de RF e (iii) Planejamento e Engenharia de Transmissão. Essas seções são responsáveis por elaborar o planejamento da rede celular da Telefônica Celular, a curto e longo prazo, enfocando os objetivos estratégicos de capacidade, de cobertura, de qualidade, de melhorias, de serviços e novas tecnologias. Estes objetivos estratégicos devem ser colocados em prática, no período de abrangência do projeto. Além disso, as seções devem elaborar todos os aspectos estruturais da rede e planejar e dimensionar a cobertura celular, dentro da área de cobertura concedida pela Anatel. Do mesmo modo, são suas atribuições planejar e dimensionar a rede de tráfego da empresa, provendo transmissão para as ERBs e para as CCCs. Isto deve ocorrer, de forma a atender às demandas das demais seções, sendo essa a seção onde será aplicado esse projeto.

3.2 Definição das Configurações Básicas de Rede de Acesso para Serviço Móvel Celular

Para o desenvolvimento da rede de acesso, foram estudados os casos de configurações básicas de redes de acesso, apresentados no capítulo dois, indicando a confiabilidade de cada enlace e o custo para implantação do mesmo. Assim, buscou-se a configuração básica de maior confiabilidade e menor custo. Após encontrada a configuração de melhor custo/benefício, foi feita a expansão para o desenho da rede de acesso da Telefônica Celular, buscando uma metodologia a ser seguida, para posterior crescimento da rede. O trabalho buscou construir um projeto no sentido de guiar os próximos enlaces de rádio, que surgirão com o crescimento freqüente da planta. Este projeto teve a finalidade de estabelecer procedimentos para projetos de redes de acesso da empresa.

Iniciando com o estudo das configurações básicas, são necessárias algumas considerações, para que se padronize uma configuração uniforme, e o estudo de confiabilidade e custos seja mais produtivo. Para tanto, limitou-se a distância entre as estações em 30km. Isto porque enlaces de maior alcance demandam um estudo

mais elaborado, pois a curvatura da Terra e fenômenos naturais, que dependem da frequência começam a causar limitações no alcance do enlace. Estes aspectos e fatores variáveis fogem do enfoque desse trabalho.

Os casos estudados envolvem quatro estações, sendo sempre uma delas a coletora, estação na qual coleta-se todas as outras, direta ou indiretamente. As demais estações serão chamadas de coletadas.

Há um cuidado importante a ser observado no momento em que são projetados vários enlaces em uma estação. Deve-se respeitar a limitação imposta pelo carregamento das torres instaladas. Carregamento é um dado de Engenharia Civil que informa qual a seção transversal máxima que uma estrutura suporta, em metros quadrados. Isso quer dizer que a área das antenas colocadas no topo da torre, somada, não pode passar do carregamento da torre. Um vento forte poderá comprometer toda a estrutura, uma vez ultrapassado o carregamento máximo. Devido à essa limitação, a configuração básica terá apenas três estações coletadas. Em média, o diâmetro de uma antena para 30km de enlace deve ser de 1,8m, que, multiplicado por quatro, três para coletora e uma coletada, resulta em 10,2m² de carregamento. A área disponível, para as antenas de transmissão, nas torres que se encontram na região é de, em média 12m², devido ao carregamento já imposto pelas antenas de cobertura celular – normalmente nove antenas, responsáveis por 4,5m².

O valor de 1,8m de diâmetro foi obtido devido à intensidade de sinal recebido em um enlace de 30km. As antenas apresentam um ganho, que varia proporcionalmente com o seu diâmetro. Assim é necessária a antena de 1,8m para que se tenha ganho suficiente no sinal. Ficam respeitados, deste modo, os limites impostos pelos fabricantes de rádios de microondas, que estabelecem o limite de potência recebida para o ideal funcionamento do equipamento.

Para efeito de dimensionamento dos equipamentos de rádio, foi considerado que cada estação opera em capacidade máxima de transmissão. Isto não ocorre na atual situação, devido a características de tráfego na região em que esse estudo será aplicado. A decisão de projetar estações, considerando a capacidade máxima, foi tomada devido à possível expansão das estações. Esse fato deixaria a rede

engessada, caso fossem projetados equipamentos apenas para atender à demanda atual de tráfego. Dessa maneira, consegue-se prevenir a troca de equipamento de transmissão, em uma possível expansão de canais na Estação Rádio Base.

Uma Estação Rádio Base opera em capacidade máxima com dois E1's. Isto é, ela tem capacidade de transportar 60 canais de voz ao mesmo tempo, na tecnologia analógica. Quando leva-se em conta a tecnologia digital TDMA, utilizada na Telefônica Celular, esse número passa a 180 canais de voz, com os mesmos dois E1's, pois a tecnologia digital apresenta a capacidade de comprimir os canais na ordem de três para um. Os rádios disponíveis no mercado atualmente para transporte de dados na tecnologia Hierarquia Digital Plesiócrona (PDH), utilizada pela Telefônica Celular para enlaces de acesso, têm capacidades de transporte de dois, quatro e oito E1's. Tornam-se mais caros, conforme cresce a capacidade de transmissão.

O cálculo da confiabilidade do enlace será importante para futuro acompanhamento de desvanecimento e queda gradual do sinal, ao longo do tempo. A gerência da rede de acesso da Telefônica Celular acompanhará o nível de sinal recebido de cada enlace e indicará a confiabilidade real do sistema, em tempo real, que será comparada com a confiabilidade obtida nesse estudo, para possíveis intervenções no sistema – o aumento de potência de um equipamento, ou mesmo a troca das antenas para assegurar a máxima confiabilidade de cada enlace.

O desenho das configurações básicas foi feito de forma que se tenham todas as estações a serem coletadas a 30km da coletora. Assim, pelo cálculo de confiabilidade, pode-se ter a confiabilidade mínima para o enlace. Ocorre que, ao expandir o modelo básico para o modelo real, com enlaces de distâncias menores ou iguais a 30km, tem-se certamente confiabilidade maior ou igual do que a calculada no modelo básico.

Outro critério considerado no desenho das configurações básicas refere-se às tecnologias empregadas atualmente em redes de acesso, apresentadas na revisão bibliográfica desse trabalho. Tem-se, portanto, quatro configurações básicas, sendo elas as seguintes:

- Configuração Série
- Configuração Estrela
- Configuração Mista
- Configuração Anel

A seguir, será apresentado o estudo de nível de sinal recebido, para que se possa calcular a confiabilidade do enlace, bem como as classificações de preços e tipos de rádios.

3.2.1 A Confiabilidade de um Enlace

Aqui vale resgatar os vários fatores que influenciam no cálculo da confiabilidade de um enlace: o nível de sinal recebido, a umidade relativa da região, o tipo de terreno e solo, a condição climática, a potência transmitida, a potência recebida, a distância do enlace, etc.

Para o estudo proposto de confiabilidade, foram levados em conta os dados de terreno montanhoso, típicos da região onde será aplicada a abordagem proposta (região norte do estado). Quanto ao clima, chama-se de subtropical o clima da região, com grandes variações das condições térmicas. Durante a maior parte do ano, o Rio Grande do Sul encontra-se sob a influência de uma massa de ar chamada Polar Atlântica. Trata-se de uma massa fria e úmida, cujo ar, ao atingir o estado, vindo do sul, já perdeu grande parte de suas características originais.

Como foi mencionado anteriormente, todos os enlaces apresentarão distâncias de 30km(d). Assim, assegura-se que todos os enlaces com distância inferior terão confiabilidade maior do que a calculada no modelo teórico. Com este enlace, em terrenos montanhosos, calcula-se a atenuação de espaço livre que o sinal sofrerá com essa distância, considerando a faixa de 7GHz de frequência (f). Esta é uma das faixas designadas pela Anatel para esse tipo de comunicação e autorizada para uso da Telefônica Celular:

$$(1) A_0 = 92,4 + 20\log(d * f) \text{ dB} = 92,4 + 20\log(30*7) = 138,84 \text{ dB}$$

O nível de sinal recebido depende da potência do rádio e da frequência utilizada. Os equipamentos que serão utilizados na abordagem proposta possuem características de potência transmitida, de acordo com o fabricante, de 21dBm e um limiar de recepção de -83dBm. Isso significa que o sinal deve chegar com -83dBm no ponto coletor, para que o rádio mantenha a comunicação.

As antenas também têm influência importante na transmissão e recepção do sinal. Como foi explicado anteriormente, serão utilizadas antenas de 1,8m de diâmetro, devido ao carregamento máximo das torres que se encontram instaladas na região. Assim, tem-se um ganho na antena de 39,7dBi e uma relação frente costas (F/C) de 65 para esse tipo de antena, variando pouco entre diferentes fabricantes.

Os níveis de potência recebida e transmitida devem ser compatíveis com os indicados pelos fabricantes dos equipamentos. No manual de cada equipamento, são apresentados os limiares e as condições para a utilização ideal. Os limiares devem ser respeitados rigorosamente, no momento de projetos de enlaces.

Seguindo com o cálculo da confiabilidade do enlace, apresenta-se a fórmula para cálculo de potência recebida:

$$(2) PR = PT + Gant_A + Gant_B - Acabos - A_0$$

Onde:

PR é a Potência Recebida;

PT é a Potência de Transmissão;

Gant_A + Gant_B são os Ganhos nas Antenas A e B;

Acabos é a atenuação inserida nos cabos do sistema, somando-se a ponta A com a ponta B. Para atenuação nos cabos, será considerado o valor de 0,5dB. Este é o valor médio resultante de um cálculo que, envolve o comprimento do cabo de microondas, os conectores utilizados, bem como os dados dos fabricantes dos rádios e antenas;

A₀ é a Atenuação em Espaço Livre.

Utilizando os dados informados acima, tem-se:

$$(3) PR = 21 + 39,7 + 39,7 - 0,5 - 138,84$$

Deste modo, obtém-se, portanto, o nível de potência recebida:

$$(4) PR = -38,94\text{dB}$$

Partindo da potência recebida, calcula-se a probabilidade de ocorrer desvanecimento. Quer dizer, pode-se obter a indicação da probabilidade de que ocorra algum evento capaz de levar o rádio ao limiar de recepção, interrompendo a comunicação entre as duas partes. Utiliza-se a fórmula de Mojoli-Mengali, que depende das características de clima e relevo da região.

$$(5) PF = PO * 10^{-AF/10}$$

Onde:

PF = Probabilidade de desvanecimento;

AF = Margem de Desvanecimento;

PO = Fator de Mojoli-Mengali;

Para o cálculo do Fator de Mojoli-Mengali, é necessário o conhecimento do clima. Como foi apresentado anteriormente, este é subtropical e apresenta um coeficiente $a = 0,25$. A rugosidade do terreno, considerada 30m para a região em estudo, apresenta um coeficiente $b = 0,25$. A distância do enlace é de $D = 30$ quilômetros, e a frequência dos rádios é $f = 7000$ megahertz.

$$(6) PO = 6 * 10^{-7} * a * b * f * D^3 = 7,09$$

$$(7) AF = PR - PLIMIAR = -38,44 - (-83) = 44,06$$

O resultado da probabilidade de desvanecimento é:

$$(8) PF = 0,002783$$

A confiabilidade do enlace será, então, de 99,972%, o que corresponde a 12 minutos de indisponibilidade por mês do enlace, considerando um mês de 30 dias. Essa confiabilidade será utilizada nos cálculos de confiabilidade das configurações básicas a seguir.

Para o cálculo de custo do enlace, deve ser cotado o preço de dois rádios, na faixa de 7GHz, com capacidades podendo variar entre 2, 4 e 8E1s. Além dos rádios, devem ser cotadas as antenas para o enlace. Segundo a abordagem proposta, serão duas antenas de 1,8m de diâmetro. A Tabela 3 apresenta o preço de um enlace, dependendo da capacidade. Os preços serão utilizados para chegar ao valor dos equipamentos de cada configuração básica.

Tabela 3 - Custo dos Equipamentos de um Enlace

Equipamento	Capacidade		
	2 E1	4 E1	8 E1
Rádio	R\$ 20.480,48	R\$ 22.029,52	R\$ 25.181,17
Antena 1,8m	R\$ 1.789,80	R\$ 1.789,80	R\$ 1.789,80

Os preços foram retirados de propostas comerciais feitas à Telefônica Celular, pelos fornecedores. Este, devido à situação, devem ficar incógnitos. A tabela tem base de janeiro de 2001 e sofreu alterações em seus valores reais devido a condições estratégicas da empresa, preservando o fornecedor dos equipamentos, conforme mencionado no Capítulo 1.

3.2.2 Configuração em Série

O modelo de configuração em série leva esse nome, devido ao método de transporte da informação, que se dá coletando uma estação em outra, buscando as menores distâncias entre estações, até chegar à estação coletora principal. Com base nos conhecimentos de confiabilidade, sabe-se que ao colocar elementos em série, a confiabilidade do sistema é a multiplicação das confiabilidades de cada elemento. Reduz-se, portanto, a confiabilidade do sistema, a cada elemento adicionado. Em contrapartida, observa-se alta confiabilidade por enlace, pois trabalha-se com distâncias menores entre estações. Isto porque há mais opções para buscar a estação mais próxima.

A Figura 7 facilita a visualização e compreensão do que está sendo tratado. A estação coletora aparece como sendo o prédio identificado. As demais estações são representadas como torres, com as antenas de microondas. Pode-se notar que o assinante que está na área de cobertura da última torre tem sua ligação passando por todos os enlaces até chegar na coletora. Isto é, passa em série por todos os elementos da rede até o destino final. Vale lembrar que a estação coletora não é o ponto final da ligação. Ela é apenas o local onde a ligação passará para o meio óptico que a levará até a Central de Comutação e Controle (a CCC), onde será roteada para seu destino, um outro usuário do sistema móvel celular ou fixo, em qualquer lugar do mundo.



Figura 7 – Configuração em Série

Os cálculos para essa configuração foram realizados a partir da análise de custos, através do dimensionamento dos equipamentos necessários. Para tanto, vale lembrar que cada estação foi considerada em capacidade máxima, isso é, gerando 2E1s de tráfego.

Ao observar o enlace número 1 (entre as ERBs A e B), nota-se que a capacidade de rádio para essa situação é a de 2E1s, uma vez que esse enlace é o responsável pelo transporte do tráfego da ERB A. Passa-se, então, para o enlace número 2, que liga as ERBs B e C. Devido ao tráfego da ERB A, coletado pela ERB B, necessita-se de um rádio de maior capacidade para esse enlace, pois o tráfego nesse ponto da rede é o somatório das ERBs A e B. Nesse caso, portanto, precisa-se de um rádio de 4E1's para o enlace.

Devido à configuração em série, aparece ainda a ERB C somada ao tráfego de A e B, ela apresenta um tráfego total de 6E1s. Será necessário, neste sentido, um rádio de capacidade de 8E1s para o enlace número 3. Isto porque não existe no mercado um rádio de 6E1s para transportar o tráfego de todas as ERBs.

As configurações em série são muito utilizadas atualmente para o transporte das estações que cobrem rodovias. Devido à topologia das rodovias, torna-se inviável qualquer outro tipo de configuração. Não é possível coletar várias estações em uma coletora (configuração estrela, que será vista em seguida), devido às grandes distâncias apresentadas desde a última estação – no final da rodovia – até a coletora mais próxima.

Outro fator relevante, no projeto de redes em série, é o tráfego que circula pela rede. A cada elemento adicionado em série, soma-se 2E1's no tráfego até a coletora. No caso de rede com três estações em série até a coletora, por exemplo, deve-se projetar um rádio capaz de trafegar 6E1's no último enlace. Os rádios de 8E1's são mais caros do que os de 2E1's, como mencionado anteriormente.

A Tabela 4 apresenta os enlaces com os equipamentos necessários. Não se deve esquecer que um sistema de rádio enlace necessita de duas antenas, além de dois equipamentos de rádio, um em cada ponta, para que se possa fechar o caminho do tráfego. Neste caso as antenas devem ser colocadas com o diâmetro de 1,8m, como especificado anteriormente nesse trabalho.

Tabela 4 - Equipamentos para Configuração em Série

	Enlace 1	Enlace 2	Enlace 3
Rádio	2 Rádios de 2E1	2 Rádios de 4E1	2 Rádios de 8E1
Antena	2 Antenas de 1,8m	2 Antenas de 1,8m	2 Antenas de 1,8m

Calcula-se, então, o custo de equipamentos da Configuração em Série, resultando no valor de R\$ 146.121,54.

A fim de calcular a confiabilidade de uma estação (lembre-se que a confiabilidade da estação é o tempo, em minutos, por mês, em que ela poderá ficar fora do ar, devido ao desvanecimento que ocorre no sinal transmitido, em decorrência de condições físicas que envolvem o estudo de propagação do enlace) deve-se multiplicar as confiabilidades dos enlaces que estão à frente dessa estação. Esses cálculos aparecem na Tabela 5, que relaciona a confiabilidade de cada estação até a coletora. O valor da confiabilidade de cada enlace de 30km é de 99,972%, como foi apresentado anteriormente.

Tabela 5 - Confiabilidade das Estações na Configuração em Série

Estação	Cálculo de Confiabilidade	Confiabilidade	Tempo Fora do Ar
Estação A	Conf1 * Conf2 * Conf3	$99,972^3 = 99,916\%$	36 min
Estação B	Conf1 * Conf2	$99,972^2 = 99,944\%$	24 min
Estação C	Conf1	99,972%	12 min

Nota-se que, quanto mais estações são colocadas em série, menor será a confiabilidade. As estações que se encontram mais longe da coletora apresentarão a menor confiabilidade. Nesse tipo de configuração, corre-se o risco de ter uma estação fora do ar, por até 36 minutos por mês.

3.2.3 Configuração Estrela

O modelo de configuração em estrela leva em conta enlaces diretos entre as ERBs e a coletora. Com isso, aumenta-se a confiabilidade do sistema, pois, ao cair um enlace, não se perdem as demais estações. Isto é diferente do que acontece no modelo em série. Neste, ao cair o enlace mais importante (enlace 3, da Figura 7 – série), todo o sistema fica sem transmissão, fora do ar.

Essa configuração é mais utilizada nas áreas que apresentam maior densidade de estações. Isto ocorre porque, nessas áreas, têm-se maior probabilidade de viabilizar um enlace, graças às diversas possibilidades de estações que apresentam visada direta com a estação que se deseja coletar.

O sistema em estrela não apresenta somente vantagens. Em muitos casos, haverá limitações quanto à visada direta. Para se projetar uma rede com apenas rádios em paralelo, é necessário que se tenha uma alta quantidade de estações coletoras. Isto é importante para que estas estações sejam capazes de “enxergar” todas as outras do sistema. Caso contrário a opção é colocar estações em série. O sistema proposto neste trabalho levou em conta, no desenvolvimento da sistemática de desenho da rede de acesso, essas peculiaridades das configurações. O importante, nesse momento, é apresentar a configuração que tende a trazer o melhor custo/benefício, isso é, a maior confiabilidade e o menor custo.

A Figura 8 apresenta o desenho esquemático da configuração, para facilitar a visualização do sistema em questão.

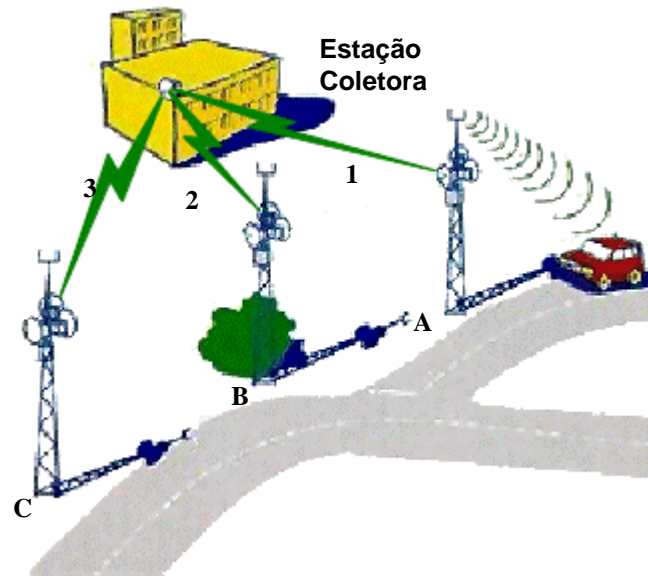


Figura 8 – Configuração Estrela

Na seqüência, será apresentado o dimensionamento dos rádios utilizados nessa configuração. Devido às peculiaridades da configuração, o cálculo é simples. Conforme foi mencionado anteriormente, o tráfego de cada estação pode ser transportado por um rádio enlace, independente dos demais. Isso significa dizer que o dimensionamento de rádios para a configuração estrela se resume ao cálculo de um enlace, já que os demais serão igualmente dimensionados. Está prevista a utilização de dois rádios de 2E1s, um em cada ponta, bem como duas antenas de 1,8m. A Tabela 6 apresenta os equipamentos necessários para a instalação da configuração em estrela.

Tabela 6 - Equipamentos para Configuração Estrela

	Enlace 1	Enlace 2	Enlace 3
Rádio	2 Rádios de 2E1	2 Rádios de 2E1	2 Rádios de 2E1
Antena	2 Antenas de 1.8m	2 Antenas de 1.8m	2 Antenas de 1.8m

Pode-se observar um total de seis rádios de capacidade de 2E1s e seis antenas de 1,8m, para todo o sistema. Vale citar aqui que não é possível utilizar o ponto da estação coletora para reduzir o número de antenas, pois um enlace necessita das duas antenas para fechar o circuito de comunicação.

O cálculo de confiabilidade desse sistema também fica facilitado, porque temos todas as estações com a mesma distância da coletora. Tem-se, assim, a mesma confiabilidade para cada um dos enlaces. Isso ocorre devido à configuração em estrela, que torna cada enlace independente dos outros. Assim sendo, cada enlace terá sua confiabilidade associada, sem depender dos demais. A Tabela 7 mostra o resumo da confiabilidade da configuração em estrela:

Tabela 7 - Confiabilidade das Estações na Configuração Estrela

Estação	Cálculo de Confiabilidade	Confiabilidade	Tempo Fora do Ar
Estação A	Conf1	99,972%	12 min
Estação B	Conf2	99,972%	12 min
Estação C	Conf3	99,972%	12 min

Conforme visto, a confiabilidade de cada estação fica sendo de 99,972%, ou seja, cada estação poderá ficar fora do ar por, no máximo, 12 minutos por mês. Isto é diferente da configuração em série, onde aparecem confiabilidades diferentes para cada estação e corre-se o risco de ficar com a estação por até 36 minutos fora por mês.

Quanto ao custo da configuração estrela, para comparação com os demais custos, calcula-se um montante de R\$ 133.621,68. Isso significa que, além de apresentar confiabilidade maior para dois dos três enlaces, tem-se, ainda, uma economia, em relação à configuração série, de R\$ 12.499,86.

3.2.4 Configuração Mista

O modelo de configuração mista foi projetado de forma a mesclar as configurações de série e estrela, colocando-se uma estação em série com outra e em paralelo com a terceira estação. Essa configuração é bastante utilizada atualmente devido às necessidades de transmissão, porém não é fruto de um planejamento efetuado em uma rede de comunicações. Atualmente, diante da necessidade de transmissão para uma estação, simplesmente tenta-se encontrar a estação mais próxima, que apresente visada direta. Com isso as redes vão crescendo e perdendo a sua configuração original. Tornam-se, assim, uma rede complexa em termos de transmissão.

Essa configuração está sendo estudada, pelo fato de que, possivelmente, aparecerão casos em que, em função da topologia do terreno, ela deverá ser utilizada. Ocorre que nem sempre as estações terão visada direta com a coletora. O tráfego deve, então, passar em série por outra estação.

A Figura 9 ilustra a configuração mista, mostrando as estações A e B, em série, e a estação C, em paralelo com as demais.

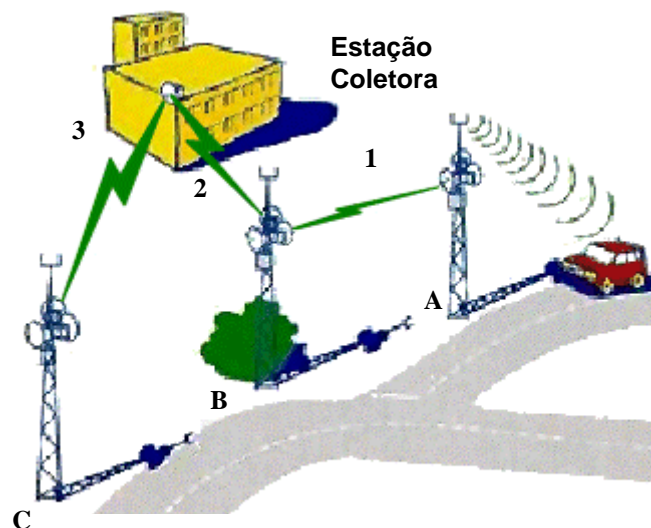


Figura 9 – Configuração Mista

A configuração mista pode utilizar, então, rádios de 2E1s para as estações A e C, necessitando de um rádio de maior capacidade, 4E1s, para o enlace dois, entre

a estação B e a Coletora. Quanto às antenas, devem ser utilizadas as mesmas projetadas anteriormente, de 1,8m de diâmetro. Foram previstas, portanto, mais seis antenas para completar os equipamentos utilizados na configuração mista. O custo da configuração mista foi orçado em R\$ 136.719,76, muito próximo do custo da configuração estrela, porém com confiabilidade menor para uma estação, conforme apresenta a Tabela 9.

Tabela 8 - Equipamentos para Configuração Mista

	Enlace 1	Enlace 2	Enlace 3
Rádio	2 Rádios de 2E1	2 Rádios de 4E1	2 Rádios de 2E1
Antena	2 Antenas de 1.8m	2 Antenas de 1.8m	2 Antenas de 1.8m

A Tabela 9 mostra a confiabilidade de cada enlace:

Tabela 9 - Confiabilidade das Estações na Configuração Mista

Estação	Cálculo de Confiabilidade	Confiabilidade	Tempo Fora do Ar
Estação A	Conf1 * Conf2	$99,972^2 = 99,944\%$	24 min
Estação B	Conf2	99,972%	12 min
Estação C	Conf3	99,972%	12 min

Nota-se que essa configuração realmente é uma mescla das duas primeiras comentadas nesse trabalho. Leva à escolha de rádios de mais baixa capacidade, como possibilita configuração paralelo e reduz a confiabilidade de uma das estações, como ocorre com a configuração em série. Deve ser utilizada apenas para os casos em que não se encontra visada direta para a estação coletora, pois não apresenta um padrão. Acontece que, na projeção de ampliações na rede, quando não existe um padrão sendo seguido desde o princípio, por vezes é necessário modificar muitos enlaces, para adequar a rede à ampliação sugerida.

3.2.5 Configuração em Anel

A configuração em anel é projetada para que se tenha maior confiabilidade na rede de transmissão. As origens dessa configuração são os anéis de fibra óptica, que utilizam-se de rotas redundantes para o tráfego como forma de se aumentar a confiabilidade de um sistema. Assim, caso ocorra falha em uma das rotas, a outra deverá ser capaz de assumir o tráfego das demais estações.

Para que isso seja possível, devem ser projetados rádios de forma a fechar um anel que envolva todas as estações a serem coletadas, com terminação na estação coletora. Com isso, aumenta-se a quantidade de rádios necessários. Os equipamentos de transmissão precisam ser diferentes, pois devem ser capazes de comutar de uma rota defeituosa para a outra, em condições de tráfego.

Outra questão a ser tratada nessa configuração é a capacidade dos rádios. Estes devem ter capacidade de suportar o tráfego das demais estações, para que se possa rotear as estações para a rota alternativa. O desenho esquemático, Figura 10, é apresentado com a finalidade de facilitar a visualização da configuração em anel.

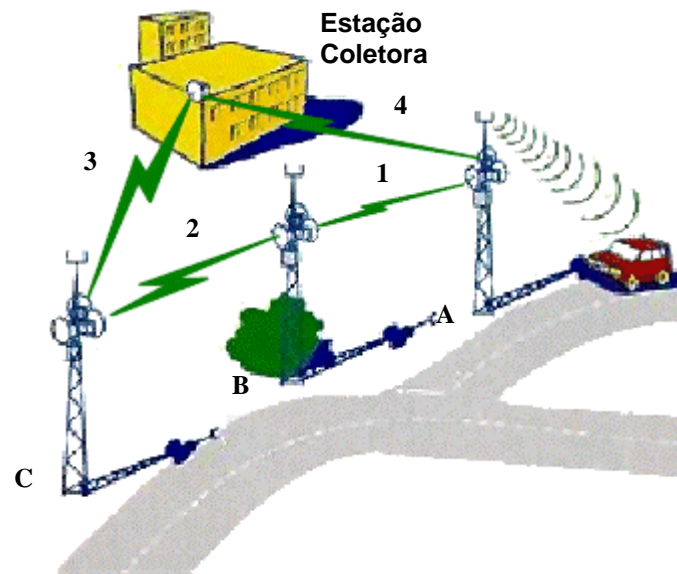


Figura 10 – Configuração em Anel

Seguindo com o cálculo de capacidade de rádios, nota-se que, no caso de falha do enlace um, o tráfego da estação A deverá ser conduzido através da estação B e C. O mesmo deve ocorrer no caso de falha de qualquer outro enlace. Para isso, são projetados os rádios dos enlaces um e dois, de forma que estes possam assumir o tráfego das estações adjacentes, é necessário um rádio de $4E1s$, para cada um desses enlaces. Como existe a possibilidade de trafegar todas as estações por um caminho, deve-se considerar um rádio de $8E1s$ para os enlaces três e quatro, de forma que cada um deles, independentemente, possa trafegar todas as informações das três estações, que soma $6E1s$, como apresentado na configuração série.

Resumindo, a configuração em anel é uma composição de duas rotas em série, que dividem o tráfego nas condições normais. Em condições de anormalidade no sistema, as rotas são modificadas, a fim de não interromper a comunicação entre as estações. Os equipamentos necessários para a configuração em anel são mostrados na Tabela 10.

Tabela 10 - Equipamentos para Configuração em Anel

	Enlace 1	Enlace 2	Enlace 3	Enlace 4
Rádio	2 Rádios de 4E1	2 Rádios de 4E1	2 Rádios de 8E1	2 Rádios de 8E1
Antena	2 Antenas de 1,8m	2 Antenas de 1,8m	2 Antenas de 1,8m	2 Antenas de 1,8m

Quanto à confiabilidade, esse é um sistema mais complexo, podendo colocar confiabilidades em paralelo. Por isso, abaixo é mostrado o cálculo explicativo da confiabilidade de cada estação.

Confiabilidade da estação A = confiabilidade do enlace 4 em paralelo com a confiabilidade do caminho alternativo ($\text{conf1} * \text{conf2} * \text{conf3}$), resultando em uma confiabilidade de 99,99997%, o que representa apenas 0,6 segundos por mês fora do ar.

Confiabilidade da estação B = confiabilidade dos 2 caminhos diferentes em paralelo. Isto é, $\text{conf1} * \text{conf4}$ em paralelo com $\text{conf2} * \text{conf3}$, resultando em uma confiabilidade de 99,999969%, representando apenas 0,8 segundos fora do ar por mês.

A Confiabilidade da estação C será a mesma da estação A, uma vez que as duas são simétricas em relação ao anel de rádios. Pode ficar, portanto, no máximo 0,6 segundos por mês fora do ar.

Tabela 11 - Confiabilidade das Estações na Configuração em Anel

Estação	Cálculo de Confiabilidade	Confiabilidade	Tempo Fora do Ar
Estação A	$\text{Conf4} // (\text{Conf1} * \text{Conf2} * \text{Conf3})$	99,99997%	0,6s
Estação B	$(\text{Conf1} * \text{Conf4}) // (\text{Conf2} * \text{Conf3})$	99,999969%	0,8s
Estação C	$\text{Conf3} // (\text{Conf1} * \text{Conf2} * \text{Conf4})$	99,99997%	0,6s

Como foi previsto, essa configuração apresenta uma confiabilidade muito maior do que as demais configurações. É relevante saber, contudo, se o custo adicional pode inviabilizar o anel de rádios. A configuração realmente é mais cara do

que as demais já vistas. Isto se explica devido à quantidade de rádios e à capacidade dos mesmos.

A diferença entre o custo da configuração em anel para as demais configurações é muito grande, o custo dessa configuração é de R\$ 203.161,16. Dificilmente se explica tal diferença de investimento. O investimento deve se dar proporcionalmente à importância da informação trafegada. Como as informações tratadas nesse trabalho são apenas tráfego entre ERBs e CCCs, não existe, até o momento, necessidade de proteção para tal. As rotas protegidas devem ser as do tráfego entre CCCs, já transportado pelo anel de fibra óptica.

Apesar do alto custo, entretanto, esta configuração não é condenada. Ainda poderá ser considerada em localidades onde, estrategicamente, necessita-se de um sistema mais confiável. Ocorre que a diferença, embora possa levar muito tempo para pagar-se, não representa um valor muito alto e, pode ser considerada no momento de projeto. Os enlaces de fibra óptica geralmente são projetados em configuração em anel. A probabilidade de rompimento da fibra e o tempo de manutenção necessário para colocá-la novamente em funcionamento são muito elevados, tornando a configuração viável além de muito aconselhável.

3.3 Escolha da Configuração Ótima

Nesse momento, é possível, a partir dos resultados obtidos com o estudo das configurações básicas, decidir entre uma das configurações. Entre as opções estudadas, foi visto que a configuração que apresenta a maior confiabilidade para todas as ERBs é a configuração em anel. Esta apresenta, porém, um custo muito elevado e impróprio para esse tipo de aplicação. Com isso, busca-se outra configuração, a configuração em estrela, que mantém uma confiabilidade mais alta que as demais, além de um custo igualmente inferior.

A configuração em série apresentou a menor confiabilidade e o maior custo de implantação, por isso não deverá ser a base utilizada nesse momento. Procura-se sempre a configuração em estrela, para que seja possível aumentar a

confiabilidade e reduzir custos. É claro que, em certos casos, não será possível seguir a configuração em estrela, devido à viabilidade de alguns enlaces. Estes casos serão, entretanto, exceções e deverão ser estudados individualmente, no momento apropriado, buscando a melhor solução para a inviabilidade.

O próximo passo será a apresentação do método que possibilita expandir essa configuração em toda a região norte do estado, envolvida pela rede de transporte do anel óptico norte.

4 DESENHO DA REDE

Partindo da revisão bibliográfica (Capítulo 2) e do estudo das configurações básicas (Capítulo 3), pretende-se apresentar, no presente capítulo, uma abordagem para o projeto de redes de acesso, aplicado à rede de acesso do anel óptico norte da Telefônica Celular no Rio Grande do Sul. A abordagem foi desenvolvida, utilizando as conclusões obtidas no capítulo anterior e buscando criar um procedimento para futuros projetos de redes de acesso.

Neste ponto, vale informar que os projetos feitos na área, antes deste trabalho contemplavam estações isoladas. Ou seja, apenas se projetava um (01) enlace de rádio para atender à necessidade de acessar um meio de terceiros, alugando os meios de transmissão até a Central de Comutação e Controle. Esses projetos isolados eram feitos sem padronização, não existia a rede de transporte, o Anel Óptico, e, portanto, não havia a necessidade de se projetar uma rede de acesso.

O desenvolvimento deste trabalho estabelece novos procedimentos para o setor. Esses procedimentos visam a organização do planejamento, bem como a padronização dos elementos, possibilitando projetos de redes de acesso mais complexas, tais como os projetos envolvendo o estudo de transmissão para todas as ERBs de uma região específica.

A modificação proposta nos procedimentos de planejamento da rede apresenta um importante ganho em organização. Isso acontece porque parte-se de um modelo básico, o qual é gradativamente expandido até cobrir toda a área de interesse. Além disso, em função da padronização adotada, o projeto fica mais

simples, utiliza-se os mesmos equipamentos em toda a rede, a confiabilidade é conhecida, e, portanto, toda a operação e manutenção do sistema fica facilitada.

Este capítulo está estruturado da seguinte maneira: (i) considerações iniciais sobre o desenho da rede, (ii) desenvolvimento da rede e (iii) desenho ideal da rede de acesso. Contempla um método para projetos de redes de acesso, utilizando-se da infra-estrutura existente da Telefônica Celular. Essa pesquisa-ação envolve o acesso a todas as Estações Rádio Base já existentes na região norte do estado do Rio Grande do Sul e pertencentes à Telefônica Celular.

4.1 Considerações Iniciais

Para iniciar o projeto, é necessário levantar todas as condições de contorno. Para isso, foram estudadas as configurações básicas, apresentando a solução que obteve o melhor custo, com a maior confiabilidade. Nesse momento, mostra-se novamente o desenho do Estado, com o anel óptico norte, agora com as Estações Rádio Base que deverão ser coletadas. A Figura 11 é, portanto, o desenho inicial do projeto, onde é levantada toda a necessidade de transmissão em termos de localidade e de capacidade, além de serem definidos os pontos de abertura da fibra. Os pontos de abertura correspondem aos coletores primários, definidos no projeto do anel óptico norte.

Assim, têm-se as primeiras condições de contorno do projeto, que estão relacionadas com a localização geográfica das estações. Outras condições de contorno já foram abordadas, tais como o carregamento das torres quanto à seção transversal das antenas de transmissão e a capacidade dos equipamentos a serem implantados. Ainda restam algumas condições a serem consideradas, como a viabilidade dos enlaces, apresentada no Capítulo 5.

Uma vez levantadas as condições de contorno que impõem limitações e estabelecem regras para o projeto, o projetista deve organizar seus dados, de forma a possibilitar uma visualização ampla de todo o escopo. Com organização e métodos

claros, os projetos tornam-se mais simples, além de apresentarem resultados mais robustos e confiáveis.

A Figura 11 possibilita uma visão ampla, apresentando as estações que estão no escopo do projeto, para que o projetista se familiarize com a amplitude da abordagem.

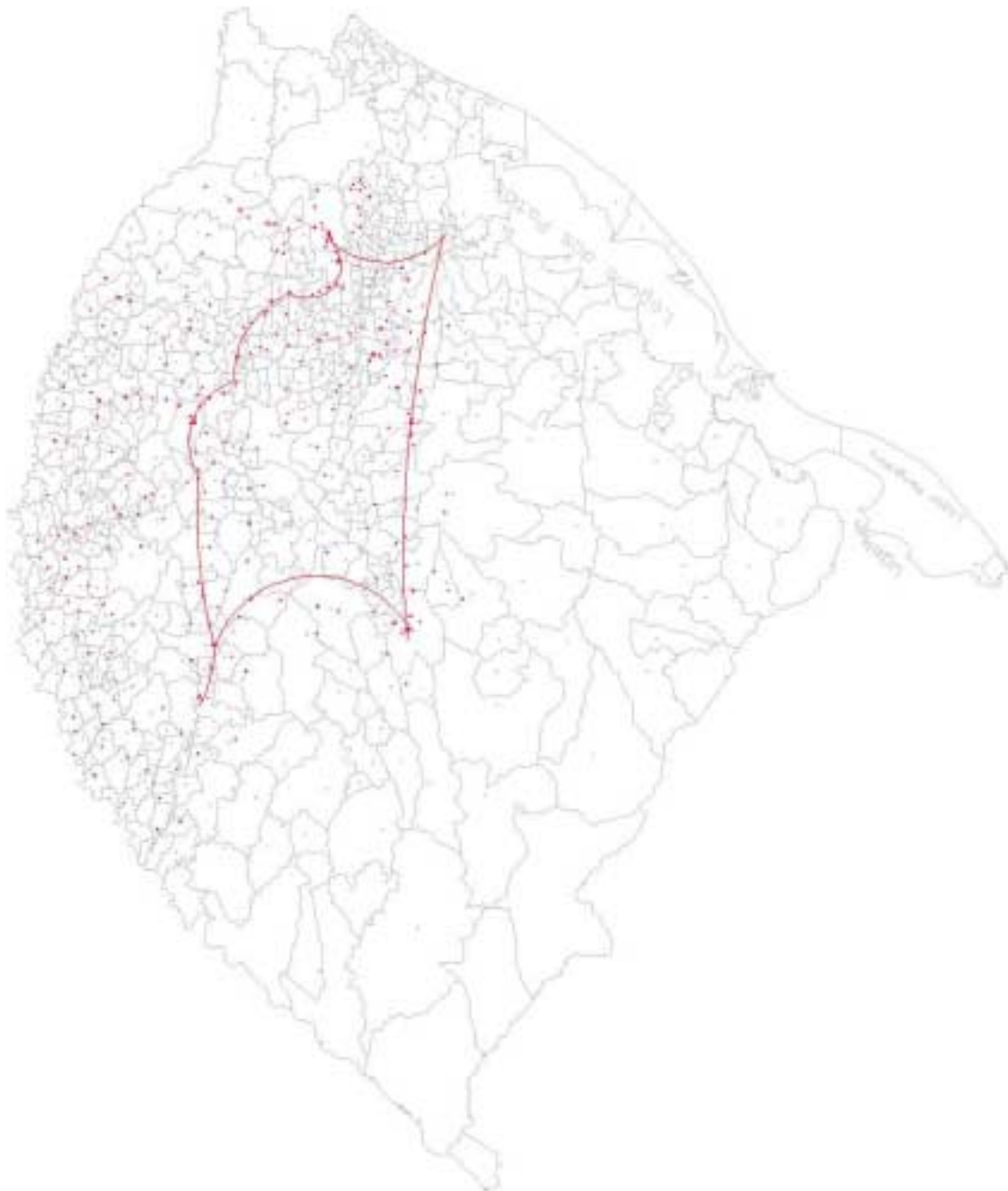


Figura 11 – Anel Óptico Norte e Estações Rádio Base

Conforme mencionado anteriormente, serão utilizadas distâncias fixas entre as estações. No caso de o projetista deparar-se com um projeto de uma rede de acesso, sem nenhuma infra-estrutura instalada, resta ainda a possibilidade de aumentar o carregamento das torres, no momento do projeto de localização e implantação das estações, para que a distância entre estações possa ser ampliada e uma estação coletora possa abranger uma área maior.

O círculo de 30km de raio centrado na própria estação é chamado de área de cobertura desta estação. Refere-se à área onde todas as estações apresentam menos de 30km de distância da estação coletora.

Nesse ponto, é necessário diferenciar a área de cobertura aqui definida da área de cobertura celular. A área de cobertura celular é fruto de trabalhos em outras frequências e com outro tipo de antena. As áreas de coberturas aqui propostas se referem, especificamente, ao alcance máximo que uma estação apresenta com relação a enlaces de microondas, na configuração citada.

Parte-se, então, para a definição da área de Cobertura 1, que abrange as estações coletoras primárias, pontos onde será aberta a fibra óptica do anel, para inserção das estações. Nas estações coletoras primárias, não se verifica o limite de carregamento imposto pelas torres que a Telefônica Celular utiliza. Devido à grande concentração de estações nessas localidades, será construída uma torre de concreto com carregamento muito elevado, aproximadamente de 50m², permitindo a instalação de até 20 antenas de 1,8m de diâmetro.

Essas considerações iniciais fazem parte das condições de contorno, serão respeitadas no desenho da rede de acesso.

4.2 Desenvolvimento da Rede

O estudo aqui apresentado foi realizado a partir da pesquisa-ação. Em função do sigilo das informações, alguns dados foram alterados, como foi mencionado anteriormente. Assim, as estações colocadas nos desenhos não condizem

totalmente com a realidade, sendo que essa condição visa a preservar questões estratégicas da empresa. Esse fato, porém, não tira a validade do projeto, pois a proposta contempla estudo feito com distâncias e quantidades de estações coletadas reais.

O desenho da rede é iniciado projetando-se círculos centrados nas estações coletoras primárias, que formarão a área de cobertura primária. Toda a estação que se encontrar dentro desse círculo deverá ser coletada diretamente para a torre da estação coletora primária. Esse primeiro passo não necessita de muitos cuidados, uma vez que as torres das estações coletoras primárias têm grande capacidade de carregamento.

O desenho dos círculos centrados nas estações coletoras é mostrado na Figura 12, em cor preta. Os enlaces entre as estações que se encontram dentro da área de cobertura e a coletora são apresentados na mesma Figura.

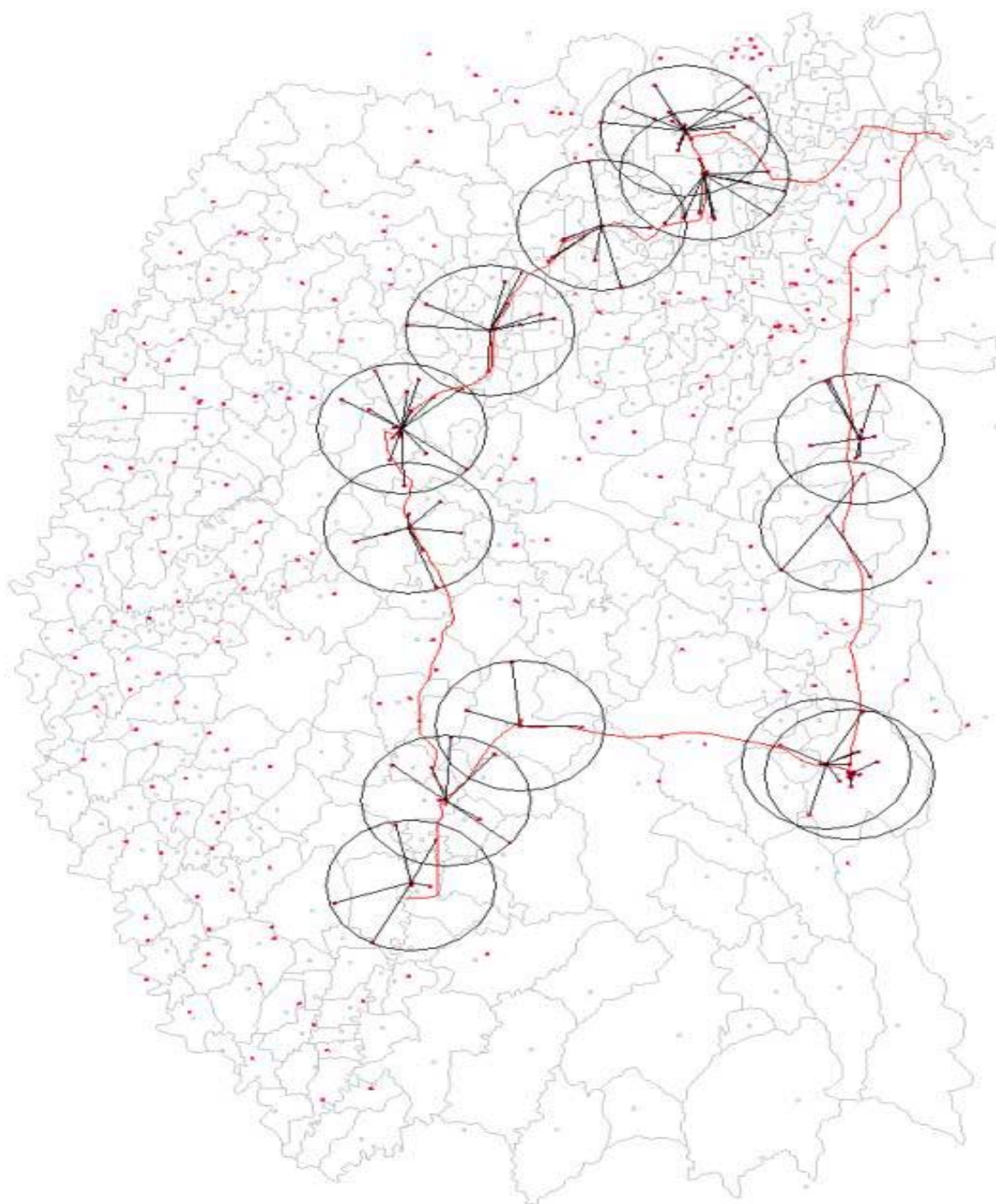


Figura 12 – Primeira Área de Cobertura

Nota-se claramente que, nas regiões onde estão localizadas as coletoras primárias, existe uma grande concentração de enlaces chegando até as torres das estações coletoras. Por isso, foram projetadas, para essas localidades, torres de concreto com alto carregamento.

Seguindo com o projeto, busca-se ampliar a área de cobertura, procurando sempre abranger a maior quantidade de estações possível. Isso é feito, escolhendo estações que se encontram nas periferias da primeira área de cobertura, de forma que o centro da circunferência seja posicionado o mais distante possível do centro da anterior. Assim, pode-se chegar a uma distância de até 60km da coletora, caso a estação esteja exatamente na periferia da área de cobertura. Esses são os chamados círculos de hierarquia secundária.

Aqui, aparecem as limitações comentadas no Capítulo 3 com referência ao carregamento das torres, que permite projetar apenas três antenas nas estações secundárias. Assim, as estações coletoras secundárias são escolhidas da seguinte forma: (i) devem estar nas periferias das áreas de cobertura, (ii) devem respeitar a limitação de três estações dentro de uma área de cobertura, para isso, ao notar que foi ultrapassado o número de estações, deve-se buscar outra estação próxima, que possa coletar as estações restantes e (iii) devem ser as estações que apresentam a maior cota (altitude), para facilitar a visada direta entre as estações, não impondo assim futuras restrições quanto à viabilidade nos enlaces.

No momento de definir os enlaces, buscam-se novamente todas as estações que se encontram nas áreas de cobertura secundárias e projetar enlaces de forma a coletar todas as estações que se encontram dentro da área de cobertura. Nos casos onde se apresenta uma estação a ser coletada dentro de mais de uma área de cobertura, a escolha da estação de coleta recai sobre aquela que apresentar a menor distância. Assim, aumenta-se a confiabilidade do enlace e, possivelmente, reduz-se o tamanho das antenas.

Conforme mencionado anteriormente, as antenas de 1,8m de diâmetro são necessárias para enlaces de 30km. Quanto menor a distância entre estações, menor

será o diâmetro necessário da antena, o que impacta na redução do custo do enlace. Além da redução do custo do enlace, ao reduzir o tamanho das antenas, surge a possibilidade de instalar mais uma antena, sem que seja ultrapassado o carregamento máximo imposto pela torre.

Em alguns casos, será necessário um enlace de menos de 3km. Para esses casos, utilizam-se antenas com 0,6m de diâmetro, que apresentam um carregamento de aproximadamente 0,3m². Nestas situações, abre-se a possibilidade de coletar mais de uma estação na coletora.

A Figura 13 apresenta o desenho da região norte, com as áreas de cobertura secundárias e os enlaces entre as estações coletadas e as coletoras secundárias. A segunda área de cobertura é toda a área inscrita nos círculos azuis e os enlaces de hierarquia secundária também são azuis.

Dando continuidade ao projeto, repetem-se os passos anteriores, criando áreas de cobertura até que estejam envolvidas todas as Estações Rádio Base da região proposta, sem que nenhuma estação fique sem acesso à fibra óptica e sem que apareçam enlaces com mais de 30km de distância. Isso deve ser feito, sempre respeitando a limitação imposta pelo carregamento máximo das torres.

A Figura 14 mostra a terceira área de cobertura. Nela, os círculos de cor magenta representam o limite da área de cobertura da estação coletora e as linhas magenta representam os enlaces das estações que estão sendo coletadas. Assim como a segunda área de cobertura, nota-se que certas estações coletoras, em sua área de cobertura, atingem mais de três estações. Novamente, deve-se buscar mais estações coletoras com a finalidade de distribuir o carregamento das torres.

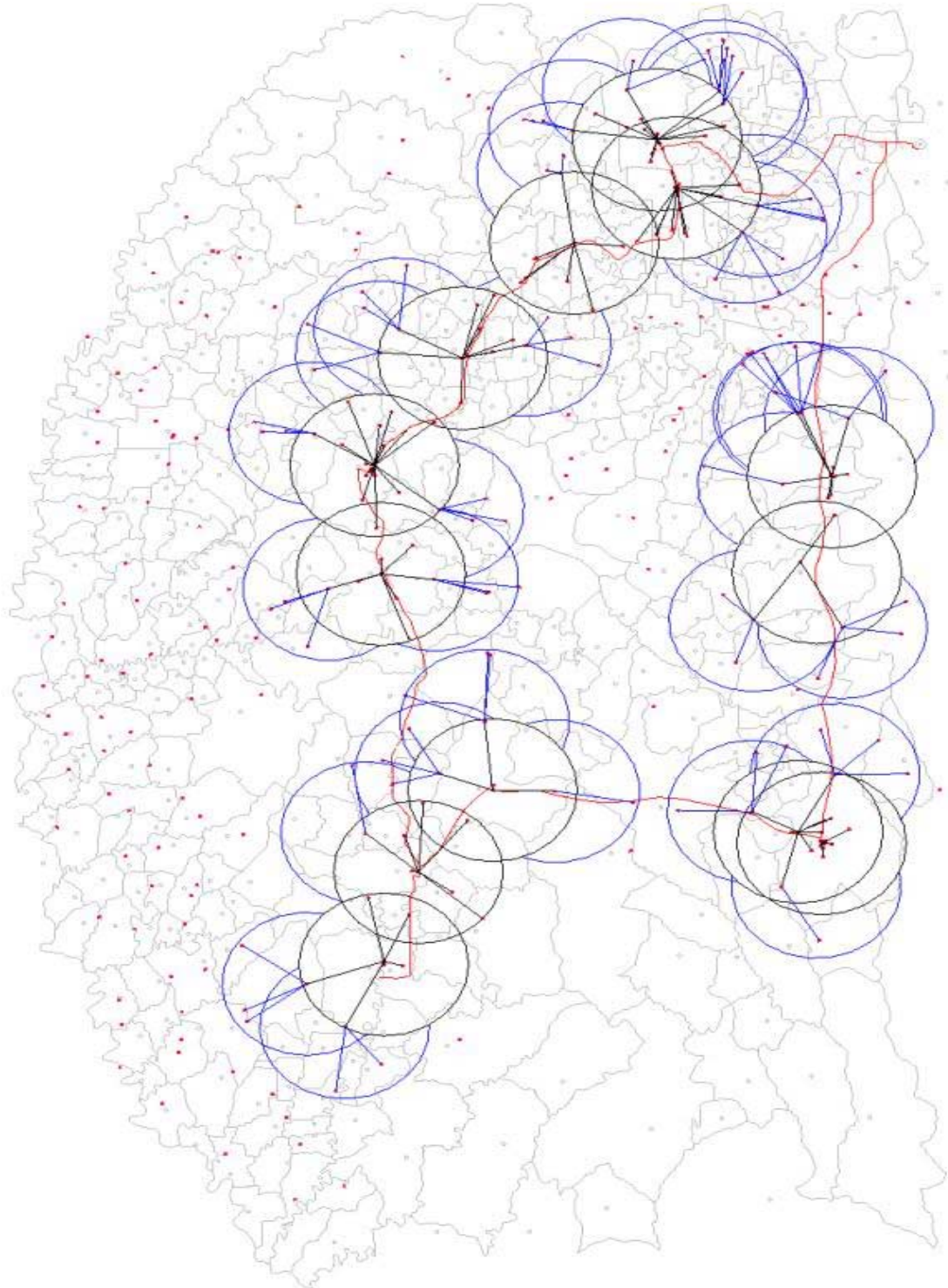


Figura 13 – Segunda Área de Cobertura

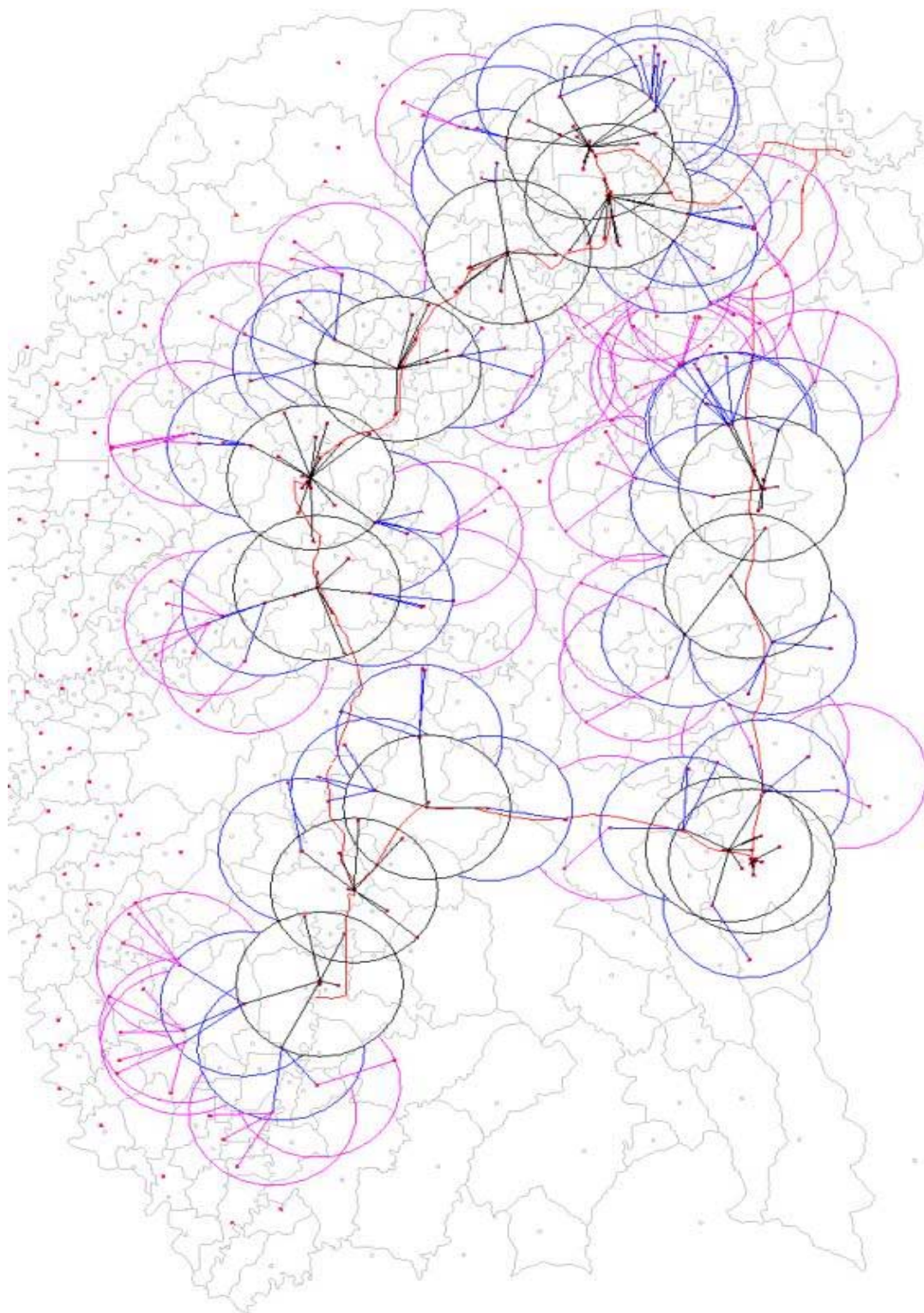


Figura 14 – Terceira Área de Cobertura

Como pode ser observado, já foram atingidas, com a terceira área de cobertura, todas as estações localizadas ao sul da área prevista para acesso ao Anel Óptico Norte. Ainda assim, contudo, é necessário criar mais zonas de cobertura para acessar às estações que se localizam próximas à fronteira norte do estado, divisa com Santa Catarina. Nota-se que, a cada área de cobertura criada, é menor a confiabilidade das estações que se encontram cobertas pelo nível hierárquico correspondente. Quanto à região interna do anel, também pode-se notar que todas as estações estão cobertas com a terceira área de cobertura, com exceção de uma, onde deverá ser incluída mais uma área.

A Figura 15 apresenta a quarta área de cobertura, dessa vez atingindo a estação localizada no interior do anel, não atingida pelas áreas anteriores, e a região norte do estado, próxima da fronteira com Santa Catarina. A área formada pelo quarto nível hierárquico é definida pelos círculos de cor marrom, bem como os enlaces de quarta ordem.

O projeto das áreas de cobertura segue com os mesmos critérios da segunda área. É imposto o carregamento das torres ao projeto e as opções de coletoras vão sendo reduzidas com o distanciamento dos grandes centros.

A quantidade de estações que uma certa região possui influi drasticamente no projeto. Quanto mais estações, mais possíveis coletoras, ao passo que, ao reduzir a quantidade de estações de uma região, reduz-se também a necessidade de aumentar o número de coletoras para dividir o carregamento.

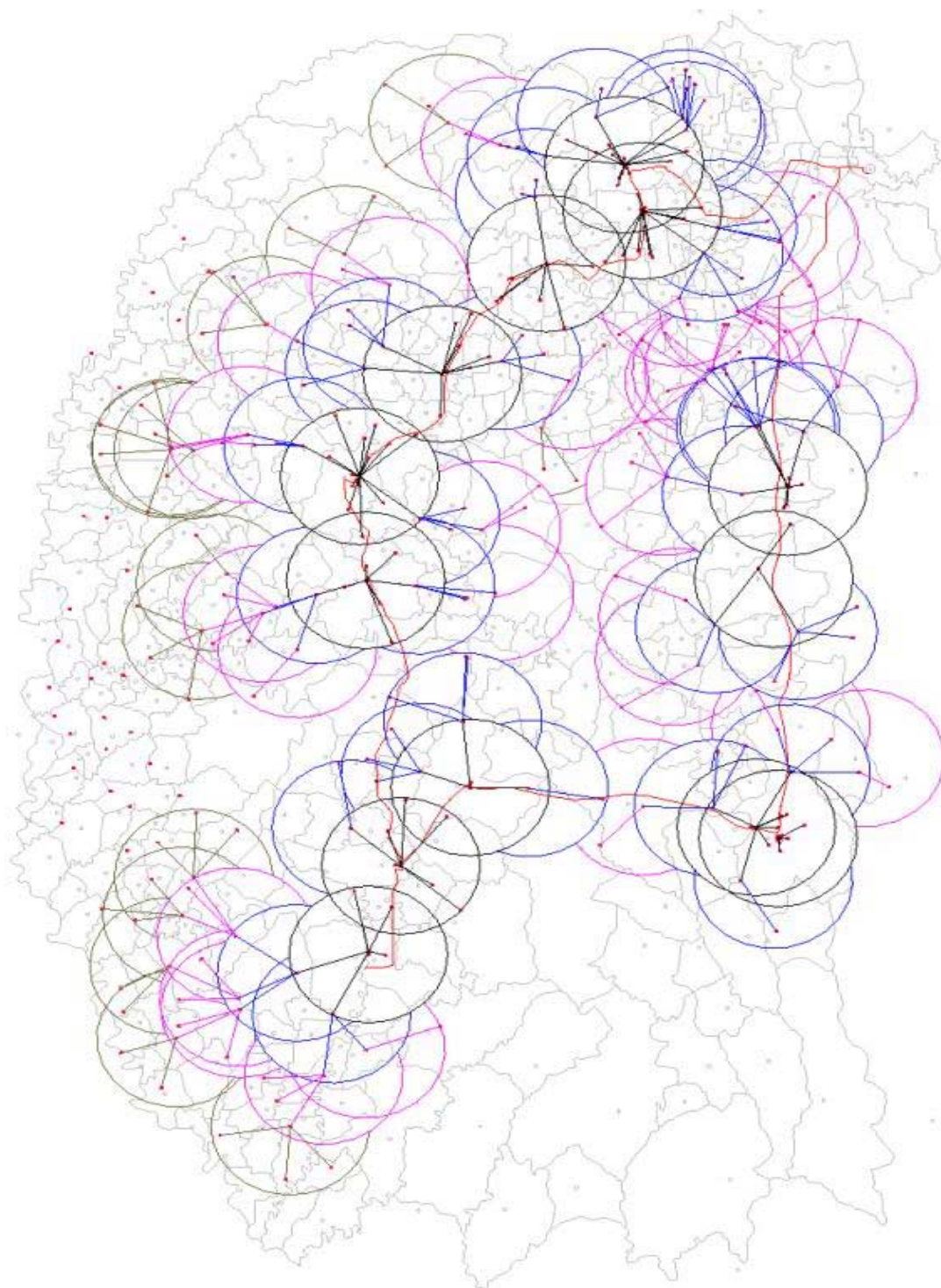


Figura 15 – Quarta Área de Cobertura

Depois de a rede estar projetada, há a necessidade de projetar mais áreas de cobertura, pois ainda restam muitas estações fora da última camada lançada.

O projeto da quinta área de cobertura será representado pelos círculos vermelhos, com os enlaces de mesma cor, ligando as estações inscritas neste círculo à coletora posicionada no centro do mesmo.

Nota-se que, a cada área de cobertura projetada reduz-se a confiabilidade das estações que se posicionam dentro dessas áreas de cobertura. Nesse momento do projeto, não se estuda a confiabilidade dos enlaces. Posteriormente, entretanto, ao serem estudadas as confiabilidades das estações até a coletora primária, pode-se considerar o estudo de algumas medidas para aumentar a confiabilidade das estações. É o que se chama de otimização da rede.

A quinta área de cobertura é apresentada na Figura 16, projetada com os círculos de cor vermelha, buscando atingir a todas as estações restantes.

Também não foi possível atingir a todas as estações do norte do estado com a quinta área de cobertura. Isto gera a necessidade de projetar mais uma área, reduzindo ainda mais a confiabilidade das últimas estações a serem coletadas.

Esse fato é resultado da falta de possibilidades para coletoras na região. Devido a características da região onde estão as estações restantes, as ERBs são posicionadas distantes umas das outras, aumentando o grau de complexidade do projeto da rede.

As estações que se encontram na última área de cobertura vão trabalhar com confiabilidade relativamente baixa, pois têm muitos enlaces em série até atingirem a estação coletora primária. Os círculos verdes foram incluídos, gerando a sexta área de cobertura do projeto. Os enlaces de acesso que buscam as estações dentro dessa área de cobertura serão representados pelas linhas de mesma cor.

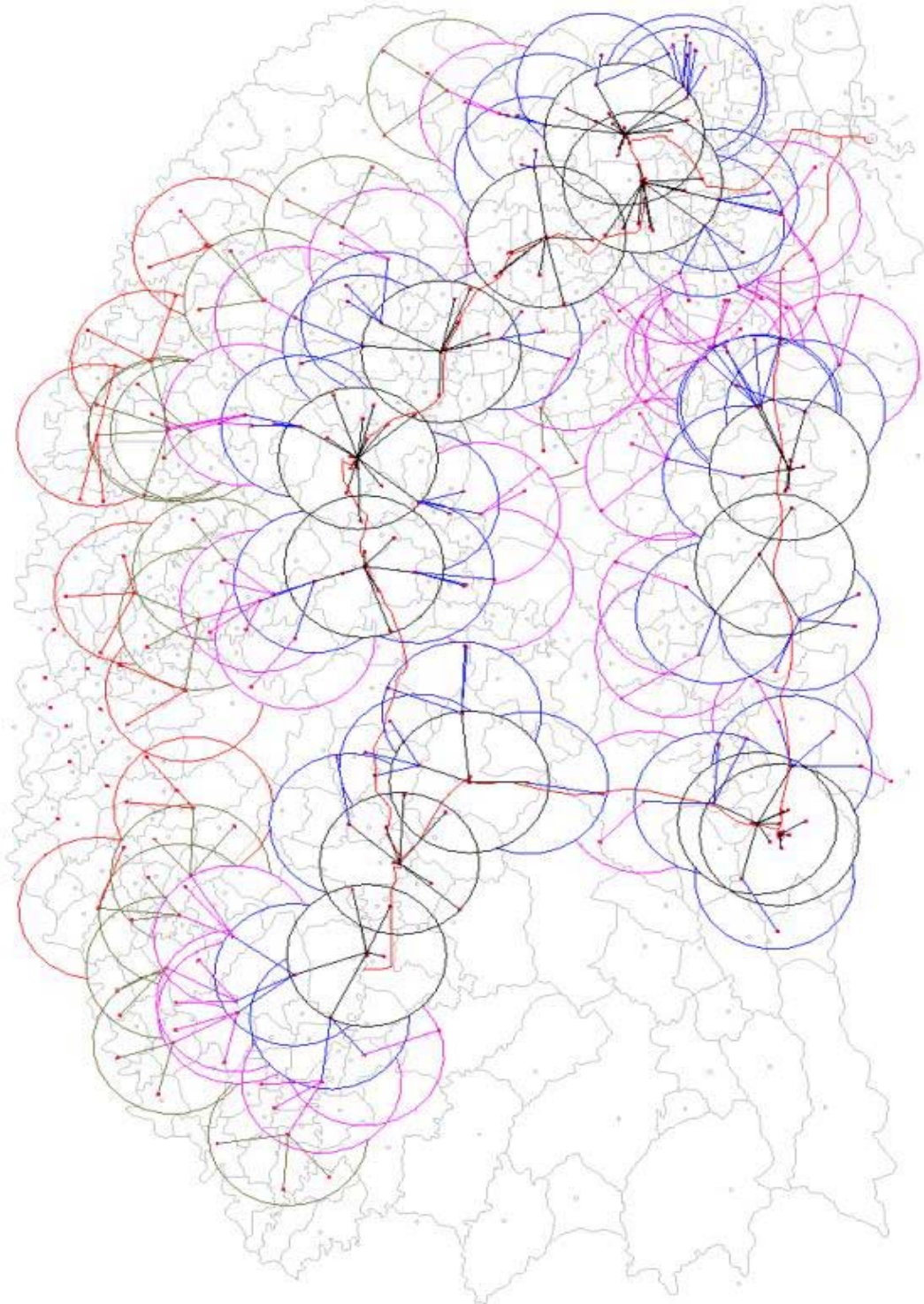


Figura 16 – Quinta Área de Cobertura

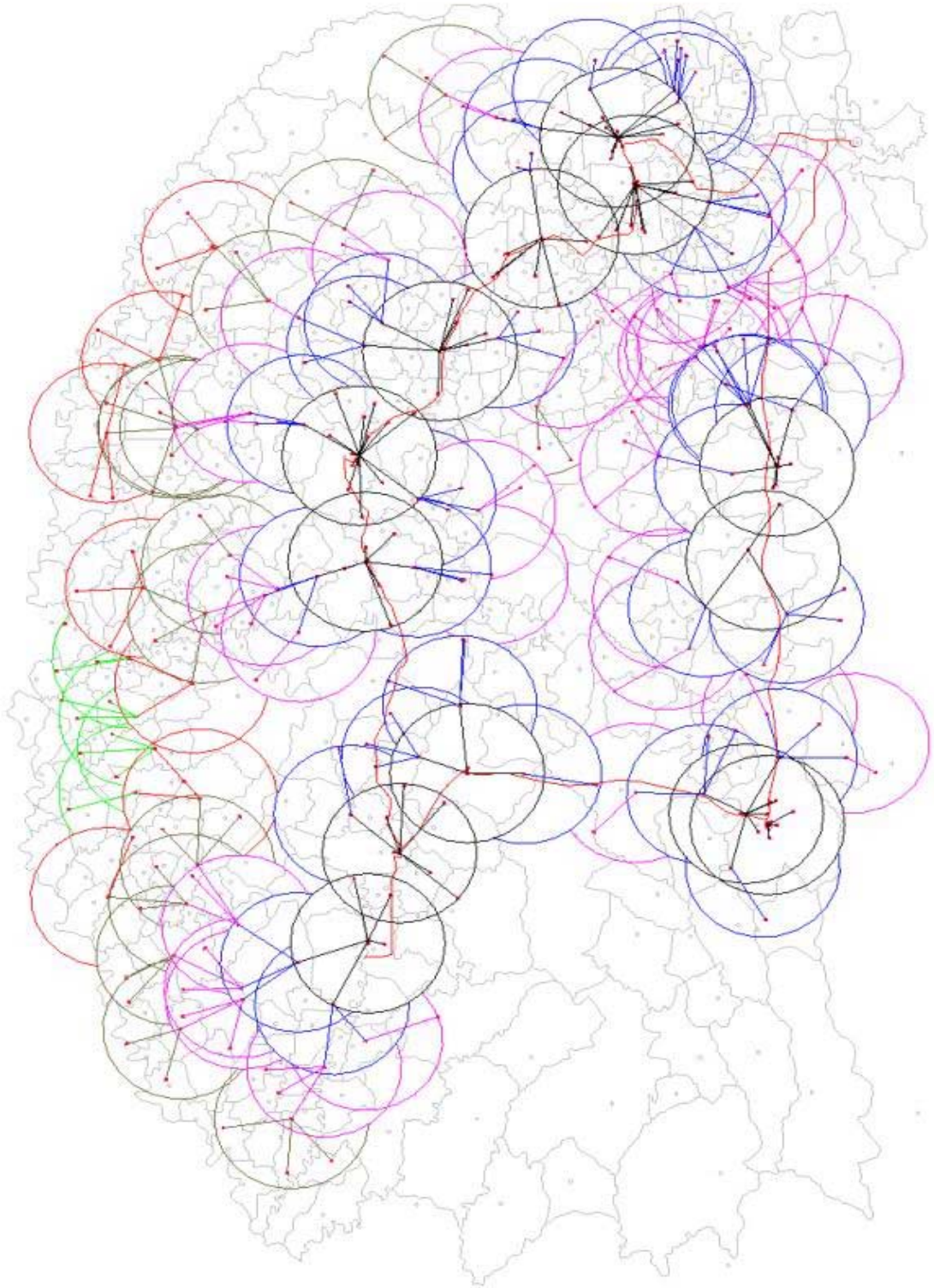


Figura 17 – Sexta Área de Cobertura

Com a sexta área de cobertura foi possível atingir a todas as estações encerrando o projeto ideal da rede de acesso. Assim, todas as estações da abordagem estão coletadas. Foi garantido o acesso, mesmo que de forma ideal, sem os estudos de viabilidade dos enlaces projetados.

A Figura 17 apresenta o resultado da rede projetada.

4.3 Desenho Ideal da Rede de Acesso

Utilizando seis áreas de cobertura no total, atinge-se a todas as estações do escopo do projeto, encerrando a inserção de cascas com áreas de cobertura. Uma vez efetuado todo o planejamento de transmissão para essas Estações Rádio Base, deve-se estudar a viabilidade de cada um desses enlaces, juntamente com a confiabilidade de cada um, o que será o tema do próximo capítulo.

A Figura 18 apresenta um desenho dos enlaces, sem a poluição visual dos círculos que representam as áreas de cobertura para facilitar a visualização e compreensão do projeto. Nota-se que a configuração de concentração de estações foi mantida, seguindo o resultado ótimo obtido no capítulo anterior, com a configuração em estrela. É possível observar várias “estrelas” ao longo da rede de transmissão, todas centradas nas estações, chamadas de coletoras.

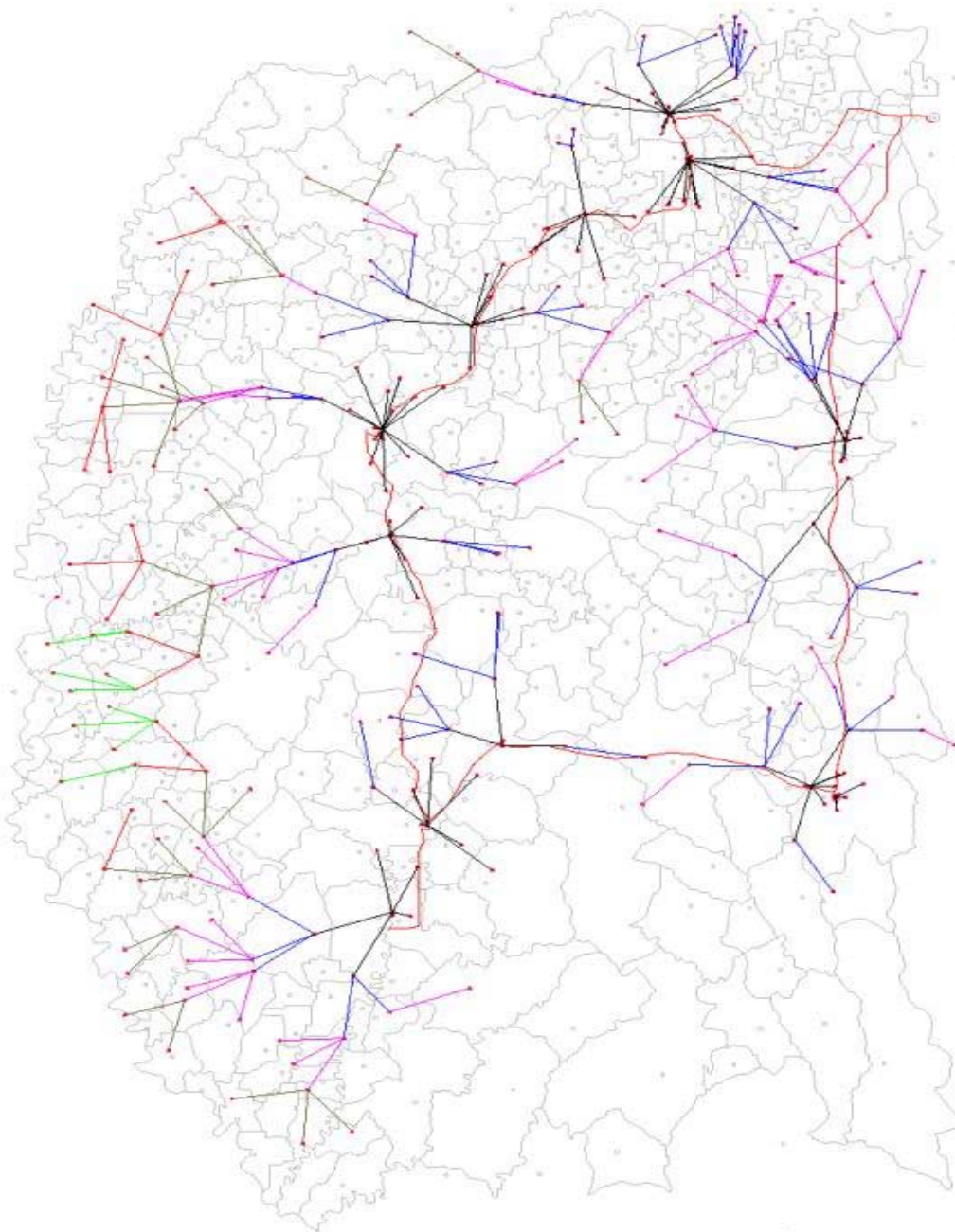


Figura 18 – Rede de Acesso Ideal

5 OTIMIZAÇÃO DO DESENHO DA REDE

Partindo da escolha do modelo de configuração descrito no Capítulo 3 e do desenho ideal da rede de acesso apresentado no Capítulo 4, propõe-se, no presente capítulo, a otimização da rede de acesso. Esse desenvolvimento foi conduzido buscando encontrar a solução para implantação do sistema projetado. Isto será possível, através da aquisição dos equipamentos necessários, instalação dos mesmos e posterior gerência dos meios de transmissão.

A otimização proposta contempla as seguintes etapas: (i) estudo de viabilidade dos enlaces, (ii) escolha da alternativa de transmissão para os pontos onde não se mostrou viável a transmissão via rádio, (iii) especificação de equipamentos a serem adquiridos e (iv) cálculo do custo aproximado e da confiabilidade de cada enlace.

Trata-se de otimização como uma melhoria no desenho da rede, visto que não será comprovado que o desenho apresentado após os critérios adotados será o desenho ótimo.

5.1 Resumo da Planta

Inicialmente será feito um resumo dos resultados obtidos no capítulo anterior, quantificando equipamentos (rádios) necessários, bem como suas capacidades. Isso visa a ajudar ao leitor a ter uma noção do tamanho da planta proposta, além do custo aproximado do projeto ideal, conforme desenho apresentado no Capítulo 4.

Como pode ser observado nas figuras expostas no Capítulo 4, a planta projetada implicará em rádios de alta capacidade em alguns pontos da rede, principalmente nas rotas em que se tem o acesso ao anel óptico. Nas estações coletoras primárias, poderá acontecer casos onde serão necessários mais de um rádio de 16 E1's, devido ao tráfego na rota. Também pode ser observado que as estações terão confiabilidade baixa nas camadas mais externas, devido à quantidade de enlaces que deverão percorrer até chegar à estação coletora primária. Será analisada a confiabilidade das estações de maior distância da estação coletora primária, isto é, as estações que terão a menor confiabilidade. Estudos futuros poderão ser necessários para aumentar a confiabilidade dessas estações.

É preciso conhecer a confiabilidade dos enlaces, para que seja possível definir quanto ela deverá ser aumentada. Deve-se traçar planos para chegar ao valor ótimo de confiabilidade. Foi estabelecido que a confiabilidade deve ser 99,85% ou superior, para que sejam mantidas as chamadas que trafegam na rota sem quedas.

A Tabela 11 apresenta os números de rádios necessários para a implantação da rede ideal. Vale lembrar que esses valores poderão sofrer alterações devido às restrições físicas. Nesse caso, para encontrar uma solução de transmissão, será necessário modificar as configurações de certas coletoras, alterando as quantidades daquele ponto em diante.

Na Tabela 11 está sendo considerado o rádio de 16 E1's. Isto não ocorreu anteriormente, pois, no momento do projeto, os rádios necessários seriam apenas os de 2, 4 e 8 E1's para atender às configurações propostas. O custo do rádio de 16 E1's, oferecido pelo mesmo fornecedor dos demais rádios, é de R\$ 69.362,20, utilizando as mesmas antenas de 1,8m de diâmetro.

Tabela 12 - Quantitativos do Projeto Ideal

Nível Hierárquico	Quantidade de Rádios				Custo	Confiabilidade Teórica	Indisponibilidade por mês
	2E1	4E1	8E1	16E1			
1	106	11	8	14	4.083.760,16	99,9721%	12 min
2	52	17	11	7	2.513.650,27	99,9443%	24 min
3	42	8	8	2	1.591.426,08	99,9165%	36 min
4	30	3	4	1	986.644,64	99,8887%	48 min
5	13	1	3	0	424.672,47	99,8600%	60 min
6	10	0	0	0	240.600,8	99,8332%	72 min
Total	253	40	34	24	9.840754,42		

Como pode ser observado, os enlaces de sexto nível estarão fora do limite de confiabilidade estabelecido. Com isso, ainda deve ser realizado o estudo de métodos para aumentar a confiabilidade desses enlaces. Devido à configuração das estações – todas na mesma região do Estado – o estudo será facilitado. Será mais simples encontrar uma solução para o problema, uma vez que ele está agrupado em uma região.

Nota-se também que o custo total do projeto não é alto, considerando que cada E1 que trafega em rede própria envolve uma economia de R\$ 1.500,00 mensais que seriam pagos de aluguel. Tendo em vista que a capacidade instalada tem possibilidade de trafegar um total de 702 E1 na rede, o que representa em aproximadamente R\$ 1.053.000,00 mensais de economia, caso todos os E1's trafegassem em rede alugada. Portanto, o valor apresentado representa uma economia importante, que será concretizada quando toda a rede estiver operando com sua capacidade máxima.

5.2 Estudo de Viabilidade dos Enlaces

O estudo de viabilidade de enlaces pode ser realizado, através de levantamento topográfico da rota criada, com a união dos pontos onde estão localizadas as estações. Após o levantamento topográfico, será feito o estudo de viabilidade técnica dos enlaces. Esse estudo fica facilitado pelo uso de um *software* de cálculo de enlaces, chamado *Path Loss*, utilizado pela empresa.

O levantamento topográfico é feito, com a utilização de mapas militares das localidades, chamados de cartas topográficas. A carta topográfica é um levantamento de cotas feito em todas as regiões do Brasil. A Telefônica Celular adquiriu as cartas topográficas de todo o estado do Rio Grande do Sul. Os mapas apresentam curvas de cotas que variam de 20m em 20m e estão em escala de 1:50.000. O método feito para traçar perfil, isto é, levantar o perfil do trajeto que seguirá o enlace corresponde aos seguintes passos, (i) juntam-se os mapas necessários para o traçado da reta, unindo os dois pontos, (ii) define-se uma distância de coleta de dados (em enlaces curtos, utilizam-se 500m e, em enlaces mais longos, 1000m), (iii) divide-se a reta em segmentos com a distância definida e (iv) coleta-se as cotas em todos os pontos definidos.

A Figura 19 apresenta a digitalização de uma carta topográfica da região de Santa Cruz do Sul, mostrando, como exemplo, um enlace entre duas estações.



Figura 19 – Levantamento de Perfil

Partindo, então, do levantamento do perfil, estudam-se as cotas em cada um dos pontos onde foi dividida a reta. Assim, têm-se todos os dados necessários para estudar a viabilidade do perfil no *Path Loss*, tais como a altura das torres, altura das antenas, a frequência dos rádios e coordenadas geográficas das estações. O levantamento das cotas é mostrado na Tabela 13:

Tabela 13 - Levantamento de Perfil Topográfico

Distância da Origem	Cota do Ponto
0m	270
500m	200
1000m	180
1500m	200
2000m	150
2500m	230
3000m	258
3500m	240
4000m	230
4500m	230
5000m	220
5500m	210
6000m	200
6500m	140
7000m	200
7500m	220
8000m	220
8500m	200
9000m	220
9500m	240
10000m	220
10500m	240
10700m	247

Após o levantamento do perfil topográfico, os dados são inseridos no *software*, e estuda-se a viabilidade do enlace. Geralmente, coloca-se uma obstrução,

chamada de interferência, de 25m no ponto mais alto do trajeto, simulando uma árvore. Caso a interferência cruze a linha do elipsóide de Fresnel, será necessário um estudo em campo, para averiguar a existência ou não da interferência em questão.

O elipsóide de Fresnel é uma elipse que se desenha com parâmetros calculados em termos da frequência e distância do enlace. Esta elipse tem vértices nas pontas transmissoras, as antenas, e seu maior raio percorre a linha que une as antenas. Uma vez que se tenha mais de 60% da área dessa elipse liberada, pode-se dizer que se trata de propagação em espaço livre.

A Figura 20 apresenta o resultado do estudo feito para o enlace que está servindo de exemplo. No topo, aparecem os dados da estação A e os dados da Estação B, são apresentados também, os dados de frequência, K (coeficiente utilizado para adequação do raio da Terra aos parâmetros de transmissão) e o percentual da zona de Fresnel, que está sendo considerado no cálculo. No gráfico, pode-se notar o relevo em projeção, a linha unindo as antenas de transmissão em vermelho e, em azul, o elipsóide de Fresnel. No ponto em que a cota tem seu maior valor, foi colocada a interferência de 25m de altura para verificar possível perda de sinal.

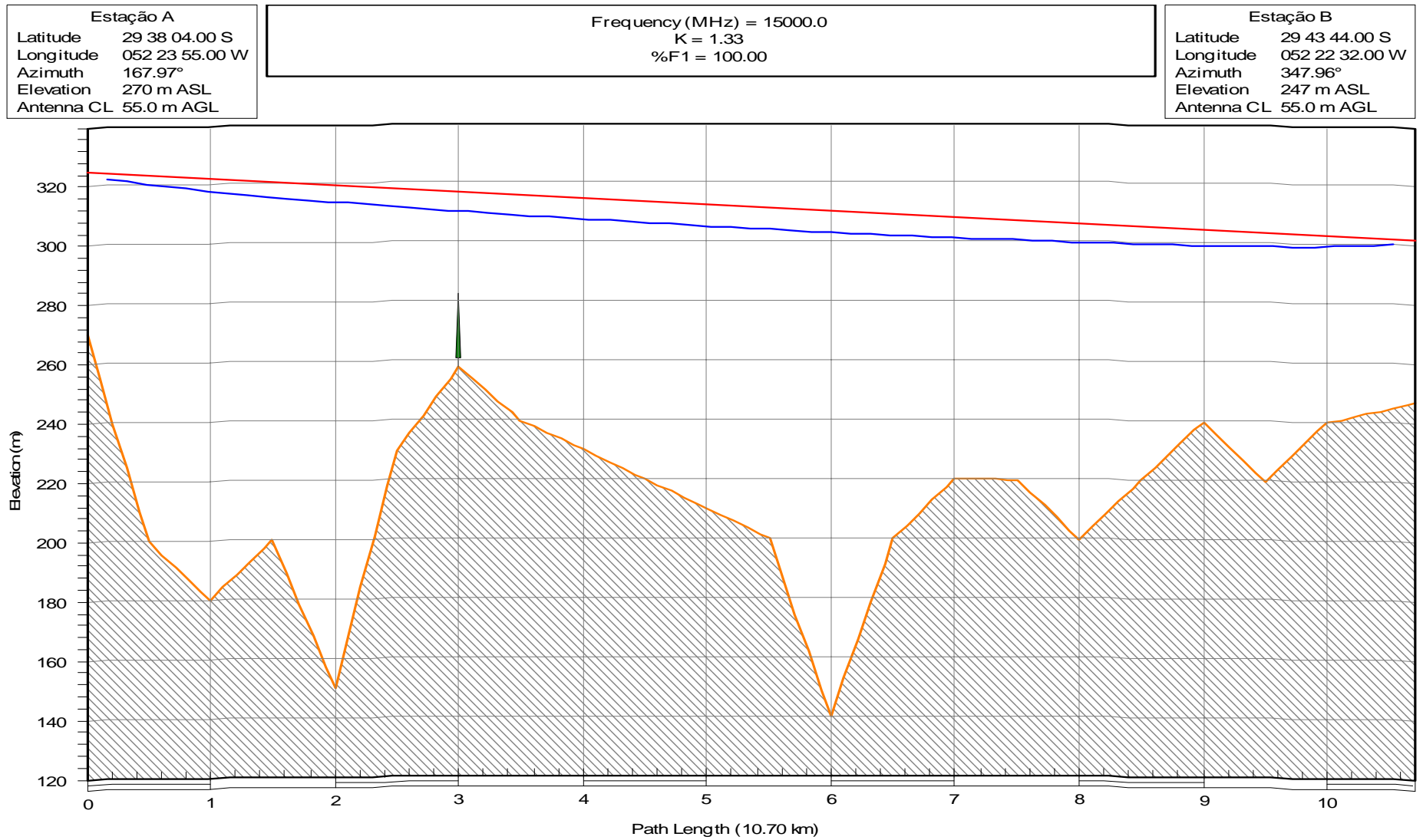


Figura 20 – Estudo de Viabilidade no *Path Loss*

O levantamento de perfil pode ser efetuado de forma preliminar, em uma base de dados digitalizada das cartas topográficas, que apresenta uma aproximação da topografia no enlace. A diferença entre o levantamento topográfico pelas cartas militares e pelo software é a resolução. Enquanto as cartas militares apresentam curvas de 20 em 20m de cotas, a base digitalizada mostra uma resolução de 50m. Com isso, fica claro que, no momento de especificar um enlace, deve ser feito o estudo em cartas topográficas para reduzir erros de levantamento.

Deve-se, então, estudar a viabilidade de cada um dos enlaces projetados. Na Figura 21, são mostrados alguns exemplos de enlaces inviáveis, resultado de estudos efetuados na região. Nessa figura, as linhas em azul representam enlaces viáveis e as linhas em vermelho, os enlaces não viáveis.

O estudo de viabilidade dos enlaces foi feito em caráter de projeto, isto é, foi estudado na base de dados digitalizada da topologia do estado do Rio Grande do Sul, onde o software *Planet* apresenta todas as estações da Telefônica Celular, juntamente com o relevo da região. Assim, pode-se ter uma aproximação da viabilidade de cada enlace, conforme foi mencionado anteriormente.

Os enlaces que se apresentam não viáveis, no estudo preliminar, deverão ser solucionados, ou seja, deverá ser encontrada uma solução para a transmissão dessa estação. Quanto aos enlaces que se apresentam viáveis, no momento do detalhamento do projeto, ainda devem ser submetidos ao estudo feito com as cartas topográficas e com o software *Path Loss*, a fim de assegurar a sua viabilidade.

Os detalhes do projeto da rede de acesso do anel óptico norte da Telefônica Celular serão guardados em sigilo, pois são informações estratégicas, que não devem circular fora do âmbito da empresa. A Figura 21 mostra apenas alguns casos ocorridos, para que se possa estudar suas soluções e impactos na rede anteriormente projetada.

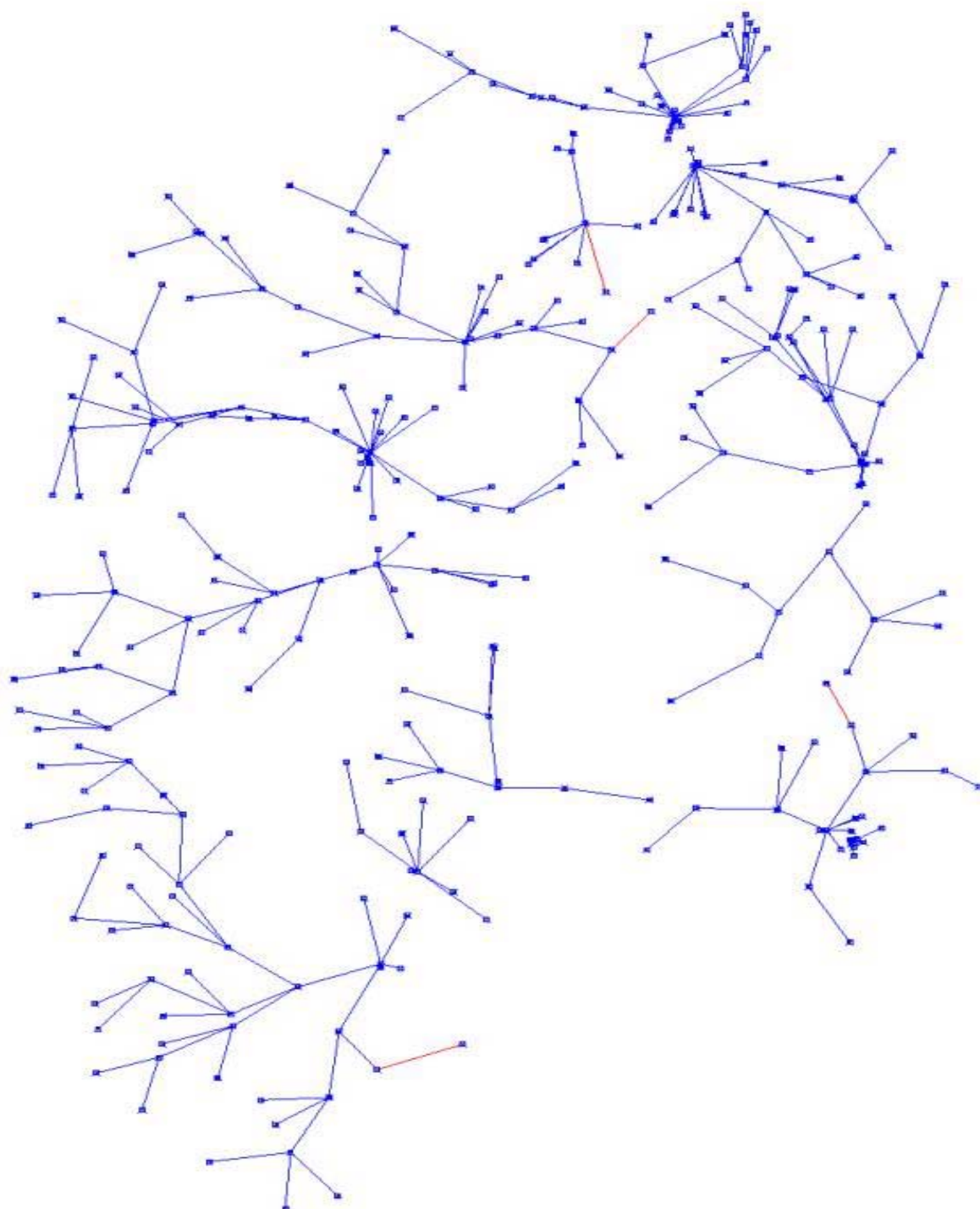


Figura 21 – Exemplo de Enlaces Inviáveis

5.3 Soluções para os Enlaces Inviáveis

Nesse momento, deve ser discutida uma solução pontual para cada um dos casos de enlaces inviáveis. Existem diversas soluções possíveis para os casos de inviabilidade de visada:

- 1) Buscar uma outra torre que possua carregamento suficiente para instalação da antena referente ao enlace em estudo. Esta torre deve estar nas proximidades da estação. É possível que esta seja a solução nos casos onde a estação que apresentou enlace inviável estiver localizada dentro de mais de uma área de cobertura;
- 2) Nos casos de a estação estar coberta apenas por uma área de cobertura, deve-se buscar a configuração série, tentando localizar uma estação próxima, mesmo que essa não seja coletora. Busca-se, deste modo, a estação que está mais próxima da estação que apresentou o enlace inviável, utilizando a configuração em série, vista no Capítulo 3.
- 3) Nos casos onde não se tem nenhuma estação próxima e não se apresenta viável o enlace, nem com uma coletora secundária nem mesmo com uma estação coletada, pode-se estudar a viabilidade de um enlace com mais de 30km. Isto deve ser feito, observando os limites impostos pelos rádios transmissores, bem como os limites de carregamento da torre que receberá a antena. Esta deverá ser maior do que as de 1,8m de diâmetro.
- 4) Existe, ainda, a possibilidade de instalar-se repetidores de rádio, caso o enlace seja realmente muito grande, de tal forma que a estação não tenha visada com nenhuma outra estação da planta. O repetidor é uma solução cara, pois necessita de torre, infra-estrutura de terreno e gastos com deslocamento, além de não representar retorno financeiro para a empresa, pois não gera tráfego como as ERB's.

Como última solução para o problema, apresenta-se a opção de alugar meios de transmissão, de uma empresa que tenha uma rede capaz de prover os meios de transmissão necessários.

Fica a cargo do projetista definir a solução que tem o melhor custo/benefício para a empresa. Este deve decidir o destino do enlace em estudo, levando em conta a confiabilidade final da estação e o custo de acesso à rede de transporte.

A Figuras 21 e 22 apresentam alguns dos casos de enlaces inviáveis e suas soluções, para facilitar o entendimento e ilustrar os casos apresentados.

A Figura 22 mostra a solução onde foi necessária a troca de estação coletora para a estação que apresentou o enlace inviável. Assim, foi necessário estudar o perfil para outras estações, a fim de solucionar esse caso, tornando-se mais viável a troca de área de cobertura para a coleta da estação. Com essa mudança de coletora, a estação muda também de nível hierárquico.

Como a estação estava dentro de apenas uma área de cobertura foi necessário ultrapassar os 30km de distância de enlace, para que fosse possível coletá-la em outra área. Com isso é necessário um sistema irradiante mais potente, o que representa antenas maiores. Portanto, deve-se escolher uma torre que tenha carregamento sobrando. Será necessária a instalação de uma antena de 3m de diâmetro, ou maior, tendo em vista que a distância entre as estações é de 50km.

Outro cuidado que deve ser notado é quanto à confiabilidade da estação, que tende a cair devido ao aumento da distância do enlace. Para compensar a perda de confiabilidade no aumento da distância, escolhe-se uma rota para a estação que apresente menos enlaces até a coletora. Assim, aumenta-se a confiabilidade da estação ao diminuir os enlaces em série até a coletora primária.

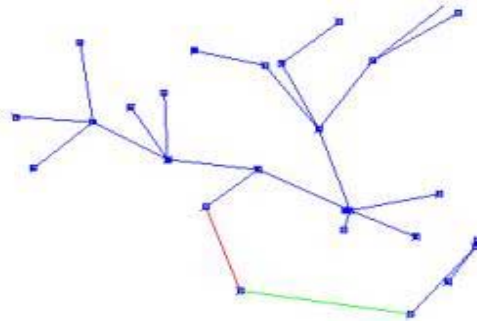


Figura 22 – Primeira Solução para Enlace Inviável

A Figura 23 mostra outro tipo de solução possível para enlaces inviáveis. Como pode ser observado, o enlace verde interliga a estação que apresentou enlace inviável até a coletora primária, que tinha ainda carregamento sobrando para coletar mais estações. Com isso, foi aumentada a confiabilidade dessa estação, tendo em vista que a quantidade de enlaces em série foi reduzida. A estação muda de área de cobertura, porém não ultrapassa os 30km de distância máxima para o enlace.

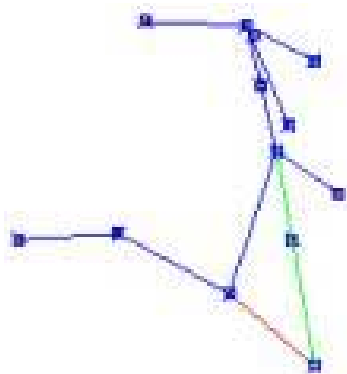


Figura 23 – Segunda Solução para Enlace Inviável

A Figura 24 também traz uma solução para enlaces inviáveis. Neste caso, seria a troca de área de cobertura dentro do mesmo nível hierárquico. Com isso, a solução encontrada foi simplesmente coletar a estação com a vizinha mais próxima, sem que houvesse redução de confiabilidade. Como ambas as coletoras estão no mesmo nível hierárquico, isto é, nas duas situações tem-se três enlaces entre a estação coletada e a coletora primária, com isso há pouca alteração na confiabilidade.

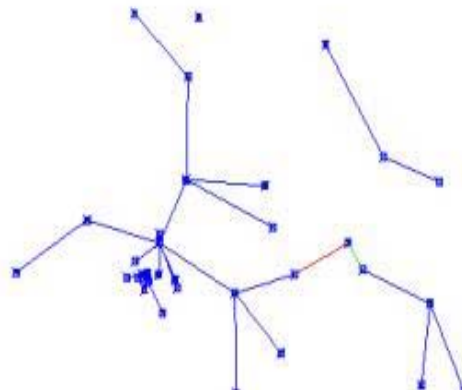


Figura 24 – Terceira Solução para Enlace Inviável

5.4 Resumo das Soluções

Após o estudo das soluções possíveis, surge o momento de definição de custos para a implantação do projeto. Para tanto, devem ser definidos os equipamentos a serem utilizados. Após o conhecimento das rotas e do tráfego em cada uma delas, pode-se modificar os rádios que serão instalados.

Existe uma solução de rádio no mercado que suporta 63 E1's, no mesmo equipamento, utilizando outra tecnologia de transmissão, chamada de SDH (Hierarquia Digital Síncrona), uma evolução do PDH (Hierarquia Digital Plesiócrons). Nas rotas em que aparecerem mais de 16 E1's para trafegar, pode-se instalar o

rádio SDH, que apresenta maior custo benefício para a empresa. O custo de um rádio SDH com STM-1, capacidade para 63 E1's, é de R\$ 85.652,12, fornecido em proposta de um dos fornecedores de equipamentos da Telefônica Celular.

O resultado do estudo de capacidades será apresentado na Tabela 13, com os quantitativos de equipamentos e antenas a serem instalados. Acrescentaram-se sete rádios SDH, no nível hierárquico 1, reduzindo o custo em 5%. No nível 2, foram três rádios SDH e o custo foi reduzido em 7%, enquanto no nível 3 foram projetados dois rádios SDH, resultando em uma redução de 4%. Os demais níveis, por trabalharem com menos capacidade de tráfego, não sofreram alterações quanto aos equipamentos. Não se deve esquecer que, neste momento, já estão computadas as modificações dos enlaces não viáveis, no cálculo do custo do projeto.

Tabela 14 - Quantitativos do Projeto Final

Nível Hierárquico	Quantidade de Rádios				Custo	Confiabilidade Teórica	Indisponibilidade por mês
	2E1	4E1	8E1	16E1			
1	103	8	7	5	3.873.874,63	99,9721%	12 min
2	52	15	10	2	2.336.510,42	99,9443%	24 min
3	40	7	7	0	1.521.457,87	99,9165%	36 min
4	30	3	4	1	986.644,64	99,8887%	48 min
5	13	1	3	0	424.672,47	99,8600%	60 min
6	10	0	0	0	240.600,8	99,8332%	72 min
Total	248	34	31	8	9.383.760,83		

Com a inclusão dos rádios SDH, reduziu-se o custo do projeto em 5%, além de instalar um número menor de rádios e antenas. Com isso, apresenta-se a confiabilidade mínima em cada nível hierárquico da rede, além de todos os equipamentos que devem ser instalados. A confiabilidade foi calculada, tendo como base os 30km de distância entre estações. Por isso, é considerada a confiabilidade mínima.

5.5 Resumo da Metodologia Proposta

Nesse momento, é possível resumir o método sugerido nesse trabalho, permitindo uma visão geral da metodologia proposta. Serão apresentados os passos a serem seguidos nos momentos de início de um projeto de grande porte.

A princípio deve-se levantar todas as condições de contorno, para cercar-se das necessidades e limitações que existem no momento do projeto da rede. Nesse passo, é importante levantar as capacidades de transmissão necessárias, as tecnologias disponíveis pelos fabricantes de equipamentos, e os pontos onde se concentram as necessidades de transmissão.

Na definição das condições de contorno, também devem ser consideradas as limitações das estações coletoras. As estações coletoras desse trabalho foram escolhidas em outro projeto, quando se tratava da construção do anel óptico norte. Essas estações devem ser escolhidas estrategicamente, levando em consideração a importância das estações a serem coletadas, bem como a densidade de estações na localidade. O ponto onde se abre a fibra óptica, ou estação coletora primária, deve ser sempre um cuidado no momento do projeto do anel.

Logo após, deve-se estudar qual a tecnologia que será seguida, bem como conhecer profundamente os equipamentos e suas limitações. Nesta etapa, o contato com fornecedores é fundamental, pois permite conhecer novas tendências e serviços disponíveis.

Após a escolha de um modelo básico a ser seguido (exemplo, configuração estrela), pode ser calculado o alcance máximo dos enlaces que farão parte da rede. A distância dos enlaces aparece como mais uma limitação do projeto. É calculada com base nos dados dos equipamentos e antenas do sistema.

O projetista também deve atentar para o carregamento máximo suportado pelas torres disponíveis para instalação de antenas de transmissão. Esse dado limita

o número de estações a serem coletadas em uma única estação. Paralelamente, o projetista deve verificar a confiabilidade de todos os enlaces, assegurando que elas permaneçam dentro dos limites especificados. Caso a confiabilidade em algum trecho seja considerada insatisfatória, o projetista deverá rever o desenho da rede ou a especificação dos equipamentos.

Como critério de escolha das estações coletoras, após o desenho do primeiro nível hierárquico, pode-se usar os seguintes parâmetros:

- estações na periferia da área de cobertura;
- mais uma coletora, caso ultrapassado o carregamento da primeira, com mais de três estações a serem coletadas, dentro da mesma área de cobertura;
- estação com carregamento disponível para coleta do maior número possível de estações;

Após o desenho da rede ideal, deve-se calcular os equipamentos necessários para atender à demanda de tráfego das estações. Os equipamentos devem ser calculados com base em futuras expansões do sistema, evitando assim que a capacidade da rede fique esgotada em um prazo relativamente curto.

Com o desenho ideal em mãos, passa-se então para o levantamento de viabilidade de cada enlace. Para facilitar esse estudo, pode-se utilizar um software, com uma base de dados das localidades digitalizada. Assim o levantamento prévio de viabilidades pode ser muito mais rápido e garante um bom conhecimento da região que está sendo estudada.

Após o levantamento das inviabilidades, o projetista deve solucionar cada caso. Sempre atentando para as estações em série com o enlace que será alterado, pois o equipamento deste deverá suportar o tráfego adicional, vindo das estações coletadas.

Seguindo todos esses passos, assegura-se que o projeto da rede de acesso será desenvolvido adequadamente. Tem-se um bom embasamento de projeto, uma

vez que foram levantadas todas as necessidades e condições de contorno. O projetista deve ter claro tanto as necessidades atuais como o ritmo de expansão dos usuários, assegurando-se que a capacidade da rede não irá se esgotar antes do ciclo de vida previsto para o projeto em questão.

6 COMENTÁRIOS FINAIS

6.1 Conclusões

Com o projeto da rede de acesso proposto, chegou-se a um método, que pode facilitar as áreas responsáveis pelo Planejamento de Transmissão das Empresas. O projetista define as distâncias máximas dos enlaces, bem como o carregamento das torres e traça sobre suas estações os círculos de área de cobertura. Com esta metodologia, o projeto fica simplificado, pois não é necessário calcular confiabilidade de cada enlace. Esta é garantida uma vez que as estações coletadas estão dentro da área de cobertura.

Com o método proposto, aplicado à rede existente da Telefônica Celular, obteve-se uma grande organização no que diz respeito aos projetos de rede de acesso. Obteve-se uma aproximação dos custos necessários para implantação da rede, bem como os pontos críticos para coleta de estações.

Quanto à confiabilidade do projeto, já se sabe que, a partir do nível hierárquico cinco, será necessário um estudo posterior a fim de solucionar a baixa confiabilidade das estações, que estão passando por muitos enlaces em série até chegar à coletora primária. No que diz respeito às demais estações, abaixo desse nível, a confiabilidade está dentro dos padrões da Empresa.

O projeto trouxe um grande aprendizado na área. Cada projeto de rádio enlace leva em conta os círculos de área de cobertura, a fim de solucionar a seleção dos diferentes rádios disponíveis. Além disso, os projetos de grande porte, como o

proposto, sempre envolvem grande esforço dos Recursos Humanos, envolvendo todos os projetistas da área de rádio.

Essa dissertação abordou o desenvolvimento de uma metodologia a ser empregada no momento de projetos de redes de acesso, estabelecendo um modelo de projeto, elaborado a partir do estudo do anel óptico norte da Telefônica Celular.

Foi apresentada uma revisão bibliográfica, versando sobre a tecnologia aplicada, transmissão via microondas, confiabilidade e redes de acesso. Além disso, a revisão bibliográfica visou descrever os entendimentos dos fabricantes e fornecedores de equipamentos e soluções para as redes de acesso modernas. Ao longo da revisão bibliográfica, todavia, não foram encontradas as soluções mais indicadas, bem como sua implementação em um projeto, conforme apresentado no presente trabalho.

No terceiro capítulo, apresentou-se o estudo teórico, baseado nas diferentes configurações encontradas no mercado. Cada configuração foi analisada, nos aspectos de transmissão, confiabilidade e custo, a fim de apresentar um modelo básico que permita a expansão em uma rede.

Após a definição da melhor configuração, houve sua expansão para toda a rede, em um estudo prático. O estudo prático baseou-se na aplicação da configuração básica à rede existente da Telefônica Celular. A rede da Empresa já apresenta estações instaladas, fato que torna o projeto de expansão da configuração básica uma busca por um desenho ideal de rede. Esse desenho é chamado de ideal, pois ainda sofrerá alterações, uma vez que algumas estações já estão instaladas e podem apresentar enlaces inviáveis.

O estudo dos enlaces inviáveis faz parte do Capítulo 4, que trata das inviabilidades que podem aparecer no momento de instalação. Ao tratar-se das inviabilidades, chega-se ao desenho ótimo da rede. O desenho ótimo da rede é o modelo que deve ser implementado, na prática, para acessar todas as estações da rede.

Durante o trabalho, apresentou-se uma nova abordagem para o projeto de redes. Essa abordagem parte de um estudo teórico de soluções para redes de acesso, seguido da expansão do modelo para toda a amplitude de uma área a ser coberta. A abordagem segue estudando a viabilidade dos enlaces sugeridos. Então, são feitas correções, buscando a configuração ótima. Essa configuração que apresenta o menor custo, com a maior confiabilidade possível para os enlaces.

A metodologia proposta confere maior organização nos setores de planejamento, uma vez que se estrutura uma rede de acesso, a partir de um modelo básico. Este, ao ser expandido, dota a rede de uma identidade. As facilidades de projetos futuros sobre a planta serão evidenciadas ao conhecer-se o modelo básico sobre o qual ela fora projetada.

Além de ganhos associados à clareza da topologia da rede, também há vantagens do ponto de vista da confiabilidade, uma vez que os enlaces serão projetados para obter-se o máximo de confiabilidade possível dos equipamentos. Através de um projeto organizado, com uma metodologia sendo seguida, chega-se também à redução de custos. Na medida em que o equipamento adquirido é mais bem utilizado, evitam-se desperdícios.

6.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

As empresas de telecomunicações estão em grande auge na economia brasileira e mundial. Como tal, devem ser alvo de pesquisas acadêmicas. É importante desenvolver métodos para projetos de grande porte, métodos que assegurem menor tempo de desenvolvimento e maior competitividade à organização.

Uma primeira sugestão de pesquisa seria o estudo de abordagens para o planejamento da transmissão, para que se possa unir as duas etapas de planejamento. Atualmente, encontram-se separados, em muitas empresas, o planejamento de cobertura celular e o planejamento de transmissão.

Uma segunda sugestão seria realizar estudos técnicos para apresentar soluções ponto-multiponto de alta capacidade. Assim, torna-se viável a instalação de apenas uma antena em uma torre, coletando estações vizinhas. Esse estudo iria possibilitar o acesso de várias estações na mesma torre, pois eliminaria a limitação imposta pelo carregamento.

Uma terceira sugestão seria aplicar a abordagem utilizada nesta dissertação em outras redes de acesso. Empresas de telecomunicação estão em fase de expansão e podem utilizar esse método para ampliar suas redes. Diferente do que foi mostrado neste trabalho, a rede de acesso poderia ser planejada juntamente com o planejamento celular, que cuida apenas da cobertura celular. Nesse caso, não haveria estações existentes para coleta, deixando que o planejamento de transmissão escolha os pontos estratégicos para formar a rede de acesso.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALA Jr., H. **Sistemas de Telecomunicações**. Apostila da disciplina de Sistemas de Telecomunicações do Treinamento para Profissionais da Anatel. Vol. II. Brasília, 1999. p. 11.39-11.65.

BLEICHER, D. **A guide to Access Networks**. United Kingdom, Nortel Networks 1999. p. 9-32.

CARVALHO, P. **Sistemas de Telecomunicações**. Apostila da disciplina de Sistemas de Telecomunicações do Treinamento para Profissionais da Anatel. Vol. I. Brasília, 2000. p. 4.1-4.27.

FAGUNDES, B. **Sistemas de Telecomunicações**. Apostila da disciplina de Sistemas de Telecomunicações do Treinamento para Profissionais da Anatel. Vol. II. Brasília, 1999. p. 8.39-8.60.

ITU – Recomendações do International Telecommunications Unit. ITU-R. Geneva, 1990. p. 530-7.

LAINÉ, R.U. **Microwave Digital Radio Transmission Seminar**. Califórnia: Harris Farinon, 1995. p. 30-48.

MANNING, T. **Microwave Transmission Design Guide**. Boston: Artech House, 1999. p. 89-117, 177-201.

MATEUS, G. "Projeto de Redes de Acesso: Uma Heurística Lagrangeana". In: 13º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES. **Anais**, V. 1. Campinas/SP, 1995. p. 198.

MOREIRA, I; COSTA, R. **Espaço e Sociedade no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Mercado Aberto, 1986. p. 35-36.

QUAGLIA, E. "O Enfeixamento no Planejamento da Transmissão: Um Estudo de Caso". In: 13º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES. **Anais**, V. 2. Campinas/SP, 1995. p. 458-460.

RAMALHO, G. **CMS 8800 System Survey**. Apostila do curso de System Survey da Ericsson do Brasil. Campinas: Ericsson do Brasil, 1999. Sem paginação.

REVISTA INFO EXAME. As 200 Maiores Empresas de Tecnologia do Brasil. São Paulo: Editora Abril, agosto de 2000. Edição Especial.

RIBEIRO, J; FOGLIATTO, F. **Material de Suporte Confiabilidade**. Apostila da disciplina do curso de Mestrado Profissional em Qualidade e Desenvolvimento de Produtos e Processos. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999. Sem paginação.

RIO GRANDE DO SUL: Mapa Digitalizado. Porto Alegre: Setor de Informática do Palácio Piratini, 2000.

RUSHEL, O. **Redes de Transmissão Digital**. Apostila da disciplina de Transmissão Digital do curso de Pós-graduação em Telecomunicações. Porto Alegre: PUCRS, 2000. p. 39-49.

SILVA, A. **Sistemas de Telecomunicações**. Apostila da disciplina de Sistemas de Telecomunicações do Treinamento para Profissionais da Anatel. Vol. I. Brasília, 2000. p. 1.8-1.10.

SILVA, F.C. **Sistemas de Telecomunicações**. Apostila da disciplina Propagação do Treinamento para Profissionais da Anatel. Brasília, 2000. Sem paginação.

SILVA, M. **Critérios para projetos de enlaces em microondas**. Apostila da disciplina de Transmissão do curso de Pós-graduação em Telecomunicações. Porto Alegre: PUCRS, 1999. Sem paginação.

SOARES, A. **Sistemas de Telecomunicações**. Apostila da disciplina de Sistemas de Telecomunicações do treinamento para profissionais da Anatel. Vol. II. Brasília, 1999. p. 8.1-8.35.

SOUZA, M. "Planejamento da Rede de Acesso Orientado à Maximização de Receitas". In: 17º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES. **Anais**. Vitória/ES, 1999. p. 389.

TELEFÔNICA CELULAR. Disponível em: <www.telefonicacelular-rs.net.br/frameset-interno.asp?/institucional>. Acesso durante o período de desenvolvimento do trabalho.

YACOUB, M. "Rede Local Sem Fio: Considerações Sobre o Projeto de Uma Plataforma de Acesso". In: 13º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES. **Anais**, V. 2. Campinas/SP, 1995. p. 577-579.