

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES

MARCIA REGINA STANKIWICH

**SOLUÇÃO PARA ATENDIMENTO DE SINAL DE OPERADORA
MÓVEL EM LOCAIS SEM COBERTURA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2016

MARCIA REGINA STANKIWICH

**SOLUÇÃO PARA ATENDIMENTO DE SINAL DE OPERADORA
MÓVEL EM LOCAIS SEM COBERTURA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações, do Departamento Acadêmico de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Alexandre Jorge Miziara

Coorientadora: Prof. Jamea C.B.S. Franklin

CURITIBA
2016

TERMO DE APROVAÇÃO

MARCIA REGINA STANKIWICH

SOLUÇÃO PARA ATENDIMENTO DE SINAL DE OPERADORA MÓVEL EM LOCAIS SEM COBERTURA

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado no dia 17 de agosto de 2016, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Sistemas de Telecomunicações, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas
Coordenador de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrônica

Prof. Msc. Esp. Sérgio Moribe
Responsável pela Atividade de Trabalho de Conclusão de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrônica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr Kleber Nabas
UTFPR

Prof. Msc. Alexandre Jorge Miziara
Orientador - UTFPR

Prof. Dra. Jamea Cristina Batista Silva Franklin
Coorientadora - UTFPR

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

AGRADECIMENTOS

Aos meus colegas no âmbito profissional e acadêmico que mesmo em conversas rápidas ajudaram a instigar o meu interesse no tema da pesquisa.

A minha mãe Cristina Stankiwich e meu filho Miguel Luiz Stankiwich, ela por ser a melhor mãe em todos os momentos, inclusive no período de estudos intermináveis, e ele por ser minha inspiração diária mesmo sem ainda saber disso.

Ao meu orientador Alexandre Jorge Miziara e minha co-orientadora Jamea Cristina Baptista Franklin, que tiveram tanta paciência ao longo de todo o desenvolvimento deste estudo.

A todos os demais professores e coordenadores do Curso de Tecnólogo em Sistemas de Telecomunicações da UTFPR de Curitiba, por terem feito parte da minha formação.

E finalmente a Deus por me proporcionar tudo o que eu tenho e tudo o que eu sou.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que eu era antes”.

Martin Luther King

RESUMO

STANKIWICH, Marcia Regina. **Solução para atendimento de sinal de operadora móvel em locais sem cobertura**. 2016. 50f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

Este trabalho tem como propósito o estudo de caso de uma localidade sem cobertura de sinal móvel celular, contendo após a ampliação do referido Campus Universitário uma grande densidade de usuários que circularão pelo complexo. Cabe a este estudo a análise das tecnologias possíveis a serem implantadas para sanar este problema, a elucidação sobre o que a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) recomenda a despeito de áreas em situações similares, e discorre sobre quem é o responsável pela disponibilidade da cobertura móvel.

Palavras chave: Cobertura móvel celular. Comparação de Tecnologia. Operadora.

ABSTRACT

STANKIWICH, Marcia Regina. **Solution for mobile service carrier signal in places without coverage**. 2016. 50f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

This work has the purpose of case study of a location without cellular signal coverage, containing after expansion of said Campus a high density of users who circulate through the complex. It is up to this study the analysis of the possible technologies to be deployed to remedy this problem, the elucidation of what the National Telecommunications Agency (ANATEL) recommends despite areas in similar situations, and discusses the responsibility of mobile coverage.

Keywords: cellular coverage. Comparison of Technology. Carrier.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Revisão da Lei Geral das Telecomunicações | 16 |
| Figura 2 - Evolução das trajetórias tecnológicas de telefonia móvel | 18 |
| Figura 3 – Rede RTPC - Central da rede de telefonia fixa e celular..... | 22 |
| Figura 4 – Arquitetura da rede NGN..... | 23 |
| Figura 5 – Rede de telefonia móvel e células de atendimento | 24 |
| Figura 6 – Antenas Ominidirecionais e Setorizadas | 25 |
| Figura 7 – Classificação e distribuição de células | 26 |
| Figura 8 - Current Telecommunications Hierarchy | 34 |
| Figura 9 – Configuração de Rede Local sem fio | 35 |
| Figura 10 - Conceituação de Small Cells | 36 |
| Figura 11 - Estrutura do DAS Passivo..... | 37 |
| Figura 12 - Estrutura do DAS Ativo | 38 |
| Figura 13 – Área destinada ao futuro Campus do local X | 40 |
| Figura 14 – Consulta de ERB’s na Anatel..... | 40 |
| Figura 15 - Telebrasil – mapa de ERB’s | 41 |
| Figura 16 - Imagem de consulta do aplicativo “Anatel Serviço móvel” | 42 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

| | |
|--------|---|
| 1G | Tecnologia de primeira geração |
| 2G | Tecnologia de segunda geração |
| 3G | Tecnologia de terceira geração |
| 4G | Tecnologia de quarta geração |
| AMPS | Advanced Mobile Phone System |
| ANATEL | Agência Nacional de Telecomunicações |
| CCC | Central de Comutação e Controle |
| CDMA | Code Division Multiple Access |
| DAS | Distributed Antenna System |
| DSL | Digital Subscriber Line |
| EDGE | Enhanced Data Rates For GSM Evolution |
| ERB | Estação Rádio Base |
| GRPS | General packet radio service |
| GSM | Global System for Mobile Communications |
| HSPA | High Speed Packet Access |
| HSPA+ | Evolved HSPA |
| IMS | IP multimedia sub-system |
| IP | Internet Protocol |
| LTE | Long Term Evolution |
| NGN | Next Generation Network |
| PSTN | Public Switched Telephone Network |
| RF | Radio Frequência |
| RTP | Rede de Telefonia Pública |
| SCT | Serviço Convergente de Telecomunicações |
| SIM | Subscriber Identify Module |
| SMC | Serviço Móvel Celular |
| SME | Serviço Móvel Especializado |
| SMP | Serviço Móvel Pessoal |
| SMS | Short Message Services |
| STFC | Serviço Telefônico Fixo Comutado |
| TCU | Tribunal de Contas da União |
| TDMA | Time Division Multiple Access |
| UIT | União Internacional de Telecomunicação |
| VoIP | Voz sobre IP |
| W-CDMA | Wide-Band Code-Division Multiple Access |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 10 |
| 1.1 | TEMA | 11 |
| 1.2 | DELIMITAÇÃO DO ESTUDO | 11 |
| 1.3 | PROBLEMA | 11 |
| 1.4 | OBJETIVOS | 12 |
| 1.4.1 | Objetivo Geral | 12 |
| 1.4.2 | Objetivos Específicos | 12 |
| 1.5 | JUSTIFICATIVA | 12 |
| 1.6 | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS | 13 |
| 1.7 | ESTRUTURA DO TRABALHO | 13 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 15 |
| 2.1 | AS TECNOLOGIAS DE TELEFONIA MÓVEL | 17 |
| 2.2 | O USO DE FIBRA OPTICA NA REDE DE COMUNICAÇÕES MÓVEIS | 21 |
| 2.3 | EVOLUÇÃO DA ARQUITETURA DAS REDES MÓVEIS | 22 |
| 2.4 | CLASSIFICAÇÃO DAS CÉLULAS | 25 |
| 2.4.1 | Macro células | 27 |
| 2.4.2 | Micro células | 27 |
| 2.4.3 | Pico células | 28 |
| 2.5 | AS REGULAMENTAÇÕES DA ANATEL SOBRE O AUMENTO E IMPLANTAÇÃO DAS ERB'S | 29 |
| 2.6 | OUTRAS SOLUÇÕES ALÉM DA ADIÇÃO DE ERB'S | 33 |
| 2.6.1 | Central Classe 5 | 33 |
| 2.6.2 | <i>Wifi</i> | 35 |
| 2.6.3 | <i>Small Cells</i> | 36 |
| 2.6.4 | <i>Distributed Antenna System</i> | 37 |
| 2.6.4.1 | Sistemas Passivos | 37 |
| 2.6.4.2 | Sistemas ativos | 38 |
| 2.6.4.3 | Soluções mistas | 38 |
| 2.6.4.4 | Equipamentos utilizados | 39 |
| 3 | O LOCAL "X" – AMPLIAÇÃO DO CAMPUS UNIVERSITÁRIO | 40 |
| 3.1 | CONDIÇÕES PARA FALTA DE COBERTURA | 43 |
| 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 44 |
| | REFERÊNCIAS | 46 |

1 INTRODUÇÃO

Com o exponencial aumento do tráfego de redes móveis e com as diversas tecnologias existentes no mercado hoje em dia, os usuários exigem um nível alto e eficiente de conectividade. Este uso não prevê falhas, interrupção, ou ausência de sinal. Todos esperam que a operadora esteja presente independentemente do local.

As redes móveis são usadas exatamente quando se pensa em mobilidade. O usuário vai transitar e se mover transpassando todas as regiões de células hexagonais. Além do fato da mobilidade, o usuário espera o mais alto nível de exigência em sua transmissão de dados. Ele não quer usar apenas voz, mas sim postar uma foto nas redes sociais, enviar um e-mail em seu provedor corporativo, ou mesmo fazer uma vídeo chamada, e tudo isso pode ser feito com sinal GSM (*Global System for Mobile Communications*), 3G (Tecnologias de terceira geração móvel) ou mesmo o recente 4G (Tecnologias de quarta geração móvel), implantado no Brasil.

Mesmo diante de toda a expectativa de usabilidade dos usuários de redes móveis, ainda existem locais com cobertura deficiente, e isto pode ocorrer porque a antena macro da operadora, normalmente instalada no topo de edifícios ou mastros, para garantir uma cobertura de rede mais abrangente, não consegue alcançar os níveis de intensidade de sinal exigidos para a prestação do serviço com qualidade e bom desempenho. Essa ocorrência de sinal inexistente pode ocorrer porque se trata de um local distante dos grandes centros e ainda sem densidade demográfica atualmente, e sendo assim cabe uma investigação de oportunidade de negócio onde o investidor deixaria de ser a operadora e sim o proprietário do futuro empreendimento.

Tais fatores motivaram a proposição do presente projeto de pesquisa a fim de analisar a validade de um investimento em tecnologia advinda do proprietário da empresa a ser implantada em local sem demanda de sinal de operadora.

1.1 TEMA

Diante da nova demanda demográfica numa região onde hoje a população é inexistente, torna-se necessário o estudo de cobertura móvel celular para que atenda a toda a população que estará presente com o término de uma obra de ampliação de um futuro campus universitário.

De acordo com o manual das melhores práticas da SINDITELEBRASIL (2003, p. 6):

“A evolução das redes móveis no Brasil, com a crescente demanda pelos serviços móveis e o advento de novas tecnologias, como as de terceira (3G) e quarta (4G) gerações, exige sua contínua expansão, de modo a garantir serviços seguros, confiáveis e de elevada qualidade aos seus usuários. Como consequência direta dessa expansão tem-se a necessidade do aumento na quantidade de Estações Rádio Base (ERBs) a serem instaladas”.

Sendo assim este documento terá como foco estudar se somente o aumento de ERB's conseguirá atender à área ampliada, hoje sem cobertura móvel celular, ou se existem outras tecnologias que poderão ser implantadas com melhor eficiência nesta região do estudo de caso.

1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

O objeto desta proposta de pesquisa é o fornecimento de sinal móvel em um local próximo à fronteira com outros países e o local encontra-se com obras em fase de construção ainda e, portanto, sem circulação massiva de pessoas, pois o local a ser mostrado como estudo de caso, doravante denominado de “Local X” não possui hoje sinais com intensidades alta suficiente para satisfazer a conexão GSM, 3G ou mesmo 4G de todos os usuários que circularão pelo complexo.

1.3 PROBLEMA

Em decorrência da alta demanda e altos níveis de usabilidade de serviços de redes móveis, torna-se primordial que o sinal das operadoras ocupe áreas de grande circulação sem obstrução ou falhas, e principalmente que não haja ausência desta cobertura. Com este cenário proposto tem-se um grande problema a ser resolvido: Quais tecnologias devem ser propostas diante dessa situação?

Perante o exposto, será apresentado um estudo sobre tecnologias possíveis que possam suprir a falta de sinal móvel na localidade X, assim como a visão do órgão regulador, a ANATEL.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Propor soluções para atendimento de sinal de operadora móvel em um local denominado “Local X”, futuro campus universitário.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Estudar o “Local X”, onde não há cobertura de sinal de rede móvel pelas operadoras;
- Elencar as razões deste problema;
- Analisar quais as tecnologias que podem ser utilizadas para resolver a falta de sinal nesse local;
- Descobrir se o cliente final pode ter alguma tecnologia ao seu alcance para sanar o problema, ou se a operadora apenas deve otimizar o alcance do sinal de suas antenas.

1.5 JUSTIFICATIVA

Com a alta demanda das tecnologias móveis, como as conhecidas GSM e 3G e ainda as recentes implementações com o 4G no Brasil, verifica-se que os usuários precisam de toda a capacidade de tráfego possível para a sua conectividade. Em um grande ambiente todos esses usuários vão buscar o sinal das redes móveis. E como geralmente as antenas das operadoras não conseguem atingir os níveis de intensidade necessários para alcançar esses locais com deficiência de cobertura e com grande quantidade de assinantes, há razões para se investigar as tecnologias existentes que possam sanar a ausência do sinal.

Na área e no mercado de tecnologia de telecomunicações existem diversas tecnologias possíveis que podem resolver a ausência de sinal móvel, algumas

necessitam de investimento do cliente final e outras são de responsabilidade da operadora local. Este estudo apresentará algumas soluções em prol da resolução do problema.

1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Primeiramente, através de uma análise bibliográfica, é realizado um estudo das áreas com deficiência de cobertura de redes móveis. Com o intuito de exemplificar de forma mais realista, um caso de estudo em local de ampliação de um Campus Universitário será apresentado e analisado como conclusão de estudo serão sugeridas tecnologias possíveis para mitigar o problema de deficiência de sinal.

Nesse caso de estudo não serão divulgadas informações como o nome da Universidade, ou o nome dos fabricantes, bem como dos integradores responsáveis pela confecção do projeto executivo, visando assim preservar as informações confidenciais de projeto a ser implantado entre as partes.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado da seguinte forma:

Capítulo 1 - Introdução: serão apresentados o tema, as delimitações da pesquisa, o problema e a premissa, os objetivos da pesquisa, a justificativa, os procedimentos metodológicos, as indicações para o embasamento teórico, e a estrutura geral do trabalho.

Capítulo 2 – Fundamentação Teórica:

Tecnologias móveis: será abordado a evolução das tecnologias da rede móvel celular até os dias de hoje.

Arquitetura das Redes e das ERB's: será abordado, com base nas melhores práticas e de um ponto de vista conceitual qual a estrutura que as operadoras usam para prover sinal aos seus clientes.

Classificação das células: Serão apresentados os tipos de células de acordo com o seu alcance.

As regulamentações da ANATEL sobre aumento e implantação das ERB's: Será abordado o ponto de vista regulamentatório a despeito da adição de antenas em face a maior demanda de usuários.

Outras tecnologias além da adição de ERB's: Neste tópico apresentam-se três tecnologias que podem sanar a falha de sinal móvel no local "X", sendo elas: Central classe 5, *Small Cells* e *Distributed Antenna System*.

Capítulo 3 – O caso de estudo: Ampliação do Campus Universitário – O local "X": Será mostrado o local a ser ampliado com dados básicos de área e localização das ERB's mais próximas.

Capítulo 4 – Considerações finais: serão retomados a pergunta de pesquisa e os seus objetivos e apontado como foram solucionados, respondidos, atingidos, por meio do trabalho realizado. Além disto, serão sugeridos trabalhos futuros que poderiam ser realizados a partir do estudo realizado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para fundamentar o estudo de caso no local X, tomou-se por pressuposto que a alta demanda que passará a ser existente no novo complexo universitário causará a necessidade de novos estudos de densidade na região. A Anatel já há muito tempo fiscaliza a obrigatoriedade das operadoras de atenderem a todas as regiões e não somente as de alta densidade demográfica ou de alta lucratividade. Isso se justifica devido à tendência deste segmento em concentrar suas atividades e investimentos em áreas mais rentáveis do ponto de vista econômico, como grandes centros urbanos, deixando de lado vilarejos distantes, zonas rurais e regiões isoladas que possuem baixo índice de adensamento populacional (e conseqüentemente, baixo potencial de consumidores) e requerem maiores investimentos em infraestrutura. (ANACON, 2014).

Conforme a União Internacional de Telecomunicações (UIT), o serviço universal no setor das comunicações foi inicialmente uma obrigação imposta ao monopólio de empresas operadoras de telefonia, exigindo que expandissem a cobertura para prestar serviços em regiões remotas e não atendidas. (ICT, 2004)

Ainda segundo a ANACON (2014), o serviço universal consiste na disponibilização de um conjunto mínimo de serviços, definido na lei, de qualidade especificada, que devem ser disponibilizados a todos os utilizadores, independentemente da sua localização geográfica e a um preço acessível.

BLACKMAN e SRIVASTAVA (2011) apontam que duas ênfases vêm sendo adotadas para se referir a esta noção:

- “Serviço universal”, que se refere à meta de que todo indivíduo ou toda residência tenha o serviço disponível para o uso privativo (como possibilidade de contratar o serviço de banda larga em todos os lares; de dispor do sinal de telefonia em todas as áreas etc.) e;
- “Acesso universal”, que se refere à disponibilidade do acesso para qualquer cidadão, através de ambientes públicos, comunitários ou centros coletivos de acesso (como quiosques, telecentros e redes sem fio abertas).

Para lidar com uma concepção mais completa os autores preferem unificar ambos os sentidos e falar em Serviço e Acesso Universal, que teria como base três premissas:

- Ser disponível (o serviço deve estar apto a ser ofertado em áreas urbanas, rurais, remotas e outras pouco habitadas através de diversos meios: pessoais, comunitários ou públicos);
- Ser acessível (todos os cidadãos podem usar o serviço, independentemente da sua localização, gênero, condição física e outras características pessoais);
- Ser adquirível (os cidadãos são capazes de comprar ou obter o serviço e o acesso a preço justo e viável).

Ao mesmo tempo, países como Japão e Coreia têm dado ênfase também a uma quarta dimensão chamada de ubiquidade: significa que todo cidadão deve poder acessar a Internet banda larga em qualquer lugar, a qualquer tempo, utilizando qualquer aparelho de sua preferência (KLEINROCK, 2003; PEPPER et al, 2009).

No Brasil, no entanto, segundo a reportagem de Globo (2016), vive-se um panorama de mudança (vide figura 1) e revisão na Lei Geral das Telecomunicações e conforme a Anatel (2016) uma das alterações seria exatamente a liberação do Fundo de Universalização e a criação de um novo serviço:

| Revisão da Lei Geral das Telecomunicações | | |
|---|--|---|
| Ponto avaliado | Como é | Como deve ficar |
| Serviço prioritário | Telefonia fixa | Banda larga |
| Regime de contrato | Concessões (regime público) | Autorizações (regime privado) |
| Metas | Há metas de universalização do serviço | Deixam de existir regras de universalização, mas há regras de implantação mais rígidas a depender da região do país |
| Preços | São regulados | São livres |
| Bens reversíveis | Ao final da concessão, os bens da União voltam para o Estado | Os bens ficam com as empresas, mas é feito um cálculo para saber o "saldo devedor"; esse valor deve ser investido pela empresa em banda larga |

Figura 1 - Revisão da Lei Geral das Telecomunicações
Fonte: Globo, 2016.

O Serviço Convergente de Telecomunicações (SCT), que seria a transição natural do STFC (Serviço Telefônico Fixo Comutado), do SMP (Serviço Móvel Pessoal), do SME (Serviço Móvel Especializado) e do SCM (Serviço Móvel Celular), endereçando assim questões relativas à atualidade da exploração dos serviços de interesse coletivo, resolvendo barreiras, preenchendo lacunas e sanando anacronismos do arcabouço regulatório. Prestado exclusivamente no regime privado, incorporará ao regulamento um serviço de interesse coletivo preparado para o paradigma de convergência de redes e serviços de telecomunicações, aliada à baixa carga regulatória diretamente imposta, permitindo grandes avanços para o setor de Telecomunicações.

O SCT prevê duas modalidades: Fixo e Móvel. Atualmente, o serviço fixo, seja em termos de acessos individuais, quanto de acessos coletivos, já é bastante abrangente em todo o País, restando apenas pontos isolados, especialmente em áreas onde a atratividade dos serviços de telecomunicações é muito baixa, seja pela grande dispersão da população, seja pela sua baixa renda. E a modalidade móvel viria a atender no sentido de desobrigar as exigências de universalização onde houver disponibilidade de rede de acesso móvel na localidade. (ANATEL, 2016).

Diversas tecnologias têm sido desenvolvidas e evoluíram para possibilitar o acesso às redes e todas elas, cada qual com sua peculiaridade, sustentam vantagens e desvantagens, embora apontem para uma mesma finalidade: ampliar a inclusão digital e melhorar a qualidade do serviço.

Um dos conceitos que acompanham a constante evolução das tecnologias e a diversidade inerente as soluções são as Redes Heterogêneas, também chamadas de “*Hetnet*” e tem por objetivo unir várias tecnologias, arquiteturas e soluções e ainda segundo o site do fabricante Ericsson. (2011), são consideradas um meio atrativo de expandir a capacidade de uma rede móvel.

2.1 AS TECNOLOGIAS DE TELEFONIA MÓVEL

Conforme a pesquisa de ANSARI e GARUD (2009), a figura 2 apresenta as trajetórias tecnológicas de telecomunicações, e as possibilidades de uso ligadas a cada padrão tecnológico, medidas pela velocidade de transmissão das redes de telefonia (Kbps). Sendo assim é possível distinguir dois tipos de tecnologias de acordo com a maneira pela qual os sinais são transmitidos: analógica e digital. A principal

descontinuidade observada nas trajetórias é a passagem do padrão analógico (1G) para o digital (2G), que se deu de maneira completa em um período pouco superior a vinte anos.

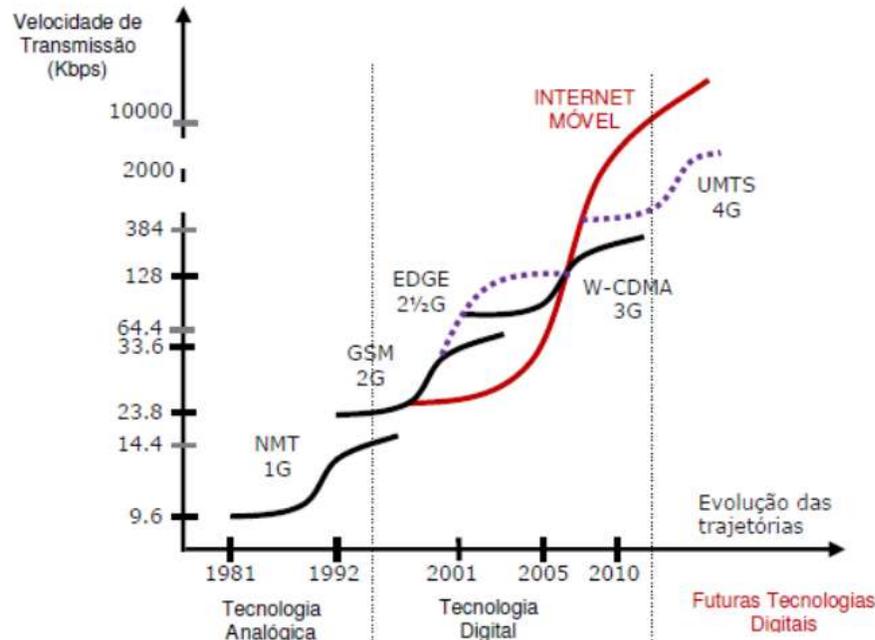


Figura 2 - Evolução das trajetórias tecnológicas de telefonia móvel
Fonte: Ansari e Garud, 2009

Os sistemas analógicos são ondas de rádio que variam em frequência e amplitude. Já os sinais digitais consistem em uma sequência de pulsos descontínuos que correspondem aos bits digitais utilizados em computadores. Esses sinais são divididos em pacotes que são transmitidos simultaneamente a outras conversas (multiplexação). Este processo permite uma utilização mais eficiente do espectro, melhorando assim a sua capacidade. A tecnologia digital não só melhora a capacidade de transmissão, como possui outras vantagens, como:

- Protege a integridade da comunicação, pois os pulsos são mais facilmente regenerados por computadores;
- Uma transmissão de alta integridade permite que operadoras de telefonia celular ofereçam uma gama crescente de novos serviços de dados (por exemplo, SMS (*Short Message Services*));
- A tecnologia digital garante privacidade, pois os sinais digitais não podem ser interceptados.

Dessa forma, originalmente, os telefones celulares surgiram como dispositivos para conversação por voz, exclusivamente. Porém, com o avanço da tecnologia e a evolução das gerações da telefonia celular (ver Tabela 1), esses dispositivos adquiriram também capacidade de processamento e comunicação através da integração da rede celular com rede de dados, em especial a Internet.

| Geração | 1G | 2G | 2.X G | 3G | 4G |
|------------------------|--|---|---------------------------------------|-------------------------------------|---|
| | Transmissão de Dados Analógicos (AMPS) | Transmissão digital de dados (TDMA, CDMA e GSM) | Disponibilização de aplicações pré-3G | Evolução CDMA e GSM | Elevação das taxas de transmissão de dados |
| Características | Taxas de 9600bps | Taxas de 9600bps à 14400bps | | Taxas de até 2Mbps | Tecnologias e aplicações ainda em discussão |
| | | Surgimento de aplicações WAP | | Surgimento de aplicações multimídia | |

Tabela 1 – Gerações da Telefonia celular.
Fonte: Adaptação de Figueiredo. 2003, página 19.

Segundo TAKEDA (2013, p.15):

“ Cada geração da comunicação móvel é baseada na tecnologia vigente que tem como características progressivas a capacidade do uso do espectro e velocidade de transmissão de dados”.

Sendo assim as tecnologias móveis celulares são divididas em:

1G (Tecnologia de primeira geração): foi o primeiro sistema que entrou em operação e utilizou a tecnologia AMPS (Advanced Mobile Phone System), voltada apenas para a transmissão da voz no modo analógico, pouco usada no Brasil, já que popularização do terminal móvel no país começou no início dos anos 90.

2G (Tecnologia de segunda geração): Nesta fase foi utilizada a tecnologia TDMA (Time Division Multiple Access), utilizada a partir dos anos 90 com o uso das frequências de 800Mhz e 1900Mhz.

Ainda nesta geração surgiram as tecnologias GSM, que revolucionaram com o início da criptografia e dos cartões SIM (Subscriber Identity Module). E também a CDMA (Code Division Multiple Access), voltada para banda larga.

2,5G (Tecnologia intermediária entre a segunda e terceira geração), utilizou o GRPS (General packet radio service) e o EDGE (Enhanced Data Rates For GSM Evolution), com 170Kbps e 473Kbps, respectivamente.

*3G (Tecnologia de terceira geração): teve como precursores: W-CDMA (Wide-Band Code-Division Multiple Access) – com 2Mbps de velocidade
HSPA (High Speed Packet Access) – É a evolução do GRPS e do EDGE, utilizando taxas de velocidade de até 7.2Mbps.
HSPA+ (Evolved HSPA) - Possibilita o Voip (Voz sobre IP) e tem taxas de até 168Mbps.
4G (Tecnologia de quarta geração), utiliza o LTE (Long Term Evolution), que alcança até 300Mbps de velocidade. O 4G ainda promete uma nova tecnologia, o LTE Advanced, com taxas de até 1Gbps.”*

Segundo o site Teleco, a Anatel realizou em 2012 uma licitação de frequências em 2500 MHz para a implantação de redes 4G. As empresas que adquiriram estas frequências foram: Vivo, Tim, Claro, Oi, Sky e Sunrise. (TELECO, 2015)

A faixa de frequência em 2500 MHz é utilizada pelas operadoras no Brasil para oferecer banda larga móvel 4G (LTE) e banda larga fixa 4G (LTE).

Ainda conforme o mesmo site na página sobre Frequências e Licitações, em setembro de 2014 a Anatel licitou a faixa de frequência de 700 MHz para a implantação de 4G, que será liberada com o fim da transição da TV Aberta analógica para a TV aberta digital. As empresas que adquiriram estas frequências foram: Vivo, Tim, Claro e Algar. As frequências poderão ser utilizadas somente após 12 meses do desligamento da TV analógica, conforme cronograma definido pela Portaria nº 477/2014, do Ministério das Comunicações.

Segundo Braga (2013, s.p.) um dos principais motivos pela disputa por esta faixa é que, “frequências mais baixas conseguem maior alcance em ambientes fechados, de forma que as operadoras precisariam utilizar menos antenas para cobrir grandes áreas”.

Por outro lado, Albini declara que a tecnologia LTE proporciona uma rede de dados mais rápida e estável devido à priorização de dados, enquanto que a GSM e a WCDMA priorizavam o tráfego de voz. Além disso, a rede 4G permite uma maior quantidade de usuários na rede. Em 5 MHz de espectro permite até 200 acessos simultâneos, quase o dobro das redes 3G. Ele salienta ainda que no Brasil, as redes 4G são operadas por enquanto na faixa de frequência de 2,5GHz, porém, a cobertura nesta frequência é menor e mais cara, pois necessita de mais antenas. Além disso, os aparelhos produzidos nos Estados Unidos e Europa não funcionam no Brasil, pois estes aparelhos só funcionam na frequência de 700MHz. Em breve esta faixa será

liberada para as redes 4G (entre o ano de 2016 e 2018), aumentando o alcance das suas antenas. (ALBINI, [entre 1998 e 2008]).

2.2 O USO DE FIBRA OPTICA NA REDE DE COMUNICAÇÕES MÓVEIS

Segundo o site TELECO (2011) a integração de serviços em uma única rede é conhecida como convergência tecnológica e se iniciou com o movimento de uso múltiplo das infraestruturas. O termo convergência tecnológica é usado para designar a tendência de utilização de uma única infraestrutura de tecnologia para prover serviços que, anteriormente, requeriam equipamentos, canais de comunicação, protocolos e padrões independentes. Sendo assim esta convergência permite que o usuário acesse as informações de qualquer lugar e através de qualquer meio de comunicação por uma interface única.

A infraestrutura das Rede de Telecomunicações é normalmente composta pelas centrais telefônicas e de transmissão de dados, os roteadores, os cabos metálicos, fibras ópticas, os sistemas de radiocomunicação, dutos, postes, torres, prédios e demais instalações necessárias. (TELECO. 2011)

A prestação de serviços de telecomunicações em banda larga pode ser realizada com suporte em um conjunto de plataformas tecnológicas. Estas plataformas podem ser a rede de telefonia, utilizando-se a tecnologia DSL (*Digital Subscriber Line*), as redes de TV por assinatura via cabos com a utilização do “*cabe modem*”, sistemas de comunicação móvel na tecnologia de terceira geração (3G), redes específicas com uso de radiofrequências nas tecnologias sem fio, sistemas com uso de satélites de comunicação e utilização de cabos de fibras ópticas para conexão de acesso às dependências dos usuários.

Segundo o site do fabricante Corning:

“Fibra óptica é um filamento altamente transparente de vidro que transmite sinais de luz com baixa atenuação (perda de potência do sinal) a longas distâncias, fornecendo largura de banda praticamente ilimitada. Esta tecnologia permite que os provedores de serviços de telecomunicações enviem voz, dados e vídeo a taxas cada vez maiores”.

Conforme o artigo de Mauricio Higa, gerente de marketing do fabricante Huawei para o site Telesintese:

“A infraestrutura de rede é um dos pilares para a plena utilização da tecnologia LTE. Além da implantação de novas antenas associadas aos equipamentos que compõem as Estações Rádio Base (ERB), faz-se necessária também a expansão da capacidade das redes de transmissão através de soluções com fibra ótica ou micro-ondas para transportar o grande volume esperado de dados entre as ERBs, as centrais telefônicas e outros elementos que compõem uma rede de dados para que as informações (voz, vídeo, etc.) sejam entregues ao usuário final”.

2.3 EVOLUÇÃO DA ARQUITETURA DAS REDES MÓVEIS

Segundo Carmo (2005), a rede de telefonia utilizada para prestar o serviço público de voz é denominada RTPC (Rede Telefônica Pública Comutada) e desenvolveu-se historicamente como uma rede com comutação por circuitos:

“Essa rede é formada por centrais de comutação e sinalização. A sinalização é utilizada para operacionalizar o processo de estabelecimento da chamada telefônica entre o telefone de origem, as centrais de comutação e o telefone de destino. As centrais de comutação são responsáveis pelo estabelecimento efetivo da chamada telefônica. A transformação da tecnologia analógica para digital das centrais de comutação permitiu que suas funções fossem programadas por software, o que possibilitou o surgimento de novos serviços, tais como chamada em espera e conferência”.

Num primeiro momento o modelo clássico de arquitetura era composto por diversas torres (estações rádio base) que seriam responsáveis por atender os usuários de pequenas áreas (células). No caso de deslocamento (*handoff* ou *roaming*), de uma região para outra, o sinal passaria a ser provido por uma torre mais próxima. Um conjunto de células poderia ser controlado por uma única CCC (Central de Comutação e Controle), segundo a Figura 3. (SILVA. 2006).

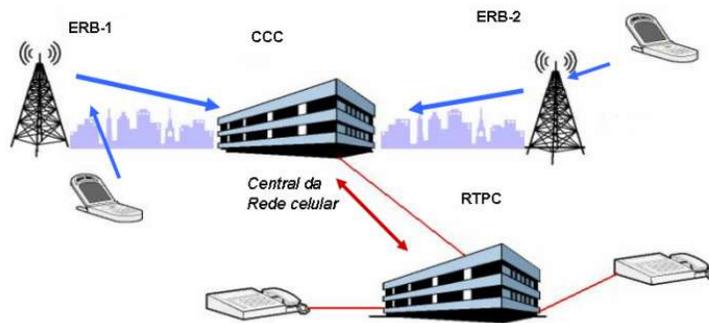


Figura 3 – Rede RTPC - Central da rede de telefonia fixa e celular.
Fonte: Silva 2006. p. 11

Desde a década de 80 o mundo das telecomunicações encontra-se dividido em voz e dados. Esta separação ensejou a busca pela junção desses mundos no sentido de fazê-los convergir. Como resultado desta cruzada na busca da convergência em telecomunicações surge a *Next Generation Network* (NGN) (CARMO, 2005).

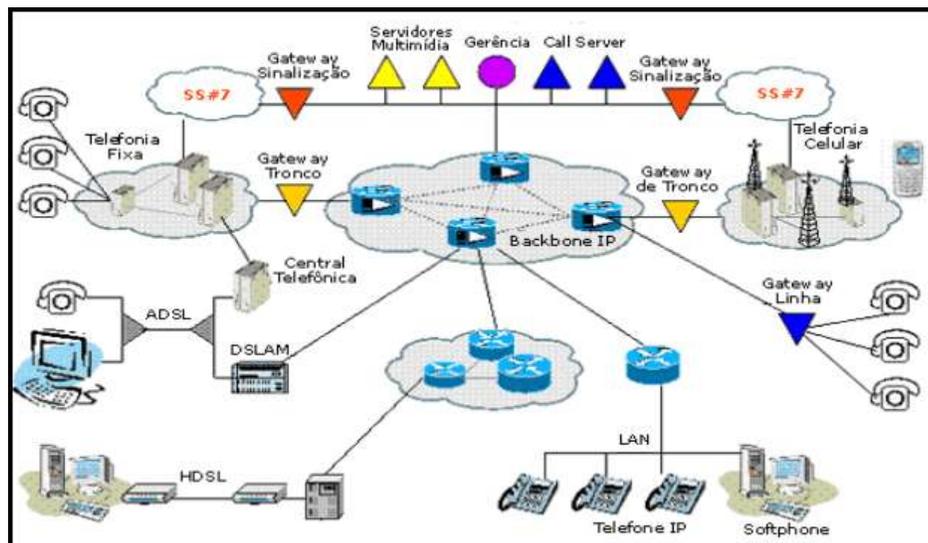


Figura 4 – Arquitetura da rede NGN.
Fonte: Teleco 2008

Neste novo ambiente, o transporte de informações utiliza uma só estrutura de *backbone* e apenas um protocolo básico para a transmissão de informações na rede. Neste modelo o transporte das informações acontece em um ambiente totalmente digital.

Para que se estabeleça uma comunicação, primeiramente há a troca de mensagens de sinalização e depois são enviadas as informações. O dispositivo na casa do usuário troca com o *media gateway* informações sobre as características da comunicação que se quer estabelecer, por exemplo, chamada de voz, de vídeo ou transmissão de dados. O *media gateway* repassa essas informações para o *softswitch* que, por sua vez, envia os comandos de controle da comunicação para os roteadores e para os *media gateways* origem e destino. O *media gateway* recebe a autorização do *softswitch* para a transmissão da informação e inicia o envio de pacotes através da rede IP. Dependendo do serviço solicitado, o *softswitch* consulta os servidores de aplicação para definir que comandos devem ser enviados aos *media gateways* e *softswitch*. (CARMO, 2005)

Ainda segundo o mesmo autor, a NGN traz a convergência de redes mediante os seguintes pré-requisitos:

- Rede de dados única para transportar os dados, utilizando primordialmente a rede IP com seus roteadores e protocolos IP;
- *Media gateways*, de modo a converter o serviço do usuário ao padrão da rede NGN;
- *Softswitch* ou *media gateway controller*, cuja função é controlar a conectividade entre os usuários;
- Servidores de aplicação com softwares e banco de dados para o fornecimento de serviços específicos;
- Protocolos de comunicação entre os diversos componentes.

Em suma, as Redes NGNs propõem uma arquitetura onde se utiliza uma plataforma de transporte comum, integrando dados, voz e vídeo em um mesmo canal. O canal de comunicação é feito através de fibra óptica ou de rede sem fio e utiliza transmissão dos dados baseada em comutação por pacotes IP.

Sobre a arquitetura das ERB's, para que a comunicação bidirecional entre terminais móveis seja estabelecida, deve existir a intermediação através de uma rede de telefonia móvel fundamentada em Estações Rádio Base (ERBs), que por sua vez definem, em função da potência irradiada por suas antenas, uma área geográfica preestabelecida de atendimento, conforme mostrado na figura 5.

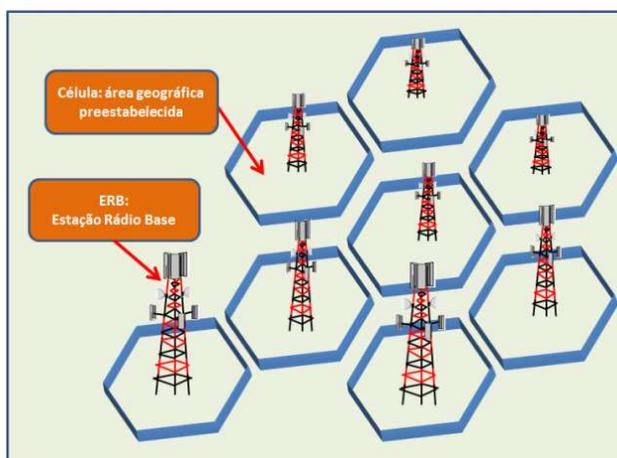


Figura 5 – Rede de telefonia móvel e células de atendimento
Fonte: Sinditelebrasil (2003, p. 52)

Segundo o estudo de Santos, cada Estação Rádio Base (ERB) atende a uma certa região, limitada de acordo com as capacidades físicas da Estação. A essa região dá-se o nome de Célula. As células podem ser omnidirecionais ou setorizadas. (SANTOS, 2008)

Como mostrado na figura 6, a antena omnidirecional é equipada de forma a irradiar suas ondas uniformemente em todas as direções. São mais utilizadas em regiões onde há pouca necessidade de tráfego, como regiões rurais. Em compensação, por ser distribuída uniformemente, abrange uma área de cobertura mais extensa, o que significa ter menos ERBs para atender a certa região. Já nas células setorizadas, as antenas da ERB são projetadas para irradiar em direções estabelecidas, chamadas setores. Cada setor geralmente é formado por um ângulo de 120° , o que significa 3 setores por ERB, ou por célula. Essa setorização permite um tráfego mais denso que as células omnidirecionais, apesar de não conseguir cobrir uma região tão extensa. (SANTOS,2008)

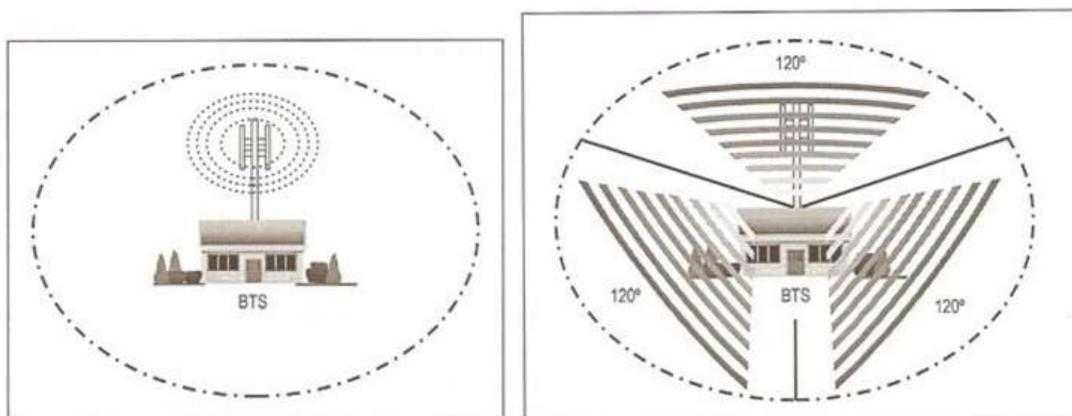


Figura 6 – Antenas Ominidirecionais e Setorizadas
Fonte: Santos, 2008

2.4 CLASSIFICAÇÃO DAS CÉLULAS

A classificação das células pode ser estabelecida segundo suas características técnicas e uso diferenciado na rede de telefonia móvel. (SINDITELEBRASIL, 2003)

Segundo a apostila de Eletrônica de CARVALHO e BADINHAN (2011), a área de cobertura ou abrangência de uma célula depende de diversos fatores, como potência de transmissão, altura, ganho e localização da antena. Além disso, a

presença de obstáculos (montanhas, túneis, vegetação e prédios) afeta de maneira considerável a cobertura de uma ERB.

Em razão das características de topografia das diversas regiões a serem cobertas por sistemas celulares, vários modelos de predição de propagação foram e têm sido desenvolvidos, com a intenção de fornecer estimativas de atenuação de sinal nos diversos ambientes.

Basicamente, existem três tipos de células, classificadas de acordo com seu diâmetro típico, sendo que o seu tamanho diminui com o crescimento do sistema celular. Esse decréscimo provoca:

- Aumento na capacidade de usuários e no número de *handoffs* por chamada.
- Menor consumo de potência do aparelho celular.
- Diversos ambientes de propagação.
- Maior interferência e dificuldade de planejamento do sistema.

Na Figura 7 estão representados esses três tipos de células que podem compor a rede de telefonia móvel, segundo suas propriedades e área de alcance.

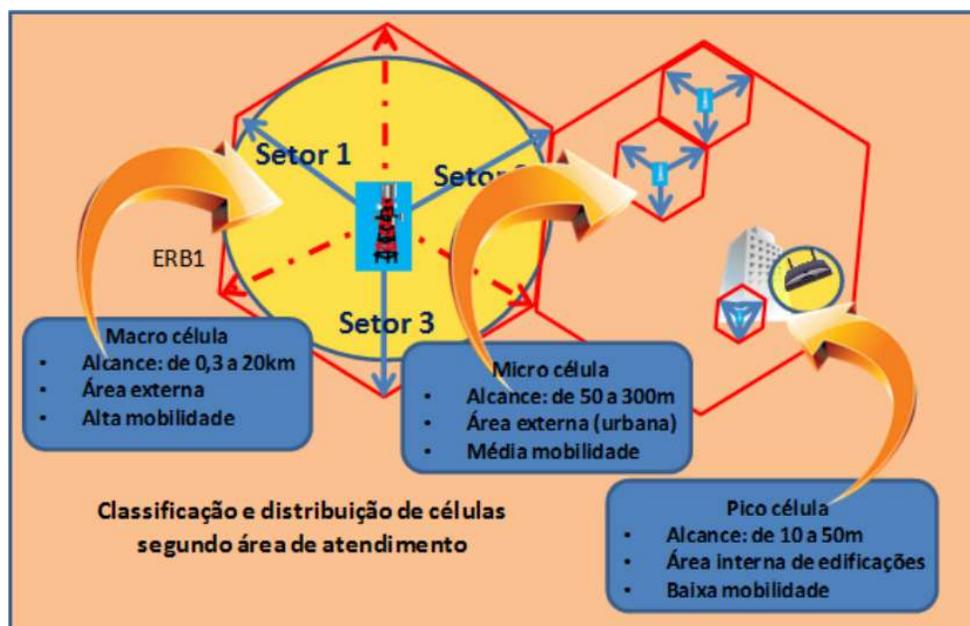


Figura 7 – Classificação e distribuição de células
 Fonte: Sinditelebrasil (2003, p. 55)

2.4.1 Macro células

Segundo o manual de boas práticas da Sinditelebrasil, p. 55:

“As macro células são compostas por ERBs com maior alcance, que são instaladas em maior altura, viabilizando uma área de cobertura maior quando comparada aos demais tipos de células. Seu alcance situa-se entre 300 m e 20 km e por essa razão são utilizadas desde em áreas com baixa densidade demográfica, ou menor concentração de assinantes, até em grandes centros urbanos”.

Para que as macro células sejam utilizadas com qualidade recomenda-se que se faça a sobreposição de sinais vindos de diferentes Estações Rádio Bases e assim haverá a disponibilidade contínua do sinal, inclusive em rodovias. As macro células geralmente são instaladas em torres ou topos de edificações. Seguindo essas recomendações é possível que os assinantes mantenham comunicação mesmo quando estejam se deslocando com velocidades superiores a 200 km/h. (SINDITELEBRASIL, 2003, p. 55)

2.4.2 Micro células

Segundo o manual de boas práticas da Sinditelebrasil, p. 55 e 56:

“As ERBs das micro células têm alcance menor que o das macro células, cobrindo áreas compreendidas entre 50 e 300 m e funcionam como “auxiliares”, atendendo as lacunas de cobertura das macro células e a altas demandas de tráfego em áreas pequenas. Como um de seus objetivos é maximizar a capacidade de atendimento em termos de tráfego, são distribuídas em áreas com elevada densidade demográfica. As reduções de emissão de energia e de altura de instalação das antenas são viabilizadas porque não se pretende uma grande extensão da área de atendimento. Como os equipamentos utilizados são de baixa potência pode-se instala-los mais próximos às pessoas”.

Devido a essas características as micro células são muito utilizadas como solução de falhas de cobertura em pequenas áreas onde o sinal de outras ERBs não consegue chegar.

Quanto a instalação, geralmente as micro células se adaptam às construções preexistentes, tais como fachadas de edificações e postes de iluminação. Já com relação a mobilidade do usuário a micro célula tem classificação intermediária, pois admite deslocamentos inferiores a 70 km/h. Devido ao seu médio alcance, exige-se

uma constante transferência de atendimento do assinante para outras células. (SINDITELEBRASIL, 2003, p. 55 e 56)

2.4.3. Picocélulas

Ainda conforme o manual de boas práticas da Sinditelebrasil:

“As picocélulas são as menores células das redes de telefonia móvel e, assim como as microcélulas, funcionam como auxiliares das macrocélulas no atendimento a locais com falha de cobertura e alta demanda de tráfego. Elas fazem uso de antenas muitíssimo reduzidas, quase imperceptíveis e com alcance situado entre 10 e 50 m.”

Estas propriedades favorecem seu uso em áreas internas das edificações, tais como em prédios de escritórios, *shopping centers* ou mesmo em áreas externas, como parques, onde há intensa circulação de pessoas. Devido à redução física e emissão de energia pelas picocélulas, sua instalação pode ser feita em paredes, tetos ou fachadas, e bem próxima das pessoas. A mobilidade propiciada é pequena, adequada a deslocamentos característicos da caminhada, com velocidade inferior a 36 km/h. (SINDITELEBRASIL, 2003, p. 56)

As picocélulas são normalmente de propriedade, operada e administrada pela operadora móvel, mas geralmente são dispositivos de uma única frequência e por isso controlados por uma única operadora móvel

Em outros países, como no Estados Unidos é comum o uso das chamadas Femtocélulas. De acordo com o documento de LAU (2015) do fabricante COMMSCOPE, é caracterizada como uma estação rádio base de baixa potência que pode ser implantada numa residência ou escritório. A faixa de cobertura geralmente é inferior a 30 metros e a potência de saída é de cerca de 20dBm. Ela opera como uma macrocélula miniatura, fornecendo cobertura consistente e confiável para um número limitado de usuários. Na maioria dos casos a femtocélula é de propriedade ou arrendado pelo usuário, que pode operá-lo ou administrá-lo. Assim, do ponto de vista da operadora, é um ativo não gerenciado.

As femtocélulas operam na mesma faixa de frequência licenciada para a macrocélula. Quando implantada com qualquer densidade através de uma instalação de tamanho médio, a interferência pode rapidamente tornar-se um problema, exigindo

muito cuidado no controle de potência e a qualidade do serviço também pode se tornar um problema, pois a femtocélula utiliza conexão de banda larga da rede, limitando a largura de banda disponível para outras aplicações. Há também a possibilidade de conflitos com acordos de nível de serviço, se o prestador do serviço de banda larga é diferente do fornecedor de rede móvel. (LAU, 2015)

2.5 AS REGULAMENTAÇÕES DA ANATEL SOBRE O AUMENTO E IMPLANTAÇÃO DAS ERB'S

Conforme a Resolução nº 598, de 23 de outubro de 2012, no artigo 3, a Anatel define a necessidade do acesso universal:

Art. 3º Aplicam-se a este Regulamento as definições constantes no PGMU e na regulamentação e, em especial, as seguintes.

I - Obrigações de Universalização: são as que objetivam possibilitar o acesso de qualquer pessoa ou instituição de interesse público a serviço de telecomunicações, independentemente de sua localização e de sua condição socioeconômica, bem como as destinadas a permitir a utilização das telecomunicações em serviços essenciais de interesse público;

O texto discorre ainda sobre as obrigatoriedades de locais que tenham acesso universal e no artigo 9 da Seção I, “Da Meta de Densidade”, o parágrafo único enfatiza que:

Parágrafo único. A alteração da densidade levará em consideração os aspectos de qualidade previstos em regulamentação específica, resultados de fiscalização da Anatel e será precedida de consulta pública para revisão do PGMU (Plano Geral de Metas para a Universalização do Serviço Telefônico Fixo Comutado Prestado no Regime Público)

Na sequência o capítulo IV, seção I: “Das Capacidades”, os artigos 34 e 35 definem a capacidade mínima de transmissão para atendimento aos municípios.

Art. 34. A capacidade mínima de transmissão do backhaul, para atendimento aos municípios, deverá considerar a população do respectivo município, observando as seguintes disposições:

I - em municípios de até vinte mil habitantes, capacidade mínima de 8 Mbps nas respectivas sedes;

II - em municípios entre vinte mil e um e quarenta mil habitantes, capacidade mínima de 16 Mbps nas respectivas sedes;

III - em municípios entre quarenta mil e um e sessenta mil habitantes, capacidade mínima de 32 Mbps nas respectivas sedes;

IV - em municípios com mais de sessenta mil habitantes, capacidade mínima de 64 Mbps nas respectivas sedes.

§ 1º As capacidades mínimas de transmissão a que se refere o caput deverão considerar o enlace de maior capacidade e não poderão ser compartilhadas com outros municípios.

§ 2º Somente nas sedes dos municípios constantes do Anexo I será permitido que a Concessionária disponibilize backhaul com uso de satélite; neste caso, a capacidade mínima de transmissão, a que se referem os incisos do caput deste artigo, poderá ser reduzida para 2 Mbps, 4 Mbps, 8 Mbps e 16 Mbps, respectivamente.

§ 3º Os municípios referidos no § 2º, quando atendidos por tecnologia terrestre, deverão observar as capacidades mínimas estabelecidas nos incisos do **caput** deste artigo.

Art. 35. A adequação da capacidade mínima de transmissão do backhaul deve ocorrer no prazo de seis meses, a partir da divulgação, pelo IBGE, dos dados populacionais atualizados, nos termos do art. 102, § 2º, da Lei nº 8.443, de 1992.

Segundo a Resolução nº 477, de 7 de agosto de 2007 da Anatel, no capítulo V, “Da Instalação e Licenciamento das Estações”:

Artigo. 99. Antes do início das alterações e expansões, a prestadora deve apresentar à Anatel resumo dos projetos referentes às alterações e expansões de seu sistema de telecomunicações, em formulários padronizados, devidamente preenchidos e assinados por profissional habilitado, acompanhado de ART e de outros documentos eventualmente exigidos em normas complementares.

E ainda:

Parágrafo único. Para Estações Rádio Base ou Repetidoras do Serviço Móvel Pessoal não sujeitas à coordenação de frequências, é dispensada a apresentação de resumo de projetos referentes às alterações das seguintes características: ângulo de elevação/radiação em até mais ou menos 30°, azimute de radiação em até mais ou menos 30° e altura da antena em relação ao solo em até mais ou menos 30%.

Artigo. 102. A prestadora deve licenciar todas as estações de telecomunicações envolvidas na prestação do SMP.

§ 1º A prestadora deve informar à Anatel o número de Estações Móveis por ela habilitadas para os fins indicados no caput.

§ 2º A Estação Rádio Base do SMP somente pode iniciar o funcionamento comercial após licenciamento específico.

§ 3º A Repetidora do SMP deve obedecer aos mesmos procedimentos estabelecidos para as Estações Rádio Base.

§ 4º O Reforçador de Sinais do SMP deve ser caracterizado como equipamento acessório da Estação Rádio Base não sendo objeto de Licença de Funcionamento.

Artigo. 103. A prestadora é responsável por observar as condições de funcionamento das Estações Móveis e Estações Rádio Base das quais seja titular, conforme regulamentação pertinente.

§ 3º A infraestrutura utilizada pela prestadora na prestação do SMP deve observar as normas técnicas e as leis municipais e estaduais relativas à construção civil e à instalação de cabos e equipamentos em logradouros públicos.

Artigo. 104. A prestadora deve coordenar as frequências que irá utilizar em suas Estações Rádio Base, com as entidades que possuam estações cujos equipamentos possam afetar ou serem afetados pelas Estações Rádio Base, proporcionando interferência ou restrição à capacidade do sistema.

§ 1º O procedimento de coordenação aplica-se, igualmente, às Estações Rádio Base em operação que pretendam alterar as frequências, a configuração de equipamentos que possam ocasionar interferência potencial, ou seu local de instalação.

A resolução recomenda acerca de localidades próximas de limites geográficos, como é o caso do local “X”:

§ 2º Em regiões situadas nos limites geográficos de Áreas de Registro ou de Áreas de Prestação a prestadora deve, além dos procedimentos estabelecidos em regulamentação específica:

I - adotar procedimentos para minimizar a penetração do sinal radioelétrico em Área de Registro adjacente, evitando que a Área de Cobertura de cada Estação Rádio Base de sua Área de Registro se sobreponha à cobertura de Área de Registro vizinha;

II - evitar qualquer interferência prejudicial e, caso exista, saná-la imediatamente;

III - dar prioridade à implantação de ERBs setorizadas em detrimento de ERB com sistemas irradiantes omnidirecionais, a fim de minimizar situações de interferência e facilitar o controle, quando de sua existência;

IV - realizar estudos de engenharia acompanhados de predições de cobertura e/ou medições em campo para orientação de seleção de equipamento de transmissão, incluindo os sistemas irradiantes, de forma a restringir, ao máximo possível, as Áreas de Cobertura aos limites de sua Área de Registro;

A Resolução nº 624, de 30 de outubro de 2013 aprova o regulamento para uso de Femtocélulas em Redes do Serviço Móvel Pessoal, do Serviço Móvel Especializado e do Serviço de Comunicação Multimídia.

3º A Femtocélula, quando em operação, é considerada um elemento de rede, acessório à rede da Prestadora do Serviço Móvel Pessoal, do Serviço Móvel Especializado e do Serviço de Comunicação Multimídia à qual se vincula.

Parágrafo único. É vedada a utilização de Femtocélulas para a constituição de redes privadas de telecomunicações.

Art. 4º A Femtocélula é um equipamento de radiocomunicação de radiação restrita, conforme definido no Regulamento sobre Equipamentos de Radiocomunicação de Radiação Restrita, e opera em caráter secundário nas faixas de radiofrequência outorgadas à Prestadora do Serviço Móvel Pessoal, do Serviço Móvel Especializado e do Serviço de Comunicação Multimídia à qual se vincula.

A seção 2 “Do fornecimento mediante contratação”, afirma ainda que o fornecimento de uma Femtocélula é decidido pela operadora se a mesma julgar conveniente e viável.

Art. 16 O fornecimento da Femtocélula mediante contratação do Usuário da Prestadora do Serviço Móvel Pessoal, do Serviço Móvel Especializado ou do Serviço Comunicação Multimídia ocorre de acordo com a conveniência e viabilidade da Prestadora.

§ 1º Somente as Prestadoras do Prestadora do Serviço Móvel Pessoal, do Serviço Móvel Especializado ou do Serviço Comunicação Multimídia podem

oferecer a contratação de Femtocélula, que operará na rede da própria Prestadora.

§ 2º O fornecimento e a operação de Femtocélula mediante contratação do Usuário da Prestadora do Serviço Móvel Pessoal, do Serviço Móvel Especializado ou do Serviço Comunicação Multimídia não serão onerosos para o Usuário.

O parágrafo terceiro afirma que a conexão de dados pode ser de responsabilidade da prestadora ou do usuário, e os artigos 20 e 21 diferenciam o modo de operação que se deve utilizar dependendo da opção escolhida.

§ 3º A conexão de dados, utilizada para interligar a Femtocélula à rede da Prestadora do Serviço Móvel Pessoal, do Serviço Móvel Especializado e do Serviço de Comunicação Multimídia à qual se vincula, pode ser realizada à custa da própria Prestadora ou do Usuário, observadas as disposições deste Regulamento.

Conexão de dados à rede da Prestadora

Art. 20 Caso a conexão de dados, utilizada para interligar a Femtocélula à rede da Prestadora do Serviço Móvel Pessoal, do Serviço Móvel Especializado e do Serviço de Comunicação Multimídia à qual se vincula, seja fornecida pela própria Prestadora, deve ser adotado o Modo Aberto de Operação da Femtocélula.

Art. 21 Caso a conexão de dados, utilizada para interligar a Femtocélula à rede da Prestadora do Serviço Móvel Pessoal, do Serviço Móvel Especializado e do Serviço de Comunicação Multimídia à qual se vincula, seja realizada à custa do Usuário, cabe a ele escolher o Modo de Operação da Femtocélula.

Por fim o documento afirma que o uso está sujeito a fiscalização do referido órgão regulador: Anatel.

Art. 30 A oferta e o uso de Femtocélulas estão sujeitos à fiscalização da Anatel, observadas as disposições legais e regulamentares.

Art. 31 A Anatel pode, a qualquer momento, requerer das Prestadoras do Serviço Móvel Pessoal, do Serviço Móvel Especializado e do Serviço de Comunicação Multimídia, informações sobre a oferta e o uso de Femtocélulas em suas redes.

Art. 32 Até que seja disponibilizado pela Anatel sistema eletrônico para cadastramento de Femtocélulas, as Prestadoras do Serviço Móvel Pessoal, do Serviço Móvel Especializado e do Serviço de Comunicação Multimídia que as utilizem devem enviar tais informações semestralmente, a contar da data da publicação deste Regulamento.

2.6 OUTRAS SOLUÇÕES ALÉM DA ADIÇÃO DE ERB'S

2.6.1 Central Classe 5

Segundo o relatório do TCU (Tribunal de Contas da União), na página 5, a partir das décadas de 1980 e mais intensamente, em 1990, surgiu um movimento de expansão e utilização da internet em redes corporativas de dados que levou a consolidação do uso dos protocolos da família IP (*internet Protocol*), e assim desapareceram as redes dedicadas somente a um único serviço de comunicação, como voz na telefonia fixa, ou seja, as telecomunicações tradicionais saem de uso e em seu lugar surgem as ofertas de serviços de comunicação digital, como o acesso à internet, abrindo assim espaço para a convergência de diferentes serviços em uma mesma plataforma tecnológica. (TCU, 2015)

Outro fator importante e que culmina na atual evolução das centrais telefônicas é a intensificação da concorrência no mercado nacional de telefonia, em virtude das novas concessões para serviço local e longa distância, da expansão da telefonia móvel e do surgimento de alternativas para estabelecimento de chamadas através da Internet vem exigindo das operadoras nacionais a busca por soluções que retenham os seus clientes e preservem as suas receitas. (TCU, 2015)

Assim, uma das principais estratégias das operadoras tem sido o oferecimento de novos serviços, diferenciados e inovadores, como por exemplo a evolução das redes telefônicas convencionais, baseadas em comutação de circuitos, para redes convergentes baseadas em comutação de pacotes, com interfaces abertas e padronizadas, também conhecidas como redes de próxima geração. (TCU, 2015)

A proposta de convergência das redes de voz e dados das operadoras para uma rede única, otimizada para trafegar dados e capaz de suportar o serviço de telefonia através do protocolo IP se justifica do ponto de vista econômico-financeiro não apenas pela perspectiva de receitas para serviços diferenciados, com destaque para aqueles baseados na integração entre voz e dados, como também pela redução de custos operacionais obtida pela convergência das infraestruturas de transporte e gerenciamento. Além disso, as redes convergentes proporcionam otimização dos recursos de transmissão pela utilização de equipamentos com reduzida taxa de *bits*, utilização de técnicas de supressão de silêncio que minimizam a banda necessária para o serviço de voz e pela própria multiplexação estatística inerente à comutação

de pacotes, que contrasta com a comutação de circuitos onde os recursos das centrais telefônicas permanecem alocados durante toda a chamada. (TCU, 2015)

Segundo DA ROCHA

“As centrais telefônicas locais, também denominadas centrais de comutação classe 5, são aquelas que proveem interfaces de acesso aos usuários do serviço telefônico através de interfaces analógicas a dois fios”.

Conforme a figura 8, essas centrais geralmente se interconectam a centrais telefônicas com função trânsito, também denominadas centrais de comutação classe 4, através de interfaces de acesso digital E1 a 2 Mbit/s utilizando soluções de transmissão apropriadas (ópticas, satélite, rádio, etc.). As centrais trânsito, por sua vez, podem se interconectar a centrais de maior hierarquia como centrais trânsito internacionais. Através de todas essas interconexões, o tráfego de voz pode fluir entre as centrais locais, via centrais trânsito, possibilitando o estabelecimento de chamadas entre usuários atendidos por centrais locais distintas, mediante um plano de encaminhamento adequado.

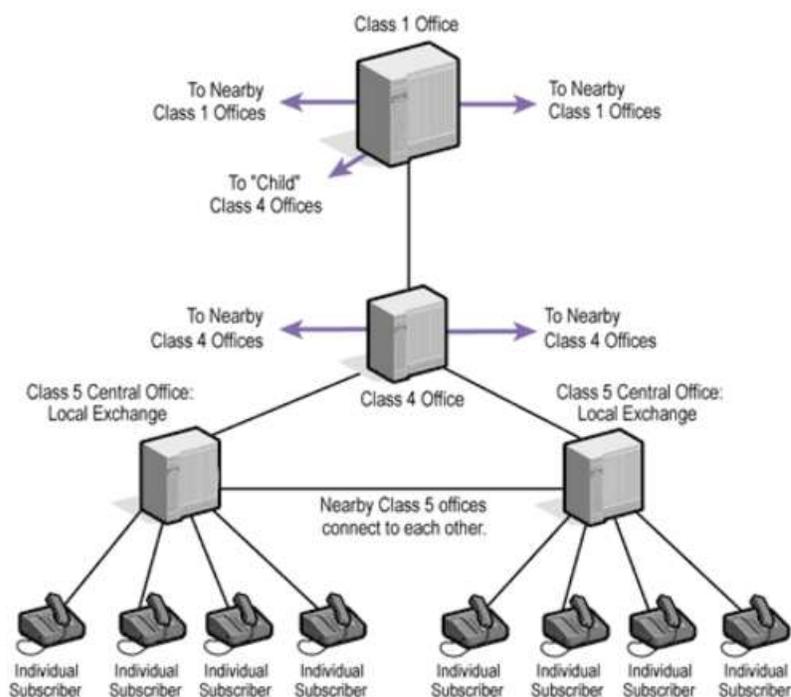


Figura 8 - Current Telecommunications Hierarchy
Fonte: Westnet... [entre 1998 e 2015]

2.6.2 Wifi

Desde 2013 o tutorial a TELECO já recomendava que uma das soluções consideradas adequadas para descarregar o tráfego de dados da rede móvel, além da melhoria da capacidade de core da rede e aumento do número de ERB's seria utilização das tecnologias sem fio, as chamadas redes Wi-fi. Até os dias de hoje ainda é considerada uma das soluções que mais agrada as operadoras devido à relação de custo benefício, quantidade e facilidade de implantação dos pontos de acesso, baixo custo de manutenção, alta disponibilidade dos dispositivos que suportam a tecnologia, amplo espectro disponível dentro das faixas de 2.4 e 5GHz e possibilidade de acesso de novos usuários sem a necessidade de assinatura móvel.

Segundo Figueiredo (2003) o Wi-Fi prevê velocidades de operação de 1 e 2Mbps. A versão denominada IEEE 802.11b (High Rate), prevê velocidade de operação de até 11Mbps e versão 802.11g deve atingir 54 Mbps. O padrão prevê mecanismo de autenticação e criptografia através do WEP (Wired Equivalent Privacy), e também WPA (Wi-Fi Protected Access).

O padrão 802.11 é a tecnologia ideal para substituir infra-estrutura cabeada onde não for possível ou conveniente utilizá-la. (Vide figura 9). Ex. Prédios históricos, teatros, chão de fábrica de indústrias e outros. (Figueiredo, 2003)

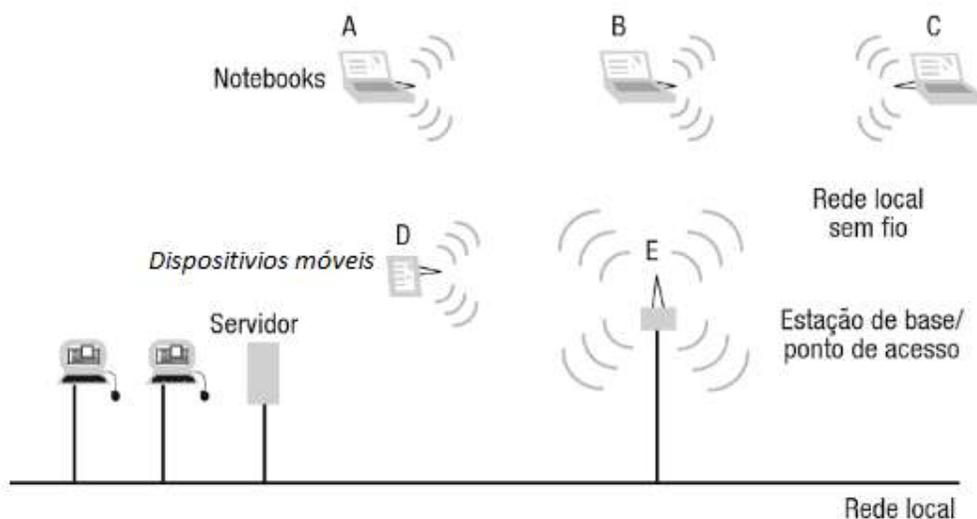


Figura 9 – Configuração de Rede Local sem fio
Fonte: Adaptado de COLOURIS, 2013

2.6.3 Small Cells

De acordo com a ABI Research, as tecnologias *Small Cells* podem ser caracterizadas como as que utilizam equipamentos de rádio de baixa potência, seja com espectro licenciado ou não licenciado, mas que atinja a distância de cobertura no intervalo de 10 metros até 2 quilômetros. O termo “*small*” refere-se ao espaço físico da solução, em comparação com uma macrocélula tradicional. (ABI Research, 2011)

No site do Fórum “*Small Cell*”, existe uma definição um pouco mais clara, afirmando que o termo é genérico para rádios de baixa potência controlado por operadora. (SMALL... [entre 2000 e 2015])

Ainda assim a maioria das informações na literatura caracteriza *Small Cell* como solução de baixa potência para pequenos espaços e é normalmente utilizada para aumentar a capacidade de cobertura.

As *Small Cells* são pontos de acesso sem fio de baixa potência. Muito se discutiu a respeito de sua classificação até que o fórum de *Small Cell* (Figura 10) com o intuito de manter todas abaixo de um mesmo “guarda-chuva”, diferenciou da seguinte forma:

- *Femtocells*
- *Picocells*
- *Metrocells e Microcells*



Figura 10 - Conceituação de Small Cells
Fonte: Webinar Teleco 2015. Small Cells

2.6.4 Distributed Antenna System

O termo DAS (*Distributed Antenna System*) é a designação de um projeto de distribuição de antenas espaçadas entre si de forma a cobrir com sinal RF (Rádio Frequência) uma determinada área física tendo em comum uma mesma fonte de sinal irradiante. (MALAB, Carlos. 2012. pg 150).

A distribuição de antenas pode ser feita através de soluções com a implantação de projetos onde se utiliza setores com elementos somente passivos, somente ativos ou de forma mista.

2.6.4.1 Sistemas Passivos

Conforme mostrado na figura 11, os equipamentos transmissores das operadoras envolvidas são conectados ao mesmo sistema irradiante através de um acoplador passivo que é o primeiro elemento da rede de distribuição. Este acoplador é idealizado desde o início do projeto para suportar o conjunto das potências de RF (Rádio Frequência) das operadoras envolvidas e das possíveis novas entrantes. (MALAB, Carlos. 2012. pg 152)

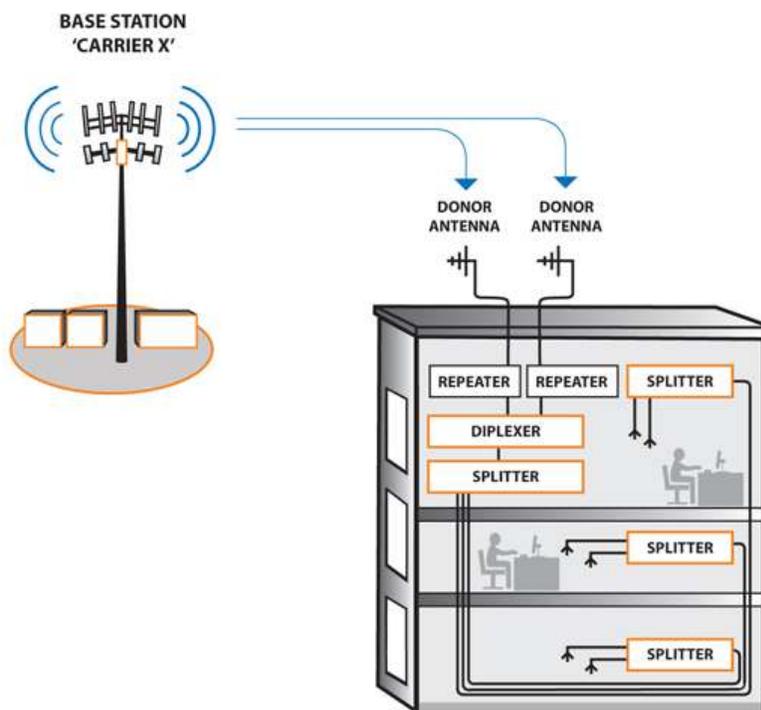


Figura 11 - Estrutura do DAS Passivo
Fonte: Microlab, 2008.

2.6.4.2 Sistemas ativos

Conforme a figura 12, uma unidade central recebe os sinais provenientes dos transmissores de tecnologias 2G, 3G e 4G (LTE) e os combina conforme as determinações das operadoras para atender aos diferentes setores de cobertura. É considerada a melhor solução para o atendimento de áreas onde a extensão dos cabos coaxiais entre os equipamentos transmissores e as antenas é superior a 100 metros.

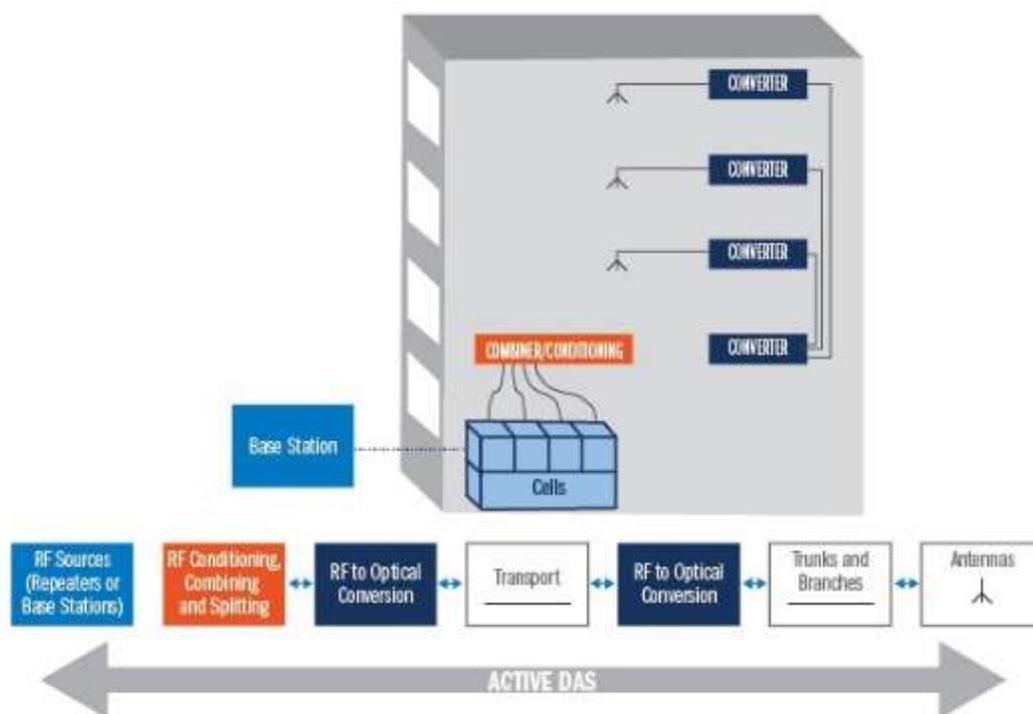


Figura 12 - Estrutura do DAS Ativo
Fonte: Melhores práticas DAS. (ANIXTER, 2016)

2.6.4.3 Soluções mistas

Nas soluções mistas pode-se atender um setor através de um sistema irradiante puramente passivo e demais setores por sistemas ativos. Esta solução é usada com o intuito de reduzir o custo total de implantação.

2.6.4.4 Equipamentos utilizados

Segundo o site do distribuidor americano Anixter, uma implantação DAS implica na utilização de uma série de equipamentos, tais como: DAS ativo, filtros, repetidores, antenas, cabos coaxiais e conectores, racks, fibra óptica, equipamentos de testes, *Access Points* e *Switches*. (ANIXTER, 2016)

3 O LOCAL “X” – AMPLIAÇÃO DO CAMPUS UNIVERSITÁRIO

O local X a ser estudado terá uma área estimada após a construção dos prédios e de áreas abertas num total de 450.000 m², contando com uma rotatividade de cerca de 15 mil usuários de redes móveis transitando diariamente em todo o complexo, conforme planta da figura 13.



Figura 13 – Área destinada ao futuro Campus do local X
Fonte: Adaptado de MARQUES. 2015.

Neste local os sinais de rede móvel provenientes das antenas disponíveis na área urbana mais próxima não atingem toda a área destinada à construção do complexo universitário.

ANATEL Agência Nacional de Telecomunicações

Menu Principal ▾

Tela Inicial | Resultado da Consulta

Resultado da Consulta

Empresas Autorizadas no Estado : PR

Serviço: 010 - SERVIÇO MOVEL PESSOAL
 UF: PR
 Município: foz do iguaçu
 Logradouro: avenida tancredo neves
 Bairro: conjunto b
 Número/Nome: 4204085 - CLARO S.A.
 Número/Nome: 4180968 - TELEFÔNICA BRASIL S.A.
 Total Erbs no Município: 3

Data: 01/11/2015 Hora: 22:22:36

Tela Inicial | Imprimir | Exportar Excel

Figura 14 – Consulta de ERB´s na Anatel
Fonte: ANATEL, 2012

Mas conforme o mapa de ERB's (Estação Rádio Base) do site da ANATEL, as antenas mais próximas são da operadora Claro e Telefônica, conforme mostrado na figura 14, e ainda segundo o site Telebrasil, figura 15, a única antena mostrada como mais próxima é a da operadora Telefônica. Cabe a este projeto estudar se as intensidades dessas frequências são suficientes para fornecer sinal de qualidade aos usuários futuros desta edificação. (ANATEL, 2012)

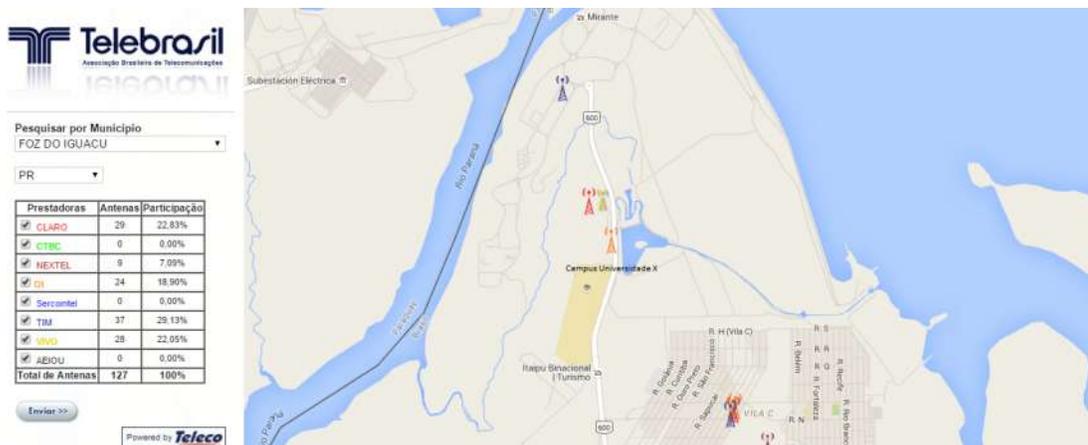


Figura 15 - Telebrasil – mapa de ERB's
Fonte: TELECO, 2016

A Anatel também disponibiliza a qualquer usuário um aplicativo para Smartphones chamado: “Anatel Serviço Móvel”, este aplicativo possibilita que o usuário visualize em mapa as estações (antenas) do serviço móvel em cada município do país, bem como se informe quanto às tecnologias disponíveis e referências da qualidade na prestação dos serviços de voz e dados de cada prestadora. As informações apresentadas têm atualização mensal. (ANATEL, 2014)

Para avaliação da qualidade na prestação do serviço móvel, a Anatel trata indicadores de qualidade, comparando-os a patamares de referência a serem cumpridos pelas prestadoras. O software disponibiliza as qualidades dos serviços de voz e de dados, nas redes das prestadoras, aferidas pelos indicadores de acesso e queda nas conexões de voz e dados.

Na figura 16 utilizou-se esta ferramenta para pesquisa de presença da operadora móvel no local X.

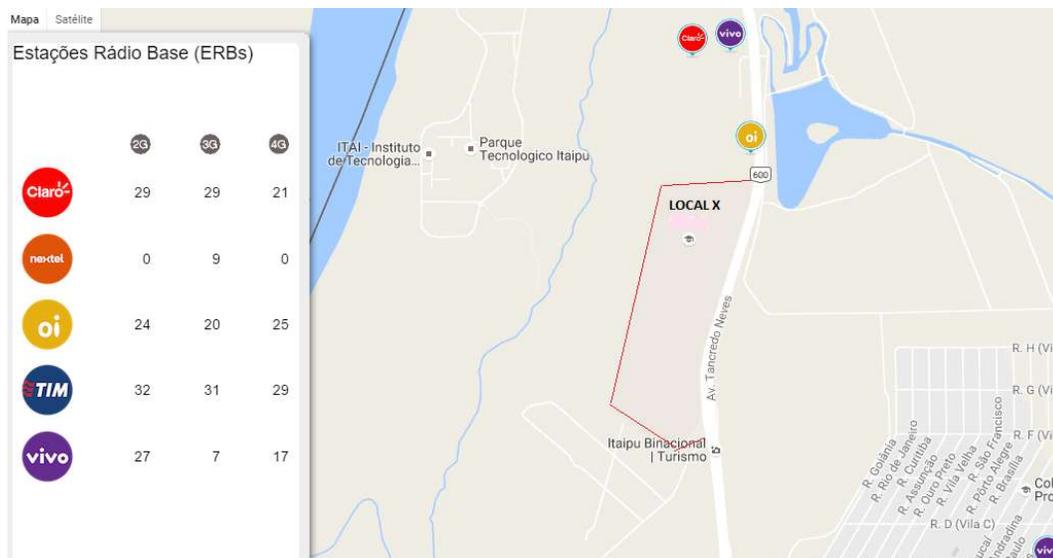


Figura 16 - Imagem de consulta do aplicativo “Anatel Serviço móvel”
Fonte: ANATEL, 2014

Diante das imagens das figuras 13, 14 e 15 apresentadas, a própria Anatel enfatiza que:

“Ressalte-se que a quantidade de estações, por si só, não é indicadora de cobertura. A cobertura depende, também, de outras variáveis como frequência utilizada, altura de antenas, potência, etc.” (ANATEL, 2014)

Terada (2007) também ressalta que a distância da base da antena não é a única e nem a mais importante variável a partir da qual se define a intensidade do campo eletromagnético proporcionado por essa mesma antena. Existem ainda diversas outras variáveis como: altura de instalação da antena, a altura em relação ao solo, ângulo de inclinação da antena e a potência irradiada por ela. (TERADA, 2007) ou seja, mesmo com a presença das antenas mostradas como próximas, o local ainda apresenta área sem cobertura móvel celular. Sendo assim conclui-se que a distância da antena ao local não é o único fator relevante de garantia do sinal móvel celular.

Ainda se nota que esta é uma região entre fronteiras, muito próxima a outros países e, sendo assim, o sinal móvel pode ser assumido por uma antena de operadora internacional, o que aumentaria os custos dos serviços para os usuários, que assumiriam um plano de *roaming* internacional.

O estudo de caso toma por pressuposto que todos os ambientes foram providos de pontos de telefonia e dados de acordo com o projeto de arquitetura e a coordenação de projetos. Também foi definida no projeto a arquitetura da sala de telecomunicação onde devem convergir todas as redes de telefones e de dados, e ainda toda a interligação das redes com a concessionária de telefonia fixa e que o projeto de dados já conta com todos os equipamentos necessários para seu perfeito funcionamento.

3.1 CONDIÇÕES PARA FALTA DE COBERTURA

Segundo o estudo apresentado no documento da AMCHAM, para que o sinal móvel se propague adequadamente exige-se o mínimo de obstáculos naturais ou artificiais (como edificações). São esses obstáculos que produzem as chamadas “áreas de sombra”, em que o serviço é falho ou inexistente. (AMCHAM, 2000)

A altura das antenas também é citada como outro fator relevante para a boa propagação do sinal móvel, e esta pode variar de acordo com a tecnologia empregada, ou o tipo de serviços prestado. Em regra, as áreas de baixa densidade populacional exigem antenas mais elevadas e distribuídas com maior dispersão (possibilitando assim uma área de cobertura mais abrangente, mas com menor capacidade de tráfego). (AMCHAM, 2000)

Já as áreas com maior densidade requerem antenas instaladas em pontos mais baixos e que por isso são distribuídas com maior concentração. Em resumo, quanto mais adensada a área maior a quantidade de ERB's necessárias e menor a altura de instalação das antenas.

No local “X”, mesmo que existam ERB's próximas, o sinal não se propaga, com base no exposto acima. Hoje a localidade é uma área sem densidade populacional e com a futura implantação o complexo universitário passará a ter grande densidade. Fica claro então que o cenário atual precisa ser mudado, que as antenas hoje existentes precisariam ser ampliadas, ou novas tecnologias como as apresentadas neste estudo (Central Classe V, *Small Cells* ou DAS) podem ser implantadas com o intuito de acompanhar o surgimento de uma população acadêmica (alunos, professores, comunidade, colaboradores, etc) que passará a exigir uma cobertura que até então é inexistente.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através deste estudo pode-se perceber que o local X será um nicho mercadológico atrativo para as operadoras que vierem a suprir a cobertura móvel diante da nova densidade populacional e após o término da construção do complexo universitário certamente haverá a ampliação dos sinais das operadoras, ou ainda a adequação de qualquer uma das tecnologias possíveis apresentadas neste trabalho.

Primeiramente apresentou-se a tecnologia chamada de Central Classe 5, que permite a interoperabilidade entre as redes legadas e as novas tecnologias e ainda proporciona caso seja necessária, a migração ou substituição suave das redes antigas pelas novas como resultado da evolução tecnológica que traz como principal vantagem a proposta de convergência das redes de voz e dados das operadoras para uma rede única, sendo assim esta opção se justifica do ponto de vista econômico-financeiro devido a possibilidade de redução de custos operacionais obtida pela convergência das infraestruturas de transporte e gerenciamento. O papel dos fabricantes de toda esta infraestrutura acaba sendo nada mais que prover soluções inteligentes que sejam capazes de suportar as novas tecnologias sem, entretanto, desdenhar as redes legadas.

A solução Wifi vem como opção para atender a internet móvel ocupam grande importância pois são mais velozes que o tradicional 3G e também porque chegam aos assinantes sempre por meio da fibra óptica usada pela banda larga fixa.

Dentre as tecnologias apresentadas neste estudo o uso das *Small Cells* ocupa relevância no cenário atual, enquanto as redes 4G ainda não são utilizadas nas frequências mais baixas (700MHz), devido ao uso de equipamentos de baixa potência como micro, pico e femtocélulas. A vantagem desta escolha seria ligada a melhoria de qualidade do sinal em ambientes internos, ou seja, dentro dos prédios do complexo universitário do local X. Desta forma a *Small Cell* desafogaria o alto tráfego das ERB's convencionais (macrocélulas), principalmente nas áreas de grande concentração de usuários do serviço celular. Uma desvantagem desta tecnologia estaria ligada a cobertura "*Outdoor*" que neste caso não seria suprida.

A tecnologia DAS (*Distributed Antenna System*) tem grande visibilidade a partir do momento que permite o suporte a todas as tecnologias (2G, 3G, 4G) sob um modelo de infraestrutura compartilhado entre as operadoras, característica essa que

que faz parte do conjunto de soluções para cobertura indoor e ambientes com grande concentração de público, como foi aplicado nos estádios para a Copa das Confederações e na Copa do Mundo de 2014 no Brasil. O projeto de DAS e a sua instalação são pontos que requerem muita atenção pois há a necessidade de contratação de profissionais especializados e, no caso dos grandes eventos, o escopo do serviço prevê a mensuração e acompanhamento do tráfego das redes em tempo real, além de planos de contingência para assegurar o bom atendimento ao público.

Cabe ainda a sugestão para estudos futuros as facilidades e aplicações que qualquer uma das tecnologias apresentadas podem vir a trazer para o local X, pois para qualquer solução que seja escolhida, a infraestrutura seria de fibra óptica, condição esta que traz uma série de benefícios e uma gama de possibilidades para a região.

Como por exemplo, aplicações como o “*Freedom*” da hoje GVT/ Vivo que funciona sobre o tronco SIP da operadora para disponibilizar acesso ao número fixo do cliente em seu dispositivo móvel e é configurado na IMS¹ a fim de comutar as ligações na PSTN (*Public Switched Telephone Network*). (BRAGA, 2014)

Recomenda-se também como indicação de estudos futuros o conceito de redes heterogêneas (HetNet) que promete integrar distintas arquiteturas de rede composta por macro e *small cells*, bem como as múltiplas tecnologias de acesso móvel e diversidade de frequências, aproveitando assim as vantagens que cada uma pode proporcionar.

¹ O conceito IMS funciona como uma arquitetura com interfaces padronizadas e abertas para entrega de voz e multimídia em diversos tipos de acesso com e sem fio.

REFERÊNCIAS

ABI RESEARCH. **Small Cells: Outdoor Pico and Micro Markets**. press release. 2011

ALBINI, Prof. Luís Carlos Pessoa. **Apostila Redes de Computadores I**. UFPR. [Entre 1998 e 2008]. Disponível em: <http://www.inf.ufpr.br/albini/apostila/Apostila_Redes1_Beta.pdf>. Acesso em 09 de julho de 2016.

ANACON. **Serviço Universal**. 2014. Disponível em <<http://www.anacom.pt/render.jsp?categoryId=363875#.V2bu8PkrK00>>. Acesso em 19 de junho de 2016.

ANATEL. **Aplicativo para Smartphone: Serviço Acesso Móvel**. Disponível em: Play Store for Android. 2016. Acesso em 14 de agosto de 2016.

_____. **Consulta ao mapa de ERBS**. 2012. Disponível em: <<http://sistemas.anatel.gov.br/stel/consultas/ListaEstacoesLocalidade/tela.asp>>. Acesso em 10 de março de 2016.

_____. **Revisão do PGMU e dos Contratos de Concessão do STFC**. 2016. Disponível em: < http://www.anatel.gov.br/Portal/documentos/sala_imprensa/1-4-2016--17h54min48s-Vot_001-2016_SEI_RZ_PGMU_CONTRATOS_ApresentacaoRCD_797.pdf> . Acesso em 21 de agosto de 2016.

ANIXTER INC. **Technology Application Guides: Distributed Antenna Systems Design and Implementation best practices**. Glenview. Illinois. 2016. Disponível em: <https://www.anixter.com/en_us/resources/literature/technology-application-guides/distributed-antenna-systems-design-and-implementation-best-practices.html>. Acesso em 25 de julho de 2016.

ANSARI, S.; GARUD, R. **Inter-generational transitions in socio-technical systems: The case of mobile communications**. Research Policy, v. 38, n.2, p. 382-392. 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048733308002795>>. Acesso em 19 de junho de 2016.

BERKMAN Center Broadband. Harvard University. **Next Generation Connectivity: A review of broadband Internet transitions and policy from around the world**. Fev.

2010. Disponível em: <
http://cyber.law.harvard.edu/sites/cyber.law.harvard.edu/files/Berkman_Center_Broadband_Final_Report_15Feb2010.pdf>. Acesso em 19 de junho de 2016.

BLACKMAN, Colin; SRIVASTAVA, Lara (Org.). **Telecommunications Regulation Handbook: Tenth Anniversary Edition**. Washington DC: Banco Mundial, InfoDev e UIT, 2011. Disponível em <
<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/13277/74543.pdf?sequence=1>>. Acesso em 19 de junho de 2016.

BRAGA, Lucas. **Governo quer antecipar faixa de 700 MHz para o 4G**. Disponível em: <<http://tecnoblog.net/123352/4g-faixa-de-700-mhz/>>. Acesso em 03 julho 2016.

BRASIL. Agência Nacional de Telecomunicações. **Resolução nº 598, de 23 de out. de 2012**. Disponível em:< <http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2012/422-resolucao-598>>. Acesso em 14 de agosto de 2016.

_____. Agência Nacional de Telecomunicações. **Resolução nº 477, de 7 de ago. de 2007**. Disponível em:<<http://legislacao.anatel.gov.br/resolucoes/22-2007/9-resolucao-477>>. Acesso em 14 de agosto de 2016.

_____. Agência Nacional de Telecomunicações. **Resolução nº 624, de 30 de out. de 2013**. Disponível em:< <http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2013/634-resolucao-624>>. Acesso em 14 de agosto de 2016.

CÂMARA AMERICANA DE COMÉRCIO DE SÃO PAULO (AMCHAM). **Relatório sobre a Agência Nacional de Telecomunicações**. Disponível em: <http://convergenciadigital.uol.com.br/inf/pesquisa_amcham.pdf>. Acesso em 17 de julho de 2016.

CARMO, Wagner R. **NGN: Uma análise sociotécnica da convergência das telecomunicações no Brasil**. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas e Computação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://is.cos.ufrj.br/wp-content/uploads/2015/12/WagnerRamalhoDoCarmo.pdf>>. Acesso em 21 agosto de 2016.

CARVALHO, Álvaro Gomes; BADINHAN, Luiz Fernando da Costa. **Eletrônica: Telecomunicações**. 5º vol. São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 2011.

CORNING. **Noções básicas de fibra.** Disponível em: <<https://www.corning.com/cala/pt/products/communication-networks/products/fiber/optical-fiber-basics.html>>. Acesso em 16 de julho de 2016.

COULOURIS, George et al. **Sistemas Distribuídos: Conceitos e Projeto.** Bookman Editora, 2013.

DA ROCHA, André Fagundes. **Evolução das redes telefônicas a partir de processos gradativos de modificação de topologia de rede e conversão de centrais.** Cad. CPqD Tecnologia, v. 1, n. 1, p. 61-70, 2005.

ERICSSON. **Redes Heterogêneas – uma abordagem para aumentar a capacidade e cobertura de celulares.** 2011. Disponível em: <https://www.ericsson.com/br/news/2011-06-27-het-nets-po_3377875_c>. Acesso em 21 de agosto de 2016.

FIGUEIREDO, Carlos MS; NAKAMURA, Eduardo. **Computação móvel: Novas oportunidades e novos desafios.** T&C Amazônia, v. 1, n. 2, 2003. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Eduardo_Nakamura2/publication/268435975_Computacao_Movel_Novas_Oportunidades_e_Novos_Desafios_COMPUTACAO_MOVEL_NOVAS_OPORTUNIDADES_E_NOVOS_DESAFIOS/links/55004c230cf28e4ac347f396.pdf>. Acesso em 24 de agosto de 2016.

GLOBO. **Banda Larga deve ser o novo foco das telecomunicações no Brasil.** 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/tecnologia/noticia/2016/04/banda-larga-deve-ser-novo-foco-das-telecomunicacoes-no-brasil.html>>. Acesso em 21 de agosto de 2016.

ICT REGULATION TOOLKIT. **Universal Access and Service: Availability, Accessibility and Affordability for Universal Service.** 2010. Disponível em: <<http://www.ictregulationtoolkit.org/4>>. Acesso em 13 de agosto de 2016.

ITU. **Measuring the Information Society 2012,** Geneva, Switzerland. Disponível em: <http://www.itu.int/ITU-D/ict/publications/idi/material/2012/MIS2012_without_Annex_4.pdf>. Acesso em 19 de junho de 2016.

KLEINROCK, Leonard. An Internet vision: **The invisible global infrastructure.** *Ad Hoc Networks*, 1, p. 3-11, 2003.

LAU Patrick. COMMSCOPE. **DAS vs Small Cells White Paper**. 2015. Disponível em: <[file:///C:/Users/Marcia%20Stankiwich/Downloads/DAS-vs-SmallCells-white-paper-WP-108562%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Marcia%20Stankiwich/Downloads/DAS-vs-SmallCells-white-paper-WP-108562%20(1).pdf)>. Acesso em: 27 de julho de 2016.

MICROLAB. **Distributed Antenna System**. 2008. Disponível em: <<http://fxr.com/das/passive-das-system-3>>. Acesso em 14 de agosto de 2016.

BRAGA. Lucas. TECNOBLOG. **Aplicativo da GVT leva telefone fixo para o Smartphone**. 2014. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/153242/gvt-freedom-app/>>. Acesso em 02 de agosto de 2016.

PEPPER, Robert; RUEDA-SABATER, Enrique J.; BOEGGEMAN, Brian C., GARRITY; John. **From Mobility to Ubiquity: Ensuring the Power and Promise of Internet Connectivity for Anyone, Anywhere, Anytime**. In: DUTTA, Soumitra; MIA, Irene (Org). The Global Information Technology Report 2008-2009: Mobility in a Networked World. Genebra: INSEAD e World Economic Forum, p. 37-52, 2009.

SANTOS, Ricardo di Lucia. **REDES GSM, GPRS, EDGE E UMTS**. 2008. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/ricardo/6.html>. Acesso em 03 de julho de 2016.

SILVA, Mauricio Rodrigues. **O problema da cobertura máxima por círculos numa região plana: Uma abordagem Heurística aplicada à telefonia celular**. 2006. 80 f. Tese apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense. Disponível em: <http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/POS-ENGPRODUCAO_2397_1160057607.pdf>. Acesso em 27 de março de 2016.

SINDITELEBRASIL. Relatório Técnico/Consultoria: **Melhores Práticas para a implantação de Estações Rádio Base**. 2003.74p.

SMALL CELL FORUM. Disponível em:<<http://www.smallcellforum.org/about/about-small-cells/small-cell-definition/>>. [Entre 2000 e 2015] Acesso em 15 de julho de 2016.

TAKEDA, Leonardo Noboru. **Evolução da tecnologia móvel até 2013**. 2013. 51 f. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2013. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/121522>>. Acesso em 27 de março de 2016.

TCU. (TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO). **Relatório de Levantamento**. Protocolo de Plenário TC 008.293/2015-5. 2015. Disponível em: <<http://portal.tcu.gov.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=8A8182A25232C6DE015260487A990BD2&inline=1>>. Acesso em 13 de julho de 2016.

TELECO. **4G: Frequências e Licitações.** 2016. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/700_licitacao.asp>. Acesso em 03 de julho de 2016.

_____. **4G: Quarta geração de celular no Brasil.** 2015. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/4g_brasil.asp>. Acesso em 03 de julho de 2016.

_____. **Telebrasil: Consulta de ERB's.** Disponível em: <<http://telecocare.teleco.cl9.com.br/telebrasil/erbs/>>. Acesso em 10 de março de 2016.

_____. **Tutorial Banda Larga.** 2011. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialblmodcomp1/default.asp>>. Acesso em 25 de agosto de 2016.

_____. **Tutorial Banda Larga - NGN e IMS I: Evolução.** 2008. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialngnims1/pagina_2.asp>. Acesso em 21 de agosto de 2016.

_____. **Rede Celular: Solução Wi-Fi Offloading.** 2013. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/pdfs/tutorialsolwifi.pdf>>. Acesso em 25 de agosto de 2016.

TERADA, Marco Antonio Brasil. REVISTA CIENTÍFICA PERIÓDICA – TELECOMUNICAÇÕES. **Propriedades Direcionais de Irradiação de Antenas Rádio-Base.** INATEL. VOL. 09, NO. 02, julho de 2007. Disponível em: <<http://www.inatel.br/revista/busca/172-propriedades-direcionais-de-irradiacao-de-antenas-radio-base-s931244-1/file>>. Acesso em 16 de julho de 2016.

TUDE. Eduardo. TELECO: **Small Cells.** 2015. Disponível em: <<http://telecomwebinar.com/wp-content/uploads/2015/05/Teleco-Small-Cells-FINAL.pdf>>. Acesso em 25 de julho de 2016.

WESTNET LEARNING TECHNOLOGIES. **Introdução de Telecomunicação.** Lesson 1-Local Exchange Components. [Apostila]. [entre 1998 e 2015]. Disponível em: <<http://www.webclasses.net/Courses/Telecom/1.0/Demo/units/unit02/sec01a.html>>. Acesso em 16 de julho de 2016.