



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

YURI VILMAR BATISTA MELO

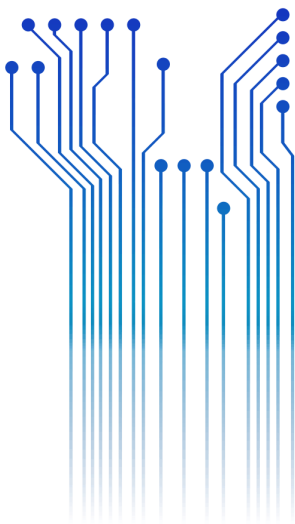


Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ANTENAS COM TECNOLOGIA *QUADBAND* APLICADAS AOS SISTEMAS
IRRADIANTES DE TELEFONIA MÓVEL



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande
2017

YURI VILMAR BATISTA MELO

ANTENAS COM TECNOLOGIA *QUAD*BAND APLICADAS AOS SISTEMAS IRRADIANTES DE
TELEFONIA MÓVEL

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Elétrica da Universidade Federal de
Campina Grande como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências no Domínio da
Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Telecomunicações

Professor Rômulo Raimundo Maranhão do Valle, M.Sc.
Orientador

Campina Grande
2017

YURI VILMAR BATISTA MELO

ANTENAS COM TECNOLOGIA *QUADBAND* APLICADAS AOS SISTEMAS IRRADIANTES DE
TELEFONIA MÓVEL

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Elétrica da Universidade Federal de
Campina Grande como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências no Domínio da
Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Telecomunicações

Aprovado em / /

Professor Avaliador
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Rômulo Raimundo Maranhão do Valle, M.Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, por permitir alcançar objetivos que até eu mesmo duvidava ser capaz e por me iluminar nos momentos difíceis ao longo desta caminhada.

Aos meus pais, Orlando Vilmar de Melo e Núbia Suely Batista Melo, pelo apoio incondicional e por fazerem todos os esforços possíveis para realização deste sonho.

Aos meus tios e tias, pelo suporte, incentivo e por se alegrarem comigo a cada vitória.

Aos Pseudomitos, grupo de estudo no qual participei durante toda a graduação, realizando várias reuniões para discutir resoluções de questões, tirar dúvidas e conversar sobre os diversos assuntos da universidade, principalmente nas vésperas de avaliações.

À minha namorada, Natália Almeida, e toda sua família que me acolheram em vários momentos e me ajudaram bastante.

Aos amigos que fiz em Campina Grande, responsáveis pelos momentos de descontração e boas conversas sempre que sobrava algum tempo em nossas rotinas, em especial ao amigo Luan Duarte, pessoa com quem dividi apartamento do primeiro ao último dia de graduação.

Ao meu orientador, Professor Rômulo do Valle, por todos ensinamentos e toda sua paciência ao longo desse trabalho.

Aos professores do Departamento de Engenharia Elétrica pela dedicação e por me prepararem para enfrentar os desafios da profissão.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica, particularmente, Adail Paz e Tchaikovsky Oliveira, obrigado de coração pela atenção de sempre e a prontidão em ajudar.

“No meio da dificuldade encontra-se a oportunidade.”

Albert Einstein.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo realizar um estudo sobre a evolução dos sistemas irradiantes aplicados à telefonia móvel, abordando principalmente as antenas *Quadband* que estão sendo amplamente utilizadas pelas operadoras de telefonia móvel nos dias atuais. Apresenta-se uma análise detalhada das características das antenas e, através de dados fornecidos pela empresa Savenge Engenharia LTDA, é apresentado um caso real de substituição de antenas *Dualband* pelas antenas *Quadband* da operadora de Telefonia móvel Tim. Com isso espera-se apresentar a tecnologia *Quadband* aplicadas em antenas de forma prática com a finalidade de comprovar a eficiência dos novos sistemas irradiantes e abordar pontos importantes para as empresas de telecomunicações que atuam no Brasil.

Palavras-chave: Antenas, telecomunicações, telefonia móvel.

ABSTRACT

This work aims to conduct a study on the evolution of radiating systems applied to mobile telephony, mainly addressing the Quadband antennas that are being widely used by mobile operators today. A detailed analysis of antenna characteristics is presented and, through data provided by the company Savenge Engenharia LTDA, a real case of replacement of Dualband antennas by the Quadband antennas of the mobile operator Tim is presented. Therefore, it is expected to present the Quadband technology applied to antennas in a practical way in order to prove the efficiency of the new radiating systems and to address important points for telecommunications companies operating in Brazil.

Keywords: Antennas, mobile telephony, telecommunications.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Evolução da velocidade de <i>download</i> das tecnologias de telefonia móvel...	12
Figura 2 – Tipos de diagramas de irradiação.....	15
Figura 3 – Tipos de polarização	16
Figura 4 – Tipos de arranjos	17
Figura 5 – Antenas retiradas de sistemas irradiantes de telefonia móvel.....	20
Figura 6 – Elemento irradiante da antena <i>Singleband</i>	21
Figura 7 – Elemento irradiante da antena <i>Dualband</i>	21
Figura 8 – Placa de circuito impresso da antena <i>Dualband</i>	21
Figura 9 – Vista Geral dos Equipamentos da Tim existentes no <i>site</i> SLJGCR07.....	23
Figura 10 – Cenário das antenas do <i>site</i> SLJGCR07.....	24
Figura 11 – Cenário futuro das antenas do <i>site</i> SLJGCR07	25
Figura 12 – Antenas desinstaladas do <i>site</i> SLJGCR07	26
Figura 13 – Antenas <i>Quadband</i> instaladas no <i>site</i> SLJGCR07	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Carregamento da estrutura vertical do <i>site</i> SLJGCR07.....	28
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEV	Área de Esforço ao Vento
AMPS	Advanced Mobile Phone System
CDMA	Code Division Multiple Access
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GSM	Global System for Mobile
LTE	Long Term Evolution
RF	Rádio Frequência
TDMA	Time Division Multiple Access
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
WCDMA	Wide-Band Code Division Multiple Access

SUMÁRIO

Agradecimentos	iv
Resumo	vi
Abstract.....	vii
Lista de Ilustrações	viii
Lista de Tabelas	ix
Lista de Abreviaturas e Siglas	x
Sumário.....	xi
1 Introdução	12
2 Fundamentação Teórica.....	14
2.1 Parâmetros de desempenho das antenas	14
2.1.1 Diagrama de irradiação	15
2.1.2 Ganho	16
2.1.3 Polarização	16
2.2 Arranjo	17
3 Antenas n-band	19
4 Caso real de aplicação de antenas <i>Quadband</i> em sistemas irradiantes.....	23
5 Conclusão.....	29
Referências	30
ANEXO A – <i>Datasheet</i> Antena Comba ODV065R15NB18JJ02-2.....	31

1 INTRODUÇÃO

As tecnologias empregadas nos sistemas de telefonia móvel evoluíram de forma notável nas últimas décadas. O processamento do sinal da primeira geração (1G), AMPS, era caracterizado por um sistema de canal de voz analógico baseado em Acesso Múltiplo por Divisão em Frequência, FDMA. Nas gerações seguintes (2G, 3G, etc.) o canal de voz passou a ser digitalizado via Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo, TDMA, que também foi base para o Sistema Móvel Global, o GSM, e o Acesso Múltiplo por Divisão de Código, CDMA, cada uma com características baseadas num tipo de modulação específico (RODRIGUES, 2000). Atualmente, o usuário passou a dispor do acesso à internet em banda larga. A quarta geração (4G) que é uma tecnologia de transmissão de dados baseada na tecnologia WCDMA (tecnologia de Acesso Múltiplo por Divisão de Código em Sequência Direta de banda larga) e GSM, porém, já que atualmente a transmissão de dados é bem mais comum que a transmissão de voz, a tecnologia 4G dá prioridade a dados de internet. Os diferenciais sobre os outros sistemas são velocidade de conexão e o carregamento de dados.



Figura 1: Evolução da velocidade de *download* das tecnologias de telefonia móvel

Essa evolução no processamento do sinal de voz e dados teve que ser acompanhada concomitantemente com a evolução dos sistemas irradiantes a eles associados, indispensáveis no processo de comunicação visto que o sistema móvel celular

é, em última instância, um enlace de rádio. Os primeiros sistemas irradiantes consistiam de antenas que forneciam cobertura omnidirecional, isto é, irradiando em todas as direções com o mesmo ganho no plano horizontal. Nos sistemas Omnidirecionais, cada antena pode transmitir tipicamente, até 20 canais de RF simultaneamente. Exigências comerciais envolvendo ampliação do número de usuários por célula resultaram em sistemas irradiantes do tipo setorial: três setores de 120° multiplicam por três o número de usuários já que o sistema utiliza o reuso de frequências. Outras técnicas podem ainda ser usadas com esse fim. Por exemplo, a instalação de antenas com polarizações cruzadas (dupla polarização) para garantir a diversidade e a expansão de até 4 portadoras por setor. (CARAM, 2008). A partir da contínua evolução das antenas, surgiram as antenas *QuadBand*, que estão substituindo as antenas *Single Band* e *Dual Band* que estão operando nos sistemas irradiantes das operadoras de telefonia móvel. A tecnologia envolvida na construção de uma antena *QuadBand* é bastante sofisticada.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para analisar os aspectos construtivos de antenas utilizadas em sistemas irradiantes de telefonia móvel e realizar estudo de casos reais de aplicações destas antenas é necessário o conhecimento dos conceitos básicos e parâmetros importantes acerca da teoria das antenas.

Uma antena consiste em um elemento de um sistema de transmissão ou de recepção responsável por irradiar ou captar ondas eletromagnéticas, em outras palavras, uma antena consiste em um elemento transdutor de ondas eletromagnéticas entre um meio confinado e o espaço livre. As primeiras antenas foram inventadas e aplicadas em 1842, fruto de um estudo sobre magnetização de agulhas metálicas, produzidas à distância, por descargas elétricas por Joseph Henry nos Estados Unidos. Com o passar dos anos, a tecnologia foi aprimorando-se e transformando as antenas em elementos indispensáveis nos dias atuais.

2.1 PARÂMETROS DE DESEMPENHO DAS ANTENAS

O desempenho Eletromagnético de uma antena pode ser avaliado através do conhecimento do seus parâmetros característicos. Esses parâmetros avaliam diversas propriedades que a antena detém, que podem ser mensuráveis ou obtidas a partir de deduções matemáticas.

Os principais parâmetros de avaliação de desempenho das antenas são: Diagrama de Irradiação, Diretividade, Ganho, Impedância, Resistência de Irradiação, Área Efetiva, Polarização, nível de lobo secundário, razão frente-costa e Largura do feixe e Largura de Banda.

Para nossas análises sobre os aspectos construtivos das antenas utilizadas em sistemas irradiantes de telefonia móvel, três parâmetros são tidos como relevantes e serão detalhados nos subitens a seguir, são eles, Diagrama de Irradiação, Ganho e Polarização.

2.1.1 DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO

Um diagrama de irradiação trata-se da representação gráfica da capacidade que uma antena tem em distribuir espacialmente a energia aplicada em seus terminais de entrada. Esse diagrama pode representar a intensidade do campo, a fase ou a polarização, porém, na prática, são mais comuns de serem encontrados os diagramas de irradiação de potência e intensidade de campo.

Para elaborar um diagrama de irradiação completo, especificam-se cortes principais do diagrama n-dimensional de irradiação; estes cortes são chamados de corte de azimute (plano horizontal) e corte de elevação (plano vertical) e com a união desses diagramas produzidos pelos cortes é possível presumir o diagrama do espaço 3D. Para elaboração de uma representação do diagrama são utilizados *softwares* de simulação Eletromagnéticas.

Alguns exemplos de formas de representação de diagramas de irradiação típicos são apresentados na figura 2:

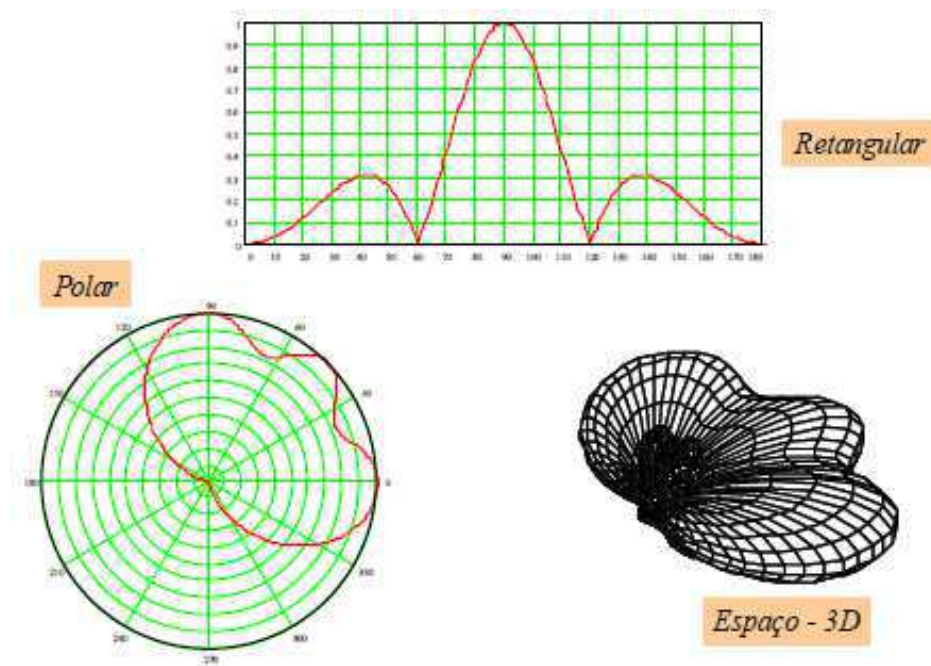


Figura 2: Possibilidades de representação de diagramas de irradiação

2.1.2 GANHO

Para compreender o ganho em antenas, é necessário o conhecimento do conceito ganho diretivo. O ganho diretivo, trata-se da capacidade de uma antena em concentrar energia eletromagnética em uma determinada direção comparado a uma antena de referência. Por isso, o ganho diretivo é uma medida relativa. O máximo valor obtido pelo ganho diretivo de uma antena é definido com Diretividade.

Para finalmente definir o parâmetro ganho, também é necessário o conhecimento sobre a eficiência de irradiação, que trata-se da razão entre a potência irradiada e a potência aplicada pelo transmissor nos terminais da antena.

Por fim, o parâmetro ganho é a relação entre a potência irradiada por uma determinada antena e a potência irradiada pela antena de referência com a mesma potência aplicada nos terminais de ambas as antenas. E numericamente, o ganho de uma antena é dado pelo produto entre a diretividade e a eficiência de irradiação,

$$G = R_{ef}D$$

Em que, R_{ef} é o fator de eficiência da antena.

2.1.3 POLARIZAÇÃO

A orientação espacial em função do tempo do vetor campo elétrico de uma onda eletromagnética irradiada por uma antena define a sua polarização (TRANS-TEL). A polarização se dá de forma linear, circular ou elíptica, a Figura 3 ilustra alguns exemplos.

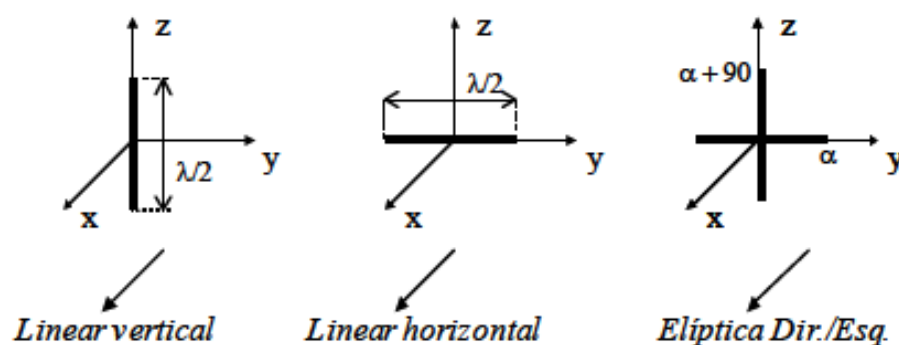


Figura 3: Tipos de Polarização

Com isso vemos que para uma antena dipolo simples, a orientação da polarização linear da onda eletromagnética é a mesma da orientação mecânica da antena. Enquanto uma antena com dois dipolos mecanicamente posicionados perpendicularmente e com

sinais eletricamente defasados em 90° , surge a polarização circular. Caso amplitudes entre os elementos irradiantes sejam idênticas surgem a polarização circular que é um caso específico da polarização elíptica como também o é a polarização linear.

2.2 ARRANJO

Arranjo de antenas é o termo utilizado para caracterizar um agrupamento controlado de um conjunto de antenas idênticas. Um arranjo tem como objetivo principal atingir especificações de diagrama de irradiação ou ganho que não seriam possíveis de obter com a utilização de apenas uma antena isolada. Com isso, pode-se afirmar que uma nova antena é formada a partir do arranjo de antenas isoladas.

Os elementos irradiantes podem ser arranjados de diversas formas, e os três tipos de arranjos mais comuns em aplicações de teleseção o arranjo horizontal, o arranjo vertical e arranjos mistos, que incluem arranjo horizontal e vertical como descrito na figura 4.

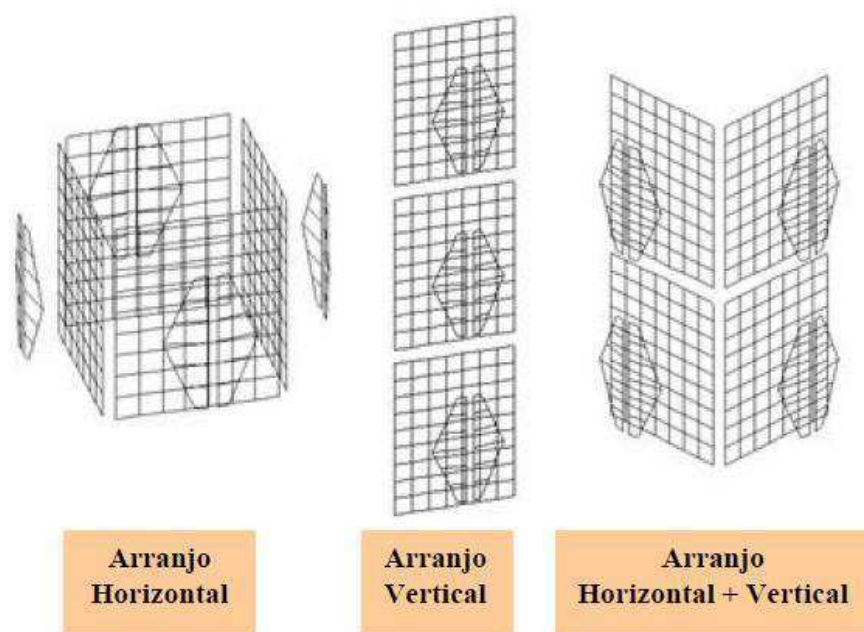


Figura 4: Tipos de arranjos

Como parte integrante de um arranjo de antenas existe necessariamente o sistema de distribuição de potência, responsável por garantir as potências e fases projetadas por elementos (TRANS-TEL).

Como exemplo prático de arranjo, pode-se citar um sistema atual de telefonia móvel, no qual estão instaladas antenas setoriais na estrutura vertical e geralmente divide-

se em três setores e realiza-se um arranjo horizontal com três antenas para garantir cobertura do sinal. Com isso, cada antena é responsável pela cobertura de 120° do plano horizontal. E vale ressaltar que as antenas aplicadas em telefonia móvel já são frutos de um arranjo vertical de elementos irradiantes. Com isso, conclui-se que, um sistema irradiante de telefonia móvel apresenta um arranjo vertical+horizontal.

3 ANTENAS N-BAND

Atualmente, as antenas aplicadas nos sistemas irradiantes de telefonia móvel possuem mais de uma frequência de operação para que seja possível irradiar várias tecnologias de processamento do sinal a partir de uma única antena. Caso isto não fosse possível teríamos que triplicar ou quadruplicar o número de antenas instaladas em uma mesma estrutura vertical para que tecnologias como GSM na frequência 1800 MHz, UMTS nas frequências 850 MHz e 2100 MHz e o LTE nas frequências 700 MHz e 2600 MHz estivessem concomitantemente em operação no sistema de telefonia móvel brasileiro.

A construção de antenas capazes de operar em múltiplas frequências é um processo que vem tendo uma crescente evolução ao longo dos anos e as grandes empresas no âmbito mundial tem destinado parte de seus orçamentos ao desenvolvimento de pesquisas que visam a produção de antenas com níveis eficiência ainda maiores que os atuais para melhor atender o exigente mercado consumidor.

Esse processo desenvolvimento de produtos é cercado de grandes segredos industriais e por isso a disponibilidade de informações acerca das novas tecnologias são escassas. Por isso, nesse trabalho é feito uma análise de antenas utilizando os princípios da engenharia reversa.

Seguindo a linha da engenharia reversa, é apresentado a seguir uma comparação entre uma antena utilizada em sistemas irradiantes de telefonia móvel nos anos 90 e uma antena *Dual-Band* retirada recentemente de um sistema irradiante da operadora Tim. Este trabalho foi realizado no Laboratório de Eletromagnetismo e Microondas Aplicados, (LEMA), localizado na UFCG e o trabalho foi supervisionado pelo professor e orientador deste trabalho, Rômulo Valle.

Na figura 5 são apresentadas as antenas, à direita é apresentada a antena *Single band* que fazia parte dos sistemas irradiantes dos anos 90, seu modelo não foi identificado e à esquerda é apresentada uma antena *Dual band* que foi recentemente retirada de um sistema irradiante da operadora Tim, essa antena foi fabricada pela Andrew e seu modelo é DBXLH-6565C-VTM.

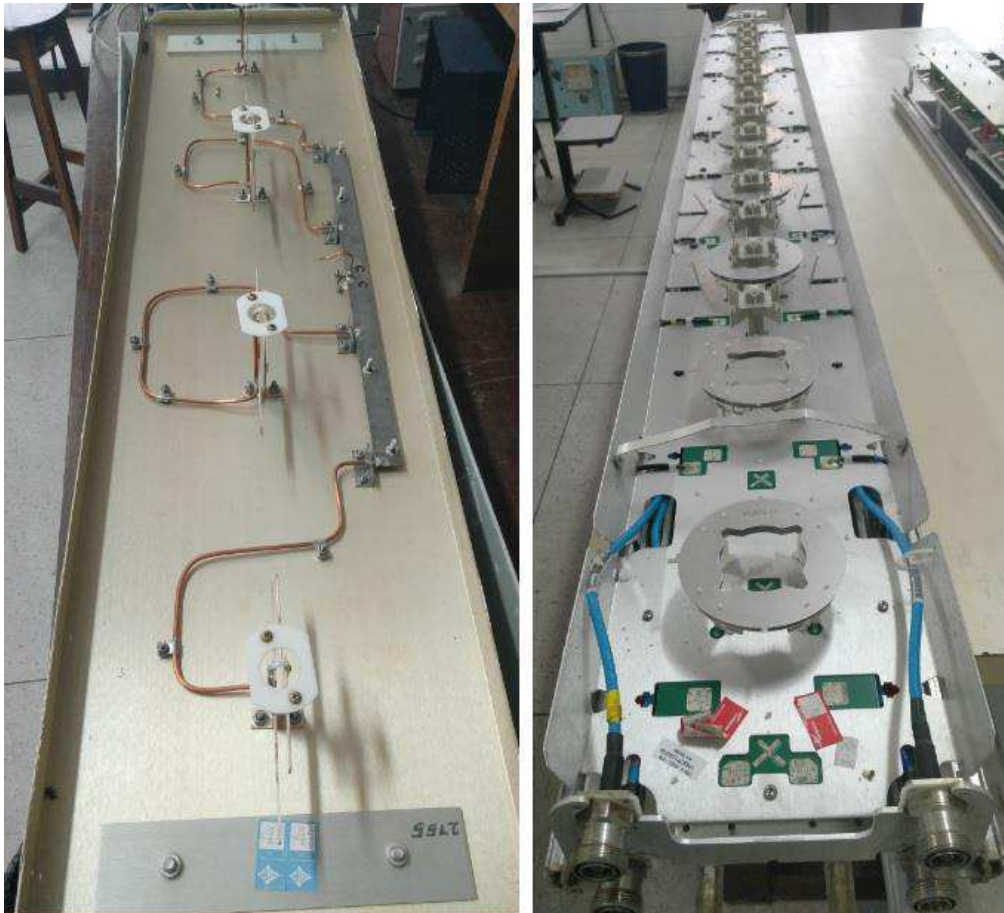


Figura 5: Antenas retiradas de sistemas irradiante de telefonia móvel

Inicialmente percebe-se a imensa diferença entre os materiais utilizados na construção de cada uma. A antena *Single band* apresenta apenas 4 elementos irradiantes, em um arranjo vertical, enquanto a antena *Dual band* apresenta 16 elementos irradiantes, também em um arranjo vertical. Sabe-se que a antena mais antiga é uma antena transmissora e a antena mais moderna trata-se de uma antena transmissora e receptora.

Outro ponto que chama atenção é a evolução dos elementos irradiantes presente em cada conjunto. Pois o metal presente em praticamente todo o corpo dos elementos na primeira, foi substituído por materiais leves, isto tem um impacto significativo no peso das antenas, visto que o peso é uma característica essencial das antenas devido ao fato de que elas ficam presas em estruturas verticais. As Figuras 6 e 7 ilustram esses elementos irradiantes citados.



Figura 6: Elemento irradiante da antena *Single band*



Figura 7: Elemento irradiante da antena *Dual band*

Após a inspeção visual pode-se supor que na antena *Dual band* cada frequência utiliza um grupo de 8 elementos irradiantes para cada frequência e que provavelmente 4 elementos irradiantes atuam como transmissores e os outros 4 como receptores, visto que a placa do circuito agrupa de 4 em 4 elementos irradiantes como mostra a figura 8.

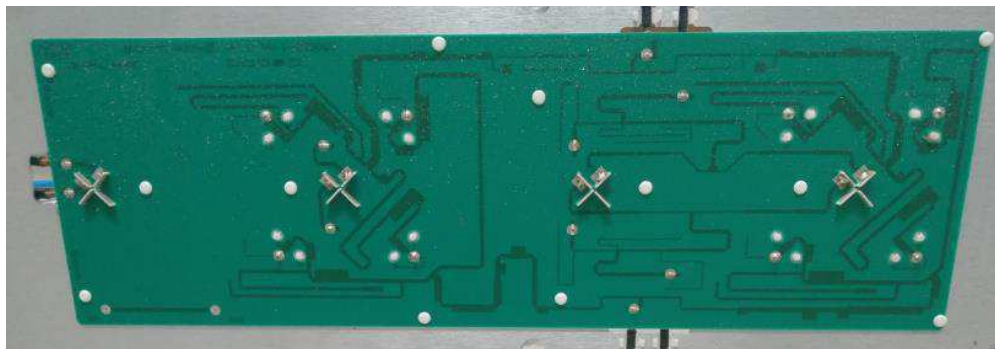


Figura 8: Placa de circuito impresso da antena *Dual band*

Sabe-se que ambas as antenas são aplicadas em sistemas irradiantes do tipo setorial, por isto apresentam arranjo vertical similar. Pois, como a antena *Dual band* é transmissora e receptora, apresenta 8 elementos irradiantes para cada frequência e a antena *Single band* apresenta 4 elementos irradiantes e tem apenas a função transmissora. Com isso concluímos que apesar das diferenças visuais perceptíveis entre os aspectos construtivos, a configuração básica é mantida.

Assim supõe-se que as antenas *Tri band* ou *Quad band* que estão sendo aplicadas atualmente sigam o mesmo padrão e diferencie-se das antenas mais antigas apenas acrescentando-se elementos irradiantes e utilizando arranjos diferenciados para obter o objetivo de irradiar três ou quatro frequências distintas.

4 CASO REAL DE APLICAÇÃO DE ANTENAS

QUADBAND EM SISTEMAS IRRADIANTES

Com base nos dados fornecidos pela Savenge Engenharia LTDA, empresa em que o autor realizou estágio integrado, pode-se apresentar um caso real da substituição de antenas *Dualband* por antenas *Quadband*. A Savenge Engenharia LTDA atua no projeto de Implantação do LTE na frequência de 700 MHz da Tim. Nesse projeto, a empresa é responsável pela execução das instalações dos equipamentos e sistemas irradiantes nos *sites* da operadora.

O *site* SLJGCR07 da Tim será tomado como exemplo da aplicação das antenas *Quadband*, pois a instalação do seu novo sistema irradiante foi realizada no início do mês de agosto do ano de 2017, período no qual o autor estava realizando seu estágio na empresa e por isso foi possível acompanhar os detalhes dessa instalação. Esse *site* localiza-se na cidade de Jaboatão dos Guararapes no estado de Pernambuco. Na Figura 9 é apresentado uma foto do *site*.



Figura 9: Vista Geral dos Equipamentos da Tim existentes no *site*

Uma vistoria inicial foi realizada no *site*, para que a partir dela fosse elaborado o projeto específico de implantação do sistema LTE 700 MHz no local, e esta vistoria constatou que o sistema irradiante do *site* é do tipo setorial, possuindo três setores. Na

estrutura vertical foram encontradas seis antenas *Dualband* da Tim em operação, duas em cada setor, responsáveis por irradiar quatro tecnologias distintas, o GSM na frequência 1800 MHz, o UMTS nas frequências 850 MHz e 2100 MHz e o LTE na frequência 2600 MHz. A Figura 10 ilustra o cenário encontrado em um dos setores.

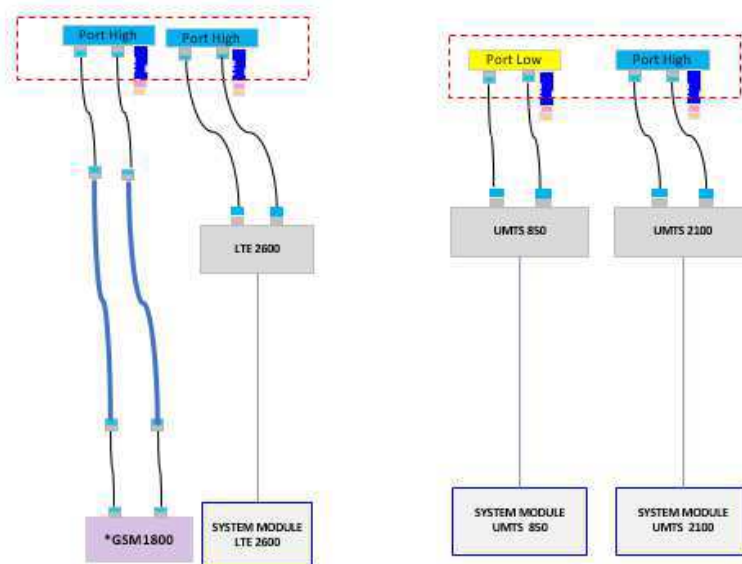


Figura 10: Cenário das antenas do *site* SLJGCR07

O cenário trata-se de uma forma de representação das antenas e das tecnologias conectadas em suas portas. Também é possível identificar através do cenário, se o módulo de RF de uma tecnologia está instalado de forma distribuída, (na estrutura vertical, próximo as antenas), ou de forma concentrada, (no solo, próximo ao *System Module* da sua tecnologia).

A partir do encontrado após a vistoria, a equipe de engenheiros da Savenge Engenharia LTDA inicia a elaboração de uma solução para implantação do sistema LTE 700 MHz. Nesse caso, a solução proposta foi de que as seis antenas que encontram-se em operação no site sejam retiradas e deve-se instalar três antenas com a tecnologia *Quadband* para instalação de todas as tecnologias presentes no *site*, para isto, se faz necessário a instalação de um Diplex para combinar duas frequências que serão irradiadas através da mesma porta. Com isso, teremos cinco tecnologias sendo irradiadas na nova antena. A partir disso, a antena escolhida para o site foi a antena de modelo ODV-065R15NB18JJ02-G fabricada pela empresa COMBA. Essa antena possui duas portas de baixa frequência, (porta R1 664 MHz à 806 MHz e porta R2 824 MHz à 960 MHz), e

duas portas de alta frequência, (porta Y1 1710MHz à 2690 MHz e porta Y2 1710 MHz à 2690 MHz), seu *datasheet* é apresentado no anexo A deste relatório. Pode-se então alocar na porta R1 o LTE na frequência 700 MHz, o UMTS na frequência 850 MHz, o GSM na frequência 1800 MHz combinado ao UMTS na frequência 2100 MHz na porta Y1 e por fim o LTE na frequência 2600 MHz na porta Y2.

A partir dessa solução o cenário futuro do *site* é ilustrado através da figura 11.

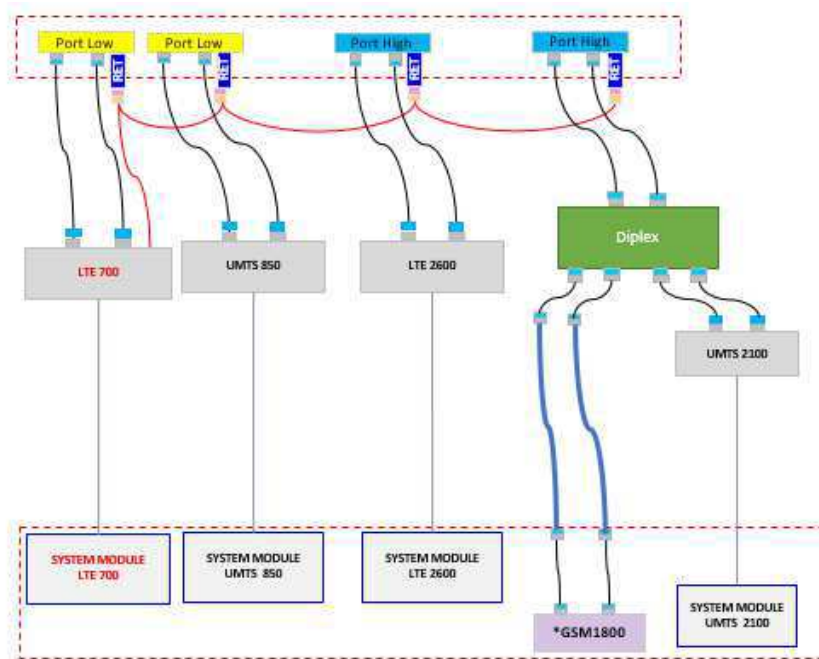


Figura 11: Cenário futuro das antenas do *site* SLJGCR07

Após a aprovação do projeto por parte da empresa Tim, a equipe de técnicos e instaladores da Savenge Engenharia LTDA retornou ao *site* para realizar a troca do sistema irradiante e instalação dos equipamentos. Nesse *site* foram instalados o *System Module* e o *RF Module* para a tecnologia LTE 700 MHz e dois disjuntores para alimentação dos dois equipamentos citados, além disso, foram retiradas as seis antenas e instaladas as novas antenas como mostram as figuras 12 e 13.



Figura 12: Antenas desinstaladas do *site* SLJGCR07



Figura 13: Antenas *Quadband* instaladas no *site* SLJGCR07

Com a instalação das antenas *Quadband*, além da implantação da tecnologia do sistema LTE 700 MHz, um importante parâmetro sofre alteração, o AEV, isto ocorre pelo fato do número de antenas ser reduzido, e com essa redução a carga sobre a estrutura vertical também é reduzida.

Tendo em vista que as operadoras de telefonia móvel pagam por área de esforço ao vento instaladas na estrutura vertical de um *site*, devido ao fato de que as operadoras

geralmente instalam suas antenas em locais que pertencem às empresas detentoras das áreas e estruturas verticais, por isso, a instalação das antenas *Quadband* acarretam em redução de gastos para as operadoras de telefonia móvel.

Nesse *site* tomado como exemplo, a empresa detentora do terreno e da estrutura vertical é a American Tower. A estrutura vertical existente no local é uma torre metálica de base quadrada que possui 50m de altura. Após a vistoria realizada no *site* para realizar o levantamento das informações do local e elaborar o projeto de implantação do sistema LTE 700 MHz foi elaborada uma tabela com as informações sobre o carregamento da estrutura vertical esta tabela 1.

Nota-se que após a instalação do novo sistema irradiante houve uma redução de 33,5% do AEV instalado na estrutura vertical do *site*. O que faz com que o projeto de implantação do LTE 700 MHz seja considerado um excelente projeto de engenharia, pois além de acrescentar uma tecnologia de transmissão da telefonia móvel, traz uma redução de custos operacionais para a operadora Tim.

Para conclusão do trabalho no *site* são realizados testes remotos pela empresa Tim para verificação da transmissão dos sinais das tecnologias GSM 1800 MHz, UMTS 850 e 2100 MHz e do LTE 2600 MHz. Para o LTE 700 MHz recém instalados ainda não estão sendo feitos os testes de transmissão do sinal, pelo fato de que a tecnologia ainda não encontra-se em operação nessa região onde encontra-se o *site*. Após a finalização dos testes e obtenção de êxito nos mesmos, a Tim envia a ordem para que a equipe de instalação da Savenge se retire do *site*.

DADOS CARREGAMENTO TIM (ATUAL + FUTURO)

TIM																	
Operadora	Tecnologia (s)	Frequencia (s)	Sector	Função	Modelo	Dimensões (mm)	Peso (Kg)	Quant.	Altura (m)	Azimute (- NY)	Tilt Mec Elet	Feeder/ F.D.	Observação	AEY (m²)	CA	AEY (m²) total	
TIM	GM/S/LTE	1800/2600	A	RF	H/W/XX-6516DS1-A2M	1390x413x245 18,5 Kg	1	48,0	30	2,0	5	F.O	Retirar	0,57	120	0,68	
	GM/S/LTE	1800/2600	B	RF	H/W/XX-6516DS1-A2M	1390x413x245 18,5 Kg	1	48,0	150	2,0	5	F.O	Retirar	0,57	120	0,68	
	GM/S/LTE	1800/2600	C	RF	H/W/XX-6516DS1-A2M	1390x413x245 18,5 Kg	1	48,0	300	0,0	5	F.O	Retirar	0,57	120	0,68	
	UMTS	850/2100	A	RF	DM65B-M	1974x301x181 17,9 Kg	1	48,0	30	2,0	-	F.O	Retirar	0,59	120	0,71	
	UMTS	850/2100	B	RF	DM65B-M	1974x301x181 17,9 Kg	1	48,0	150	1,0	-	F.O	Retirar	0,59	120	0,71	
	UMTS	850/2100	C	RF	DM65B-M	1974x301x181 17,9 Kg	1	48,0	300	0,0	-	F.O	Retirar	0,59	120	0,71	
	UMTS	2100	-	RF	RRUS 01	636x383x169 20 Kg	1	47,0	-	-	-	F.O	Manter	0,24	120	0,29	
	UMTS	850	-	RF	RRUS 01	636x383x169 20 Kg	1	47,0	-	-	-	F.O	Manter	0,24	120	0,29	
	UMTS	2600	-	RF	RRUS 01	636x383x169 20 Kg	1	47,0	-	-	-	F.O	Manter	0,24	120	0,29	
	LTE	-	-	TX	MPL-Link 600	600	1	48,0	70	-	-	F.I	Manter	0,28	160	0,45
	LTE/WCDMA	700/850/2100/1800/2600	A	RF	ODV-065R15NB18-U02-G	1500x380x138 28 Kg	1	48,0	30	30	-	-	F.O	Instalar	0,57	120	0,68
	LTE/WCDMA	700/850/2100/1800/2600	B	RF	ODV-065R15NB18-U02-G	1500x380x138 28 Kg	1	48,0	150	150	-	-	F.O	Instalar	0,57	120	0,68
	LTE/WCDMA	700/850/2100/1800/2600	C	RF	ODV-065R15NB18-U02-G	1500x380x138 28 Kg	1	48,0	300	300	-	-	F.O	Instalar	0,57	120	0,68
	LTE	700	-	RF	RRUS 01	636x383x169 20 Kg	1	47,0	-	-	-	-	F.O	Instalar	0,24	120	0,29
	AEY TOTAL ATUAL														5,49		
	TOTAL CARGA A RETIRAR														4,17		
	TOTAL CARGA A INSTALAR														2,33		
ACRÉSCIMO AEY														-1,84			
AEY FINAL														3,65			

Tabela 1: Carregamento da estrutura vertical do site SLJGCR07

5 CONCLUSÃO

O trabalho de conclusão de curso possibilitou ao autor o ganho de conhecimentos teóricos e práticos que são valiosos para o seu desenvolvimento técnico acerca de uma área da engenharia elétrica que até então era desconhecida pelo mesmo. Com isso, este trabalho cumpriu o seu papel de aprofundar o conhecimento que foi vista de forma básica durante o curso de graduação.

As inspeções realizadas em laboratório possibilitaram a identificação dos elementos que constituem o sistema irradiante e seus aspectos construtivos e tudo que foi visto durante as análises confirmou o embasamento teórico que foi realizado. Com isso, conclui-se que o trabalho de engenharia reversa foi de grande valia.

O estudo de um caso real de aplicação de antenas permitiu conhecer a forma que as empresas de telecomunicações trabalham e além de observar as teorias sendo postas em prática serviu como preparação do aluno para enfrentar o mercado de trabalho que lhe espera após a conclusão do seu curso de graduação.

Por fim, pode-se concluir que esse trabalho contribuiu significativamente para o crescimento e formação de um profissional de Engenharia Elétrica.

REFERÊNCIAS

CARAM, V. O. *Gerenciamento Do Espectro De Frequências, Otimização E Compartilhamento De Rede Móvel Em Múltiplas Tecnologias*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília. 2008.

RODRIGUES, M. E. da C., *Radiopropagação – Comunicações Móveis e Rádio Acesso*. 2000.

VALLE, R. R. M. do. *Fundamentos de Antenas: Um curso introdutório*. UFPB Editora Universitária. 1997.

TRANS-TEL, *Utilização de Antenas de Transmissão*.

ANEXO A – DATASHEET ANTENA COMBA

ODV065R15NB18JJ02-2

Outdoor Directional Quad-band Antenna

ODV-065R15NB18JJ02-G

XXXX Pol, 65°


698-806/824-960/1710-2690/1710-2690MHz

13.5/14.3/17.8/17.8dBi, E-Tilt: 2-14/2-14/2-12/2-12

Electrical Specifications

Parameters / Specifications	Frequency Range (MHz)					
	698-806	824-894	880-960	1710-1990	1920-2170	2490-2690
Polarization	±45°					
Gain (dBi)	13.5	14.0	14.3	16.7	17.2	17.8
Horizontal Beamwidth (°)	68	65	65	68	64	60
Vertical Beamwidth (°)	15	14	13	7.0	6.0	4.8
Electrical Downtilt (°)	2-14	2-14		2-12 / 2-12		
1 st Upper Sidelobe Suppression (dB)	≥15(2°) ≥14(7°) ≥13(14°)		≥25(typ.)		≥16(2°) ≥15(7°) ≥14(12°)	
Front-To-Back Ratio 180°±30° (dB)	≥25(typ.)					
Cross-polar Discrimination @0° (dB)	≥18(typ.)			≥20(typ.)		
VSWR	≤1.5:1					
Isolation Intra-system (dB)	≥28					
Isolation Inter-system (dB)	≥30					
IM3 (2x43 dBm Carrier) (dBc)	<-150					
Maximum Power per Port (W)	500			250		
Impedance (Ω)	50					

Mechanical Specifications

Parameters	Specifications	Product Picture
Dimensions, HxWxD (mm) / (in)	1500x380x138 / 59.1x15.0x5.4	
Weight, w/o Mounting Kit (kg) / (lb)	28.0 / 61.7	
Weight, with Mounting Kit (kg) / (lb)	34.3 / 75.6	
Radome Material and Color	Fiberglass, Light Grey	
Mounting Kit	00-ZJ10(12)	
Connector Type and Location	8 x 7/16 DIN-Female, Bottom	
Operational Temperature (°C)	-50 to +70	
Operational Humidity (%)	≤95	
Operational/Max Wind Speed (km/h)	150 / 200	
Wind Load* @150km/h	694 / 126 / 824	
Shipping Dimensions, HxWxD (mm) / (in)	1965x490x270 / 77.4x19.3x10.6	
Shipping Weight (kg) / (lb)	41.5 / 91.4	
Lightning Protection	Direct Ground	

* TIA-222-G