



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
ESCOLA POLITÉCNICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA ELÉTRICA**



**GILVAN CARVALHO CUNHA**

**EVENTOS DE INTERRUPÇÃO: ESTUDO EM ESTAÇÕES  
RÁDIO BASE (ERB) DE UMA OPERADORA DE TELEFONIA  
MÓVEL**

Salvador

2017

**GILVAN CARVALHO CUNHA**

**EVENTOS DE INTERRUPÇÃO: ESTUDO EM ESTAÇÕES  
RÁDIO BASE (ERB) DE UMA OPERADORA DE TELEFONIA  
MÓVEL**

Dissertação de Mestrado Apresentado ao  
Departamento de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal da Bahia como forma  
de avaliação da disciplina Pesquisa  
Orientada em Engenharia Elétrica

Orientador: Prof. Dr. Daniel Barbosa

Salvador

2017

**GILVAN CARVALHO CUNHA**

**EVENTOS DE INTERRUPÇÃO: ESTUDO EM ESTAÇÕES  
RÁDIO BASE (ERB) DE UMA OPERADORA DE TELEFONIA  
MÓVEL**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica, Escola Politécnica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Bahia.

Aprovada em 8 de maio de 2017.

Daniel Barbosa – Orientador \_\_\_\_\_  
Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo  
São Paulo, Brasil.  
Universidade Federal da Bahia

Ricardo Augusto Souza Fernandes \_\_\_\_\_  
Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo  
São Paulo, Brasil.  
Universidade Federal de São Carlos

Paulo Roberto Ferreira de Moura Bastos \_\_\_\_\_  
Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de Campina Grande  
Paraíba, Brasil.  
Universidade Federal da Bahia

Kleber Freire da Silva \_\_\_\_\_  
Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo  
São Paulo, Brasil.  
Universidade Federal da Bahia

Carvalho Cunha, Gilvan  
Eventos de Interrupção: Estudo em Estações Rádio Base (ERB) de  
uma Operadora de Telefonia Móvel / Gilvan Carvalho Cunha. --  
Salvador, 2017.  
97f.

Orientador: Daniel Barbosa.  
Dissertação (Mestrado - Engenharia Elétrica) -- Universidade  
Federal da Bahia, Escola Politécnica, 2017.

1. Telefonia Móvel. 2. Qualidade da Energia Elétrica. I. Barbosa,  
Daniel. II. Título.

## RESUMO

Com o aumento do número de usuários dos sistemas de telefonia móvel nos últimos anos, as operadoras necessitaram ampliar a quantidade de Estações Rádio Base (ERBs) para suprir a demanda de tráfego. Desta forma, o consequente aumento no consumo da energia elétrica traz consigo os problemas relacionados à Qualidade da Energia Elétrica (QEE) fornecida pela concessionária. Diante deste cenário, torna-se importante estudar a influência da qualidade da energia elétrica entregue a essas estações, verificando se os eventos de interrupções estão impactando tanto os usuários como as operadoras de telefonia móvel. Desse modo, o trabalho aqui apresentado visa realizar um estudo sobre os efeitos dos eventos de interrupção ligados a QEE nas ERBs de uma determinada operadora em uma cidade do Estado da Bahia, baseando-se na análise do impacto desses eventos nos indicadores da Qualidade da Telefonia Móvel (QTM)

**Palavras-chaves:** Estações Rádio Base, Qualidade da Energia Elétrica, Interrupções, Telefonia Móvel, Indicadores de Qualidade.

## ABSTRACT

With the increase in the number of users of mobile phone systems in recent years, operators have needed to increase the number of Radio Base Stations (RBSs) to meet the traffic demand. In this way, the consequent increase in the consumption of electric energy brings with it the problems related to the Energy Power Quality (EPQ) provided by the concessionaire. Given this scenario, it is important to study the influence of the quality of the electricity delivered to these stations, verifying that the interruption events are impacting both the users and the mobile operators. Therefore, the work presented here aims to perform a study on the effects of the interruption events linked to QEE in the RBSs of a given operator in a city in the State of Bahia, based on the analysis of the impact of these events on the Quality Indicators (QT).

**Keywords:** Radio Base Stations, Electric Power Quality, Interruptions, Mobile Telephony, Quality Indicators.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Mercado de telefonia móvel e outros mercados.....	12
Figura 3.1 – Sequências de manobra de proteção.....	29
Figura 3.2 - Estação Rádio Base (ERB).....	35
Figura 3.3 - Rede de Telefonia.....	36
Figura 3.4 - Topologia típica de rede GSM e UMTS. ....	38
Figura 3.5 - Topologia típica de rede GSM. ....	39
Figura 3.6 - Topologia típica de rede LTE.....	42
Figura 4.1 - Predição de cobertura para várias ERB.....	56
Figura 4.2 - Taxa de Disponibilidade de Serviço por mês em uma cidade nos anos de 2015/2016 (tecnologia 3G). ....	60
Figura 4.3 – Chuva Acumulada Mensal durante o ano de 2015 na cidade estudada.....	61
Figura 4.4 – Chuva Acumulada Mensal durante o ano de 2016 na cidade estudada.....	61
Figura 4.5 – Serveability Voz x Taxa de Disponibilidade de Serviço para uma ERB 3G. ....	62
Figura 4.6 - Serveability Dados x Taxa de Disponibilidade de Serviço para uma ERB 3G. ..	62
Figura 4.7 - Taxa de Disponibilidade de Serviço por mês para uma cidade em 2015/2016 (tecnologia 2G). ....	65
Figura 4.8 - Serveability Voz x Taxa de Disponibilidade de Serviço para uma cidade .....	66
Figura 4.9 - Serveability Dados x Taxa de Disponibilidade de Serviço para uma cidade .....	66
Figura 4.10 - Taxa de Disponibilidade de Serviço por mês para uma ERB 4G .....	68
Figura 4.11 - Taxa de Disponibilidade do Serviço em função do Número Médio de Usuários (ERB).....	71
Figura 4.12 - Distribuição da Taxa de Disponibilidade durante o mês de Janeiro/2016 (ERB 3G).....	72
Figura 4.13 - Distribuição da Taxa de Disponibilidade durante o mês de Janeiro/2016 (ERB 2G).....	74
Figura 4.14 – Proporção de Variância aplicada aos indicadores da QTM (caso 3G). ....	76
Figura 4.15 – Proporção de Variância aplicada aos indicadores da QTM (caso 2G). ....	77
Figura 4.16 - Comparativo de Tráfego de Voz entre ERBs de duas cidades - Tecnologia 3G. ....	79
Figura 4.17 - Comparativo de Tráfego de Dados entre ERBs de duas cidades - Tecnologia 3G. ....	79
Figura 4.18 - Comparativo de Tráfego de Voz entre ERBs de duas cidades - Tecnologia 2G. ....	80
Figura 4.19 - Comparativo de Tráfego de Dados entre ERBs de duas cidades - Tecnologia 2G. ....	80
Figura 4.20 - Comparativo de Tráfego de Dados entre ERBs de duas cidades - Tecnologia 4G. ....	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Classificação das Variações de Tensão de Curta Duração .....	33
Tabela 4.1 - Qui-Quadrado para diferentes graus de liberdade (g.l.) .....	58
Tabela 4.2 – Indicadores de Continuidade.....	64
Tabela 4.3 - Indicadores de Continuidade 2 .....	69
Tabela 4.4 - Cálculo da Correlação Canônica entre Indicadores - Tecnologia 3G. ....	77
Tabela 4.5 - Cálculo da Correlação Canônica entre Indicadores - Tecnologia 2G. ....	78



## LISTA DE SIGLAS

3GPP	<i>3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project</i>
AEMF	Análise de Efeitos e Modos de Falha
AEMF-MC	Análise de Efeitos e Modos de Falha em Monte Carlo
AMPS	<i>Advanced Mobile Phone System</i>
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BSS	<i>Base Station Subsystem</i>
CBSA	Computer Business Equipment Manufacturing Association
CC	Corrente Contínua
CCC	Central de Comutação Comum
CIC	Custos de Interrupção do Cliente
CS	Circuito <i>Switched</i>
DEC	Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
DIC	Duração de Interrupção por Unidade Consumidora
DMIC	Duração Máxima de Interrupção por Unidade
DRV	<i>Dynamic Voltage Restorer</i>
ENS	Energia Não Fornecida
ERB	Estação Rádio Base
FEC	Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
FIC	Frequência de Interrupção por Unidade Consumidora
GERAN	<i>GSM/EDGE Radio Access Network</i>
GSM	<i>Global Service for Mobile Communications</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
LTE-UE	<i>Long Term Evolution User Equipment</i>
MAIFI	<i>Momentary Average Interruption Frequency Index</i>
MME	<i>Mobility Manangement Entity</i>
MS	<i>Mobile Station</i>
MSC	<i>Mobile Switching Centre</i>
QEE	Qualidade da Energia Elétrica
QTM	Qualidade da Telefonia Móvel
PGMQ	Plano Geral de Metas de Qualidade

PMM	Período de Maior Movimento
PMT	Período de Maior Tráfego
PRODIST	Procedimento de Distribuição
PS	<i>Packet Switched</i>
RNC	<i>Radio Network Controller</i>
RNS	<i>Radio Network Subsystem</i>
RSCP	<i>Reference Signal Received Power</i>
SEP	Sistemas Elétricos de Potência
SDCCH	Standalone Dedicated Control Channel
SDMT	Sistemas de Distribuição de Média Tensão
SGSN	<i>Serving GPRS Support Node</i>
SMP	Serviço Móvel Pessoal
SMS	<i>Short Messenger Service</i>
TA	<i>Timing Advance</i>
TCH	<i>Traffic Channels</i>
UE	<i>User Equipment</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
UPS	<i>Uninterruptible Power Source</i>
UTRAN	<i>UMTS Terrestrial Radio Access Network</i>
VoLL	<i>Value of Lost Load</i>
WCDMA	<i>Wide-Band Code-Division Multiple Access</i>

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	JUSTIFICATIVA.....	13
1.2	OBJETIVO GERAL .....	14
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
1.4	CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA.....	15
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
2	PESQUISA BIBLIOGRÁFICA .....	17
2.1	BREVE REVISÃO SOBRE QEE .....	17
2.2	REVISÃO COM FOCO NOS IMPACTOS ECONÔMICOS .....	18
2.3	CONSIDERAÇÕES PARCIAIS.....	26
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	27
3.1	QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA.....	27
3.1.1	<i>Interrupção</i> .....	28
3.1.2	<i>Interrupções Sustentadas</i> .....	29
3.1.3	<i>Indicadores de Continuidade do Serviço de Distribuição da Energia Elétrica</i> .....	30
3.1.3.1	Indicadores Individuais.....	30
3.1.3.2	Indicadores Coletivos.....	31
3.1.4	<i>Regulamentação da QEE</i> .....	32
3.2	TELEFONIA MÓVEL .....	34
3.2.1	<i>Arquitetura de Redes Celulares</i> .....	37
3.2.2	<i>Rede de Acesso de Rádio – 2G</i> .....	39
3.2.3	<i>Rede de Acesso de Rádio – 3G</i> .....	40
3.2.4	<i>Rede de Acesso de Rádio – 4G</i> .....	42
3.2.5	<i>Rede de Acesso de Rádio – 5G</i> .....	43
3.2.6	<i>Indicadores de Qualidade</i> .....	44
3.2.6.1	Indicadores Medidos para o Serviço de Voz .....	45
3.2.6.2	Indicadores Medidos para o Serviço de Dados .....	47
3.2.6.3	Taxa de Disponibilidade do Serviço .....	48
3.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	48
3.3.1	<i>Técnica Multivariada</i> .....	49
3.3.1.1	Componentes Principais .....	49
3.3.1.2	Correlações Canônicas.....	50
3.3.1.3	Análise Estatística de Bernoulli .....	51
3.4.	CONSIDERAÇÕES PARCIAIS.....	53
4	ESTUDO DE CASO.....	55
4.1	PREDIÇÃO DE COBERTURA .....	55
4.2	QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA <i>VERSUS</i> QUALIDADE DA TELEFONIA MÓVEL.....	57
4.2.1	<i>Estação Rádio Base – Tecnologia 3G (WCDMA)</i> .....	59
4.2.2	<i>Estação Rádio Base – Tecnologia 2G (GSM)</i> .....	65
4.2.3	<i>Estação Rádio Base – Tecnologia 4G (LTE)</i> .....	68
4.2.4	<i>Considerações Parciais</i> .....	69
4.3	QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA <i>VERSUS</i> TRÁFEGO.....	70
4.3.1	<i>Análise da Variação de Usuários</i> .....	71

4.3.1.1	Análise Estatística de Bernoulli - Tecnologia 3G (WCDMA) .....	72
4.3.1.2	Análise Estatística de Bernoulli - Tecnologia 2G (GSM).....	73
4.3.1.3	Aplicação das Técnicas Multivariadas.....	75
4.3.1.3.1	Indicadores 3G (WCDMA) .....	75
4.3.1.3.2	Indicadores 2G (GSM) .....	77
4.3.1.4	Análise de Tráfego – Tecnologia 3G .....	78
4.3.1.5	Análise de Tráfego – Tecnologia 2G .....	80
4.3.1.6	Análise de Tráfego – Tecnologia 4G .....	81
5	CONCLUSÃO .....	83
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
	APÊNDICE A – PRODUÇÃO CIENTÍFICA .....	93
	APÊNDICE B – LIMITE DE CONTINUIDADE POR UNIDADE CONSUMIDORA.....	94
	APÊNDICE C – PLANTA BAIXA DE UMA ESTAÇÃO RÁDIO BASE.....	95

## 1 Introdução

O primeiro sistema de comunicação móvel celular (*Advanced Mobile Phone System* – AMPS), denominado primeira geração (1G), foi lançado na cidade de Chicago nos Estados Unidos, em 1978, e tinha como objetivo fornecer apenas o serviço de voz. Por ser um sistema novo, possuía diversas limitações como: baixa eficiência no uso do espectro de frequências, limitação em cobertura, baixíssima imunidade ao ruído, terminal com elevado tamanho, bateria com baixa autonomia e custos elevados para manutenção e operação que eram repassados aos usuários e, por conta de todos estes fatores, limitava-se ao uso empresarial (HUFF, 1979).

Nos anos 90, começava a surgir no mercado à segunda geração tecnológica da telefonia móvel (*Global System for Mobile Communications* - GSM), na qual foi incluída a utilização da tecnologia digital, ou seja, esse sistema passou a fazer o tratamento dos erros com o uso de sofisticados algoritmos de detecção. Essa nova tecnologia possibilitou, também, o desenvolvimento de equipamentos de tamanho reduzido, o aumento na autonomia no uso da bateria, a redução dos custos devido à massificação da produção e a inclusão do serviço de mensagem curta (*Short Messenger Service* – SMS).

Após dez anos do sistema de 2ª geração, uma nova arquitetura foi lançada no mercado com a capacidade de comutação de pacotes (*Packet Switched* – PS) e de circuitos (*Circuit Switched* – CS). Esse novo sistema foi denominado de terceira geração (*Universal Mobile Telecommunications System* – UMTS) e permitiu uma separação das transmissões dos serviços de voz e de dados, o que possibilitou a utilização em massa dos serviços de dados com um aumento significativo nas taxas de transmissão e a modernização das técnicas de transmissão e recepção (HOLMA e TOSKALA, 2007).

Com o surgimento dessa nova tecnologia, a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), através do seu relatório anual, apurou que, no primeiro mês de 2006, houve um registro total de 87,5 milhões de telefones móveis habilitados no Brasil, registrando um aumento de 26% se comparada às habilitações registradas em relação ao mesmo mês do ano anterior (ANATEL, 2006). Esse uso crescente de aparelhos celulares implica em um aumento na busca por estudos no setor, havendo uma necessidade de regular o seu uso e de suprir às demandas para

atendimento destes consumidores. As operadoras de telefonia móvel, por vez, verificaram que este fato implicava na necessidade da ampliação dos serviços de dados, fazendo com que as taxas de *download* e de *upload* (serviço de dados) fosse se tornando o principal serviço a ser ofertado em detrimento do serviço de voz.

Esta recente demanda, a qual resulta em uma crescente utilização do serviço de dados, vêm sendo influenciada pelo advento dos smartphones, visto que esses novos equipamentos, desde o seu lançamento, foram voltados para o uso massivo de internet, provocando desse jeito um grande uso de dados e o conseqüente congestionamento das redes de todas as operadoras de telefonia móvel. Diante disso, onde a utilização de dados é cada vez mais frequente entre os usuários, uma nova perspectiva quanto ao sistema móvel se configura, provocando à necessidade de uma nova tecnologia que seja voltada ao tráfego de dados.

Com o objetivo de suprir essa demanda, o comitê liderado pelo *3rd Generation Partnership Project (3GPP)*, órgão que se encarrega da padronização dos sistemas de comunicação móvel, desenvolveu a arquitetura 4G (*Long Term Evolution - LTE*). Para o órgão regulador, só pode ser considerado que a tecnologia 4G foi alcançada se as operadoras chegarem as premissas mínimas de taxa de velocidade estimada em 1 Gbps de *download*. Todavia, a obtenção dos requisitos mínimos está distante de tornar-se realidade, pois, segundo a OpenSignal, companhia que mede a performance das operadoras de celular, no quarto trimestre de 2016 a média brasileira de velocidade da internet 4G era de 19,7 Mbps (OPENSIGNAL, 2016).

Frente à importância da telefonia móvel no mundo, é interessante notar que em uma análise comparativa com outros meios de comunicação, verifica-se que o número de usuários nesse setor é superior aos de outros mercados mais populares, como a própria Internet (fixa), por exemplo. A Figura 1.2 fornece uma estimativa de mercado que permite verificar o quanto os terminais móveis penetraram nos mercados de comunicação (OFCOM, 2016).

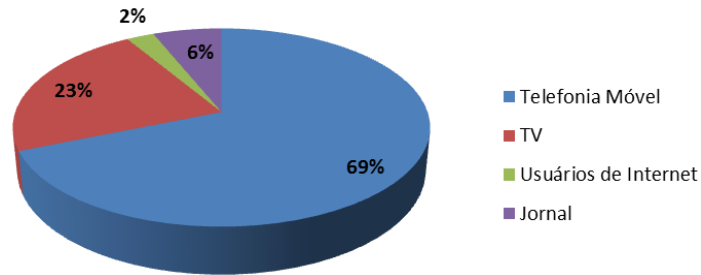


Figura 1.1 - Mercado de telefonia móvel e outros mercados.  
Fonte: OFCOM (2016).

Com o aumento do número de usuários dos sistemas de rede móvel, as operadoras necessitaram ampliar a quantidade de Estações Rádio Base (ERB) para suprir a demanda de tráfego, sendo necessária à instalação de um maior número de equipamentos transmissores. Desta forma, o consequente aumento no consumo da energia elétrica traz consigo os problemas relacionados ao fornecimento por parte da concessionária, uma vez que o suprimento nem sempre apresenta a qualidade esperada. Nesse contexto, no qual o serviço de telecomunicações está atrelado aos problemas de Qualidade da Energia Elétrica (QEE), faz-se necessário uma melhor análise dos impactos provocados pelos fenômenos associados, em particular, nos sistemas de telefonia móvel.

Na telefonia móvel destacam-se alguns eventos ligados a QEE que afetam diretamente o serviço, causando impactos tanto do lado da operadora quanto do assinante. Dentre os problemas relacionados, identificam-se as interrupções que, dependendo da duração e da região de ocorrência, podem prejudicar o serviço de telefonia móvel em todas as localidades de uma determinada cidade (ALMEIDA, 2014).

É importante salientar que existem três causas para a ocorrência dos eventos de interrupção no fornecimento da energia elétrica pela concessionária, são elas: falhas no sistema de energia, falhas de equipamentos ou mau funcionamento dos sistemas de controle. Normalmente, os eventos citados anteriormente são classificados de acordo com seu tempo de duração e se caracterizam pela redução da tensão de suprimento a um valor abaixo de 10% do seu nominal (CORRÊA, 2007).

Para reduzir os impactos, principalmente das interrupções do sistema de energia elétrica, as empresas de telefonia móvel têm adotado o uso de geradores, pois, como esse serviço é de utilidade pública, estas são fiscalizadas constantemente pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) através dos

indicadores de qualidade de serviço, os quais estão definidos no Regulamento de Indicadores de Qualidade do Serviço Móvel Pessoal (SMP) (ANATEL, 2002). É factível salientar que os indicadores do SMP são susceptíveis a QEE, uma vez que medem a qualidade da telefonia móvel em uma operadora e, um evento de interrupção, por exemplo, pode comprometer o funcionamento de uma ERB que está provendo o serviço telefônico prestado, o que acarreta na degradação da qualidade do mesmo.

Corroborando com o supracitado e com o objetivo de aumentar a compreensão sobre a Qualidade da Energia Elétrica (QEE) associada ao funcionamento das centrais telefônicas, Caciotta (2008) e Leccese (2007) realizaram medições de QEE em quatro centrais telefônicas de grande porte da cidade de Roma (Itália). Os autores verificaram que os baixos índices de QEE podem afetar o serviço de telefonia fixa, principalmente devido às interrupções provocadas por sobretensões. Entretanto, os dados observados pelos autores não contemplam informações da telefonia móvel nem expõe qualquer comparativo com a energia da concessionária.

Apesar da preocupação em relação à QEE e dos seus impactos nos processos produtivos e na prestação de serviços, há uma carência de estudos que relacionem esse assunto as centrais telefônicas, em especial aquelas que operam com a telefonia móvel, o que pode ser justificado pelo fato desses sistemas atuarem na retaguarda, de forma imperceptível para aqueles que não se envolvem diretamente com o fornecimento da energia elétrica (ARTIOLI *et. al.*, 2012).

Diante desse cenário e da escassez de trabalhos acerca da proposta aqui apresentada, a qual relaciona as interrupções no fornecimento da energia elétrica com a telefonia móvel, esse trabalho se torna relevante uma vez que os prejuízos econômicos causados por interrupções podem ser consideráveis, principalmente em relação aos fatores intangíveis, como as receitas perdidas pelos clientes em face à indisponibilidade do serviço, dentre outros.

### 1.1 Justificativa

Conforme visto no item anterior, os eventos de interrupção impactam diretamente o serviço de telefonia móvel e, conseqüentemente, afetam os



indicadores SMP medido pela ANATEL. Nesse sentido, o conselho diretor da Agência Nacional de Telecomunicações, no uso de suas atribuições, realizou uma consulta pública no período entre os dias 28 de Julho de 2016 e 27 de Agosto de 2016 com o objetivo de aprovar o Regulamento de Disponibilidade dos Serviços de Telecomunicações (ANATEL, 2016), o qual prevê uma compensação pecuniária a todos os assinantes do serviço do município a ser pago pela operadora.

Para os assinantes esse novo regulamento resultará em uma clara compensação por cada período em que o serviço fornecido pela operadora de telefonia móvel ficar indisponível. Entretanto, para a operadora, haverá uma preocupação ainda maior em relação à disponibilidade do sistema, o que aumenta a importância do estudo proposto por esse trabalho. Essa atenção não está apenas relacionada com a nova proposta da ANATEL, mas também existe uma relevância quanto a manutenção dos indicadores SMP dentro das metas estabelecidas pela agência reguladora.

## 1.2 Objetivo Geral

Seguindo o que foi apresentado nos itens anteriores, este trabalho visa realizar um estudo sobre os efeitos dos eventos de Interrupção da Energia Elétrica fornecida pela concessionária nas ERBs localizadas em uma determinada cidade do Estado da Bahia, baseando-se num comparativo entre os indicadores do serviço de distribuição da energia elétrica e da telefonia móvel.

## 1.3 Objetivos Específicos

Além do objetivo geral, existem alguns mais específicos, os quais tem grande relevância para a conclusão da análise proposta, sendo esses:

- Analisar eventos de interrupção em Estações Rádio Base que possam interferir na qualidade do serviço de telefonia móvel oferecido pela operadora;
- Realizar uma avaliação dos indicadores da telefonia móvel, relacionando-os com os eventos de interrupção;

Até o momento já foram apresentados os problemas a serem estudados, os objetivos a serem atingidos, bem como um pouco do histórico e de alguns conceitos relacionados com o estudo proposto. Dessarte, nos próximos itens desse Capítulo, será apresentada a contribuição que a pesquisa dessa dissertação dará ao meio científico e a estrutura que será utilizada nessa dissertação.

#### 1.4 Contribuições da Pesquisa

O projeto proposto tem como contribuição principal apresentar os impactos dos eventos de interrupção em uma Estação Rádio Base de uma operadora de telefonia móvel, podendo servir para o desenvolvimento de outras investigações em futuros trabalhos. Com os resultados obtidos é possível avaliar as altas perdas pelas operadoras. Existem na literatura alguns estudos referentes a essa aplicação, porém esse tipo de estudo ainda não foi realizado.

#### 1.5 Estrutura do trabalho

Frente ao que já foi apresentado, esse trabalho será estruturado da seguinte maneira:

- Capítulo 2: apresentará os trabalhos relacionados à Qualidade da Energia Elétrica através de um levantamento bibliográfico acerca do assunto;
- Capítulo 3: tratará de todo o conceito envolvido, tanto da parte de Telefonia Móvel (conceitos, arquitetura de rede e diferenciação entre as tecnologias) como da parte da Qualidade da Energia Elétrica com foco em eventos de Interrupção, o qual será tratado com ênfase no estudo proposto. Explicações sobre algumas técnicas de análise a serem utilizadas também estarão contidas nesse capítulo.
- Capítulo 4: todos os resultados pertinentes serão apresentados, seguidos das devidas validações e análises as quais sejam necessárias para o atingimento dos objetivos traçados no item 1.2 e 1.3 dessa dissertação. Além de alcançar o entendimento acerca do

assunto, serão apresentadas algumas análises visando mostrar que a QEE está diretamente ligada a telefonia móvel.

## 2 Pesquisa Bibliográfica

Ao iniciar esse capítulo, deve ser lembrada a importância do levantamento bibliográfico, para que dessa maneira haja a possibilidade de conhecer o que há de mais novo na literatura correlata com o tema proposto e, assim, mostrar a relevância deste trabalho. Nessa pesquisa bibliográfica em específico, serão apresentados alguns artigos científicos sobre a Qualidade da Energia Elétrica, focando nos eventos de interrupção, os quais serão tema central desse estudo.

### 2.1 Breve revisão sobre QEE

A Qualidade da Energia Elétrica (QEE) é definida por Franco (2007) e Dugan *et. al.* (2002) como “qualquer problema da energia manifestada na tensão e corrente que resulte em falha ou má operação de equipamentos de consumidores”. Tais alterações podem ocorrer em várias partes do sistema de energia, seja nas instalações de consumidores ou no sistema supridor da concessionária. Beaty *et. al.* (2012) reforçam ainda que os fenômenos de Qualidade da Energia Elétrica (QEE) são inerentes à operação dos Sistemas Elétricos de Potência (SEP) e afetam todos os tipos de consumidores por meio de diversos tipos de efeito, como aquecimento, interrupção de fornecimento, dentre outros.

Segundo Martinho (2009), a Qualidade da Energia Elétrica é de responsabilidade de quem fornece e de quem utiliza, entretanto vale ressaltar que o consumo de energia elétrica e a sua disponibilidade estão diretamente ligados à qualidade de vida da sociedade e ao desenvolvimento econômico do país, uma vez que o alcance ao suprimento regular de energia elétrica possibilita aos habitantes acesso a bens energéticos, sendo essa uma forma de integração social e distribuição de renda (PEREIRA *et. al.*, 2011; MARINI *et. at.*, 2002). Também é importante salientar que o desenvolvimento econômico, em conjunto com o bem-estar social, é diretamente afetado pelo desempenho, pela eficiência e pela quantidade dos serviços públicos prestados à população (PINTO, 2007).

## 2.2 Revisão com foco nos impactos econômicos

As consequências supracitadas e o crescente impacto dos distúrbios da QEE, principalmente das interrupções momentâneas, tem resultado numa maior preocupação dos consumidores quanto aos efeitos negativos desses fenômenos no desempenho de seus processos. Tal fato é corroborado em face da percepção dos usuários, pois enquanto a maior parte das cargas dos consumidores residenciais recupera a operação normal no momento que a tensão retorna a níveis aceitáveis, as cargas dos consumidores industriais e comerciais podem ter o desempenho prejudicado e ainda levar algumas horas para que tenham sua atividade restaurada, incluindo o setor de telefonia (SHORT, 2006).

Dentro desse cenário, alguns serviços públicos prestados, considerados críticos e essenciais, precisam operar independentemente da disponibilidade no fornecimento de energia elétrica por parte da distribuidora, como é o caso do serviço telefônico (ANATEL, 2014). Desta forma, as concessionárias telefônicas precisam continuar prestando seus serviços mesmo que haja interrupção de energia elétrica proveniente do Sistema de Distribuição de Média Tensão (SDMT) sob o risco de ter penalidades associadas à degradação dos indicadores conforme previsto no Plano Geral de Metas de Qualidade (PGMQ) da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) (ALMEIDA *et. al.*, 2015).

As conclusões apresentadas são confirmadas por Pelegrini *et. al.* (2012), os quais afirmam que os fenômenos relacionados à QEE, como as interrupções, podem causar danos aos equipamentos utilizados nas indústrias e no setor comercial. Imediatamente após a ocorrência de uma falha causada por um desses fenômenos, pode haver custos de vários tipos, como a produção perdida. Embora existam mecanismos de internalização de custos, tais como sanções, a avaliação real de custos de interrupção para grandes consumidores depende necessariamente de pesquisa estruturada e avaliação estatística.

Vale ressaltar que uma abordagem consistente da avaliação de impacto financeiro para planejamento e operações começa com dados de falha, o que motivou Herman e Gaunt (2016) a apresentarem que com os dados de falha é possível realizar uma análise probabilística dependente do tempo da confiabilidade do sistema, o qual é preciso e converge mais rapidamente do que os métodos de simulação convencionais. A abordagem pode ser aplicada às operações do sistema

em janelas de seis horas. Os Custos de Interrupção do Cliente (CIC), derivados de pesquisas que utilizam técnicas de agrupamento para reduzir o tamanho das amostras, caracterizam a confiabilidade como um valor de risco probabilístico.

Entretanto, os custos de interrupção do cliente dependem não apenas das suas características, mas também do tempo de interrupção, sendo esses incorporados na regulação norueguesa da qualidade da oferta, onde novos dados de custo foram propostos a partir de 2015. Nesse contexto, Kjolle *et. al.* (2014) demonstram a importância de levar em consideração as dependências de tempo no custo de interrupção apresentada, bem como a correlação tempo-dependente com outros parâmetros. Ignorar estas dependências de tempo pode levar a sinais de custo errado na qualidade da regulação da oferta. Um modelo de confiabilidade variável no tempo é usado por Kjolle *et. al.* (2014) para investigar a influência das dependências de tempo e o impacto da alteração dos dados de custo para uma pequena rede com diferentes setores de clientes. O estudo levou a conclusão de que ignorar a correlação dependente do tempo pode levar à subestimação dos custos de interrupção anuais esperados.

Além do que, é factível dizer que os impactos variam de acordo com o tipo de atividade desempenhada pela instalação afetada, como por exemplo, na indústria têxtil, siderúrgica e petroquímica, cujas perdas econômicas da QEE podem ser grandes. Nestes setores uma interrupção elétrica de até 1 minuto pode ocasionar prejuízos de até US\$ 500.000,00 (FRANCO, 2007).

Dentro desse contexto, Assad e Bouri (2016) fizeram um estudo sobre o impacto econômico das interrupções de energia no Líbano, mostrando que entre 2009 e 2014 as perdas totais para economia no país atingiram 23,23 bilhões de dólares. Já Mirosevic *et. al.* (2011) desenvolveram um modelo matemático complexo para analisar os efeitos da interrupção no fornecimento de energia na dinâmica de motores de indução conectados a um gerador síncrono em uma operação autônoma. Utilizando um motor a diesel, um gerador síncrono, uma conexão mecânica e dois motores de indução não regulados que são alimentados diretamente dos terminais do gerador síncrono o autor conseguiu mostrar os prejuízos causados pelos eventos de interrupção nos motores como superaquecimento e redução da vida útil.

Na Europa, apesar do nível atual de segurança do abastecimento energético ser bastante satisfatório, a crescente penetração das fontes de energia

renováveis representa um novo desafio para o setor, uma vez que essas representam um risco potencial para o sistema de segurança atual. Nesse sentido, Castro *et. al.* (2016) explicam que a avaliação do valor da carga perdida (VoLL – *Value of Lost Load*), a qual determina o valor que será antecipadamente adicionado a conta de energia elétrica devido à interrupção da eletricidade, é útil para apoiar a tomada de decisões energéticas, incluindo a análise custo-benefício e a concepção de quadros regulamentares adequados. Com isso, ele aplica esse método no sistema de distribuição de energia elétrica em Portugal, no qual ele encontra um VoLL médio de 5,12 €/kWh, um valor relativamente baixo se comparado com outras regiões do continente.

Já na China, para avaliar a confiabilidade do controlador de interrupção de energia e monitoramento subterrâneo no sistema de refúgio de mina de carvão, Fengying (2012) realizou testes de vida acelerada em constante estresse com base na distribuição exponencial. Esse sistema é importante uma vez que ele se apresenta como crucial para a segurança da mina, a qual é controlada pelo governo chinês.

Nessa perspectiva, através de uma análise comparativa de vários fatores, a temperatura foi escolhida por Fengying (2012) como parâmetro de tensão acelerada constante. No que diz respeito à análise estatística dos dados, foi apresentado o método da amostra de censura de tipo I e estabelecido o modelo matemático de monitoramento da mina de carvão e do controlador de interrupção de energia, obtendo, dessa forma, a curva de expectativa de vida média em diferentes temperaturas através da análise de dados experimentais. Os resultados demonstraram que o modelo matemático e a curva de expectativa de vida média foram adequados para o bem real e foi possível concluir que o estudo de confiabilidade fornece uma base importante para o sistema de monitoramento da mina de carvão.

Ainda avaliando o impacto dos eventos da QEE em diferentes setores, Tao *et. al.* (2012) afirmam que a avaliação da qualidade e confiabilidade de energia do cliente é uma questão importante para a futura pesquisa em Smart Grid em geral e para a operação e planejamento do sistema de distribuição em particular. Com base na estrutura de Análise de Efeitos e Modos de Falha (AEMF), Tao *et. al.* (2012) apresentam um método não sequencial Monte-Carlo (AEMF-MC) para a avaliação da confiabilidade do sistema de distribuição considerando interrupções sustentadas,

interrupções momentâneas e sags de tensão, na continuidade operacional dos equipamentos ou processos do cliente.

Os dados determinísticos e estocásticos apresentados por Tao *et. al.* (2012) são relativamente independentes no quadro do AEMF-MC, dessa maneira, um estudo de caso é usado para mostrar a eficácia do método onde diferentes índices escolhidos para o teste de convergência são verificados. A velocidade de convergência é mais rápida quando o coeficiente de variação (CV) do índice de frequência das sags de tensão é escolhido para o teste de convergência do que CV do índice de frequência de interrupções sustentadas e também do CV do índice de frequência de interrupções momentâneas.

Seguindo o estudo sobre os impactos dos eventos de interrupção, Larsen *et. al.* (2017) fazem uma análise integrando modelos regionais de confiabilidade de sistemas de energia para projetar custos em longo prazo para consumidores de energia elétrica a partir de interrupções de energia em diferentes condições climáticas. As descobertas iniciais mostram que os custos acumulados com desconto dos clientes, até meados desse século, podem variar de US\$ 1,5 a 3,4 trilhões sem o sistema de energia elétrica subterrânea e de US\$ 1,5 a 2,5 trilhões com o sistema subterrâneo. No final do século, esses custos passariam a variar de US\$ 1,9 a 5,6 trilhões (sem o sistema subterrâneo) e de US\$ 2,0 a US\$ 3,6 trilhões (com o sistema subterrâneo). Esse resultado mostra que esses modelos nem sempre são rentáveis.

Ainda sobre os impactos dos eventos de interrupção, Sharma *et. al.* sugeriram novos índices da QEE para cálculo da perda econômica devido aos eventos relacionados à QEE para uma empresa de distribuição de energia rural. Esses índices são baseados na curva de aceitabilidade de energia da CBSA (*Computer Business Equipment Manufacturing Association*) a partir de um conjunto mínimo de dados em tempo real disponível. Shama *et. al.* mostram ainda que a partir do cálculo da perda econômica total devido à queda de tensão é possível investir em dispositivos como STATCOM, SVC, etc.

Já Awodele e Cho (2011) investigaram o uso do modelo probabilístico para avaliar os custos de interrupção da Energia Não Fornecida (ENS) para clientes residenciais de diferentes classes (rural, semiurbano, urbano) em sistemas de distribuição de energia. Uma média temporal e um modelo, o qual é calculado e simulado utilizando o software MATLAB, variando no tempo são usados como base



para comparação com o modelo probabilístico. Os resultados demonstraram que cada modelo utilizado no estudo produz valores diferentes de custos de interrupção e ENS e cada abordagem possui desse modo um nível de precisão e informação que pode ser útil para os planejadores e reguladores do sistema de energia, escolhendo a opção mais relevante para uma aplicação específica.

Além disso, Heidari *et. al.* (2016) propuseram uma programação não linear de inteiros mistos com o objetivo de modelar a colocação ideal de interruptores seccionadores manuais e automáticos e dispositivos de proteção em redes de distribuição. Um modelo de custo de distribuição de probabilidade é desenvolvido com base em uma rede neural de correlação em cascata para ter uma avaliação de confiabilidade mais precisa. Para garantir a eficácia da formulação proposta, são consideradas as restrições técnicas e econômicas. Os resultados da simulação mostram a capacidade e a precisão da abordagem proposta.

Outra solução é apresentada por Cebrian *et. al.* (2017), cujo estudo indica que a utilização de interruptores automatizados de seccionamento de forma inteligente pode melhorar os índices de confiabilidade de um sistema e minimizar as perdas relacionadas. Frente a isso, as perdas financeiras anuais relacionadas aos erros de processo são avaliadas como um índice econômico em conjunto com os índices de confiabilidade coletiva para selecionar uma melhor compensação entre o custo de benefício de investimento em interruptores automatizados de seccionamento. Esse último pode ser utilizado pelas concessionárias de energia para identificar áreas geográficas onde o investimento econômico em tecnologias modernas é viável.

Ainda seguindo com as soluções presentes na literatura para os problemas com os eventos de interrupção, Nelson e Lankutis (2016) mostram que a solução mais econômica para um problema relacionado a confiabilidade da energia elétrica fornecida envolve o investimento de tempo e dinheiro por ambos os lados do medidor elétrico (cliente e concessionária). Os autores apresentam informações com o objetivo de orientar o engenheiro da concessionária e o cliente a colaborarem com recursos para as soluções planejadas. É discutido também o desenvolvimento de custos realistas para ambas as partes a fim de, através de investimentos conjuntos, melhorar a confiabilidade e a qualidade da energia fornecida para o cliente, sem que seja necessário o subsídio de outros clientes.

Dessarte, Sun *et. al.* (2016) propuseram um modelo inteligente de subestações para determinar o número e sua alocação em um determinado sistema

de distribuição, com os custos de atualização das subestações e das interrupções dos maiores consumidores. Por estratégias de linearização, esse modelo é simplificado em um problema de programação linear inteira mista. Finalmente, o desempenho da metodologia proposta é demonstrado pelo sistema de teste RBTS-BUS 4 padrão e um sistema de distribuição de energia de média tensão na Dinamarca, se mostrando como uma solução interessante.

Ainda dentro desse contexto e pensando em uma manutenção eficiente por parte de concessionária sem prejuízos aos consumidores, Song *et. al.* (2016) sugeriram um novo *mix* de programação linear baseado no método de reconfiguração de rede para minimizar a perda econômica de clientes, os quais possuem equipamentos sensíveis conectados a rede da concessionária, devido a interrupções de serviço durante a manutenção regular dos equipamentos do sistema de distribuição de energia. Também é proposto um modelo de avaliação para quantificar a sensibilidade do cliente à interrupção do serviço, de modo que os consumidores com valores de sensibilidade diferentes sejam compensados por diferentes custos de perda de eletricidade. O valor de sensibilidade é calculado considerando quatro parâmetros: o nível médio de carregamento, o nível de importância do cliente, o pedido de serviço ininterrupto e as informações históricas sobre reclamações de clientes.

Já Ajaei *et. al.* (2013) apresentam e avaliam uma estratégia de controle auxiliar para interrupção de corrente a jusante em uma linha de distribuição radial por meio de um restaurador de tensão dinâmico (*Dynamic Voltage Restorer - DVR*). O controlador proposto complementa o controle de compensação de tensão de escorregamento do DVR já existente, além de não requerer loop de fase e controlar, de forma independente, a magnitude e o ângulo de fase da tensão injetada para cada fase. Os filtros digitais de erros de mínimos quadrados rápidos são usados para estimar a magnitude e a fase das tensões medidas e efetivamente reduzir os impactos de ruído, harmônicos e distúrbios nos parâmetros estimados do fasor, o que permite uma interrupção efetiva da corrente mesmo em condições de falha de arco, o qual ocorre em um tempo menor que 0,5 segundos e é causado por fatores relacionados a equipamentos, ao ambiente ou a pessoas (quando trabalhadores movimentam-se de forma insegura ou manejam ferramentas, instrumentos ou materiais condutores próximos de instalações energizadas.)

Os resultados dos estudos de simulação realizados no ambiente do software PSCAD/EMTDC, segundo Ajaei *et. al.* (2013), indicam que o esquema de controle proposto pode proporcionar alguns benefícios, como: limitar a corrente de falha a um valor menor que a corrente de carga nominal e restabelecer o ponto de tensão de acoplamento comum dentro de 10ms, interromperem a corrente de falha em menos de dois ciclos, limitar o aumento da tensão da ligação CC e assim não ter restrições quanto à duração da interrupção da corrente de falha, funcionar satisfatoriamente mesmo em condições de falha de arco e interromper a corrente de falha em condições de baixa tensão de ligação CC.

Dessarte, para uma priorização inteligente mais rápida, Nakadira *et. al.* (2014) indicaram uma programação com a abordagem baseada em regras difusas. As regras difusas foram definidas baseadas na experiência das empresas de serviços públicos considerando a satisfação do cliente e a receita perdida por serviços públicos. Por último, a eficácia desta abordagem foi verificada através do cálculo do custo de interrupção agregada, considerando todos os eventos de interrupção.

Existe também na literatura a solução apresentada por Islam *et. al.* (2012), os quais apresentam uma abordagem de controle de emergência para a prevenção da interrupção de energia de grande amplitude usando sistema multi agente. O algoritmo de controle proposto é baseado na arquitetura descentralizada de agentes inteligentes para obter resposta rápida e precisa quando uma perturbação catastrófica é identificada no sistema. Ao dividir a rede em várias áreas, o problema de instabilidade de tensão pode ser localizado e contramedidas podem ser direcionadas para a área mais afetada pelo agente local autorizado. Isso facilita a tomada de decisão rápida dentro do sistema. A eficácia da técnica proposta foi comprovada por uma simulação do sistema de energia de teste de barramento IEEE 57.

Diante deste potencial de prejuízos possíveis fica evidente a importância de uma análise e diagnóstico da qualidade da energia elétrica, no intuito de determinar as causas e as consequências dos distúrbios do sistema, além de apresentar medidas técnicas e economicamente viáveis para solucionar problemas.

Posto isto, é preciso entender que, segundo a ANEEL (2016), interrupção é uma descontinuidade do neutro ou da tensão disponível em qualquer uma das fases de um circuito elétrico que atende à unidade consumidora ou ponto de conexão. Essas interrupções são caracterizadas devido ao acionamento de algum

equipamento automático ou intervenção humana, anomalias do sistema e em decorrência do tempo dessas ocorrências. Esses eventos são geralmente associados a uma falha em algum lugar no sistema de alimentação elétrica. A análise das interrupções momentâneas exige alguns conhecimentos de suas características e da probabilidade de sua ocorrência (LAMOREE *et. al.*, 1993).

As interrupções momentâneas são normalmente causadas por condições de falhas, resultando em quedas de tensão que podem ocorrer dentro de uma planta ou em uma concessionária. A condição de interrupção persistirá até que sua causa seja eliminada por um dispositivo de proteção. No sistema da concessionária, a falha pode ser eliminada por um fusível ou disjuntor de uma subestação (McGRANAGHAN *et. al.*, 1993).

No sistema de distribuição as interrupções momentâneas ocorrem devido às operações do religador e à comutação automatizada. Gadiraju e Vallem (2012) afirmam que com o uso crescente de religadores e operações de comutação como parte da automação de distribuição, as interrupções momentâneas tornaram-se proeminentes, causando preocupações sobre confiabilidade. Isso pode afetar as cargas sensíveis no sistema.

Seguindo o apresentado, uma técnica para reduzir interrupções momentâneas e dessa maneira mitigar MAIFI (*Momentary Average Interruption Frequency Index*) em um sistema de distribuição é proposta por Gadiraju e Vallem (2012), na qual os métodos propostos descrevem estratégias com e sem comunicação para dispositivos de proteção e para isolar os clientes a jusante de uma falha antes da primeira operação de religamento de um religador, reduzindo dessa forma os *blinks* momentâneos vistos pelos clientes em alimentadores com falha. A técnica pode ser igualmente aplicada para topologias como radial, *looped* e sistemas de malha. Os métodos são demonstrados e os resultados são relatados em um *backbone* de distribuição retirado do barramento do *Roy Billinton Test System*.

Ainda dentro desse cenário, há um forte interesse em melhorar as ferramentas e modelos que preveem o desempenho futuro do sistema nessas áreas. A duração das interrupções é um fator significativo na confiabilidade e qualidade do sistema, tanto na documentação do desempenho do sistema como na modelagem do sistema com a finalidade de avaliar as opções de projeto concorrentes. Partindo desse pressuposto, Ortmeyer e Fisk (2012) apresentam dados operacionais de

duração de interrupção para uma grande utilidade durante um período operacional de oito anos. Ele examina o potencial das distribuições de probabilidade de Weibull e Burr para modelar as durações.

A curta interrupção na tensão da rede pode afetar significativamente a máquina de indução. Através da realização de simulações numéricas, Zlomek e Drápela (2008) afirmam que afundamentos de tensão causam picos de torque, picos de corrente, e perdas mecânicas que diminuem a velocidade do gerador também de indução. Os picos de corrente podem acionar o sistema de proteção da máquina e os picos de torque podem danificar seu sistema mecânico.

### 2.3 Considerações Parciais

Após o levantamento bibliográfico, no qual foram definidos aspectos ligados da Qualidade da Energia Elétrica, com foco nos eventos de interrupção, com a apresentação de alguns impactos econômicos em diferentes áreas, bem como diferentes soluções associadas ao tema, será realizada no próximo item desse trabalho a conceituação de assuntos ligados a QEE. Serão também explicitados alguns conceitos sobre assuntos ligados a telefonia móvel como, por exemplo, diferentes tecnologias existentes e indicadores regulamentados pela Anatel. Por fim, serão apresentados também alguns métodos estatísticos, os quais serão utilizados para realização de análise multivariada, os quais serão utilizados para validação dos dados a serem estudados no Capítulo 4.

### 3 Fundamentação Teórica

Nesse Capítulo serão discutidos alguns aspectos referentes aos distúrbios da qualidade da energia elétrica, sendo enfatizados os eventos de interrupção de curta ou longa duração. Como esse trabalho estuda sobre efeitos desses fenômenos na telefonia móvel, será abordado também um pouco sobre a teoria das redes celulares, focando no entendimento sobre as diversas tecnologias já supracitadas nessa dissertação.

Por fim, para o tratamento estatístico dos dados coletados proposto por esse trabalho, serão apresentadas algumas técnicas de análise multivariadas, as quais sejam pertinentes para o estudo como: Componentes Principais, Correlações Canônicas, e Análise de Bernoulli.

#### 3.1 Qualidade da Energia Elétrica

Através da Lei nº 9.427 de 1996 foi instituída a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) com o objetivo de regular e fiscalizar a produção, transmissão e comercialização da energia elétrica, em conformidade com a política do Governo Federal.

O controle do fornecimento de energia elétrica se iniciou com a criação dos indicadores de continuidade sobre as concessionárias. O DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) indica o número de horas que, em média, um consumidor fica sem energia elétrica durante um período de observação, e o FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) representa o número de interrupções ocorridas, em média, em cada unidade consumidora de um conjunto considerado.

No início, a ANEEL especificava as metas de cada indicador, as quais devem ser seguidas por todas as concessionárias de energia elétrica, e estas deviam repassar os valores medidos para a ANEEL. Posteriormente, surge o sistema ANEEL de Monitoramento da QEE, dando o acesso direto e automático das informações das empresas, sem precisar que elas enviem os índices (CORRÊA, 2007).

No ano de 2000, a ANEEL implementou mais três indicadores: o DIC (Duração de Interrupção por Unidade Consumidora), FIC (Frequência de Interrupção por Unidade Consumidora) e DMIC (Duração Máxima de Interrupção por Unidade Consumidora). Além disso, através da Resolução Normativa nº 024, houve a introdução de penalidades pelo não cumprimento dos indicadores.

Durante a vigência da Resolução 024/2000, as multas por violação dos indicadores coletivos eram pagas anualmente, e os critérios de violação e multas eram observados através dos limites mensais, trimestrais e anuais. Para as penalidades dos indicadores de consumidores individuais, o valor da multa era paga diretamente aos clientes afetados logo no mês posterior à apuração do índice.

Em 2010, o PRODIST foi criado para revisar algumas das resoluções da ANEEL. As principais mudanças no regulamento foram a extinção das multas por violação dos indicadores coletivos, a redução do limite dos indicadores individuais e o aumento do fator de severidade das multas. Com essa mudança, o número de clientes a serem ressarcidos aumentou exacerbadamente, assim como o valor das multas (ARAÚJO *et. al.*, 2011).

Diante do exposto, é importante conhecer que fenômenos como variações de tensão de longa e curta duração, *flickers* e harmônicos na rede afetam a QEE em um Sistema Elétrico de Potência, entretanto, como o objetivo desse trabalho é relacionar as interrupções no fornecimento da energia elétrica pela concessionária aos indicadores de qualidade da telefonia móvel, serão abordados apenas os dois primeiros fenômenos. No Apêndice C é possível verificar a planta baixa de uma ERB, na qual é possível visualizar como estão instalados alguns componentes elétricos necessários para o funcionamento da estação.

### 3.1.1 Interrupção

As interrupções podem ser caracterizadas pela redução do nível de tensão para valores inferiores a 0,1 p.u. e são, geralmente, causadas por falhas no sistema elétrico, nos equipamentos ou no mau funcionamento dos sistemas de controle, e classificadas como momentâneas ou temporárias. Segundo Corrêa (2007), se a interrupção durar entre 30 ciclos e 3 segundos, essa é considerada momentânea, porém se ocorrer entre 3 segundos e 3 minutos ela é classificada como temporária.

Em uma análise realizada por Franco (2007), é possível observar que na ocorrência de um curto-circuito no sistema supridor da concessionária, o dispositivo de proteção detectará a corrente de curto-circuito e interromperá a linha com o objetivo de eliminar a corrente de falta, como pode ser observado na Figura 3.1. Após um curto intervalo de tempo, o religamento automático do disjuntor ou religador é efetuado. Entretanto, após esse procedimento, há possibilidade que o curto persista, o que pode acarretar em uma sequência de religamentos com o intuito de eliminar a falta.

Sendo a falta de caráter temporário, o equipamento de proteção não completará a sequência de operações programadas e o fornecimento de energia não é interrompido definitivamente. Dessa maneira, a maior parte dos consumidores (principalmente os residenciais) não sentirá os efeitos da interrupção. Porém, algumas cargas mais sensíveis (exemplo: computadores e outras cargas eletrônicas) estarão sujeitas a tais efeitos, a menos que a instalação seja dotada de unidades UPS (*Uninterruptible Power Source*), que evitarão maiores consequências na operação destes equipamentos (FRANCO, 2007).

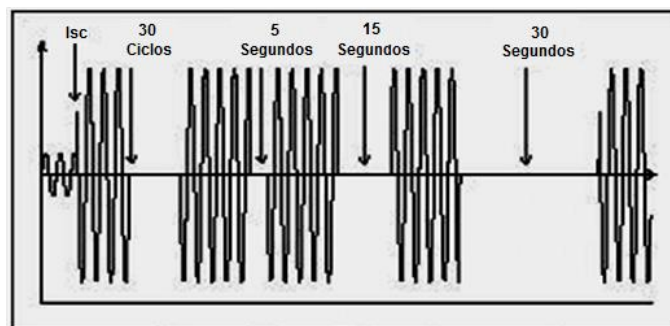


Figura 3.1 – Sequências de manobra de proteção.  
Fonte: Franco (2007).

### 3.1.2 Interrupções Sustentadas

Quando a tensão de alimentação de uma instalação elétrica permanece abaixo de 0,10 p.u. por mais de 3 minutos, é caracterizada como uma interrupção prolongada. As interrupções de tensão superior a 3 minutos muitas vezes são permanentes e dessa forma, depois de serem feitos os devidos reparos, faz-se necessário à intervenção da concessionária para o religamento do sistema (DUGAN *et. al.*, 2012).



### 3.1.3 Indicadores de Continuidade do Serviço de Distribuição da Energia Elétrica

A qualidade dos serviços prestados compreende a avaliação das interrupções no fornecimento de energia elétrica. Para tal finalidade, destacam-se os indicadores de continuidade coletivos (DEC e FEC) e os indicadores de continuidade individuais (DIC, FIC, DMIC), todos definidos por ANEEL (2017).

Ressalta-se que, similarmente a outros indicadores no mundo, os indicadores são apurados para as interrupções maiores que 3 minutos, sendo admitidos alguns expurgos na sua apuração. As informações referentes aos indicadores de continuidade estão disponíveis na fatura de energia elétrica. Informações adicionais devem ser obtidas com a distribuidora (ANEEL, 2016).

#### 3.1.3.1 Indicadores Individuais

Para o acompanhamento das interrupções individuais, ocorridas em cada unidade consumidora, Borges (2012) afirma que a concessionária de energia deve apurar três índices:

- a. DIC (Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora): indica o intervalo de tempo em que ocorreu descontinuidade da prestação do serviço em uma unidade, no período de apuração, em horas, utilizando a equação (1):

$$DIC = \sum_{i=1}^n t(i) \quad (1)$$

- b. FIC (Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora): indica o número de vezes em que ocorreu descontinuidade da prestação do serviço de energia em uma unidade, no período de apuração, conforme equação (2):

$$FIC = n \quad (2)$$

- c. Na qual DMIC (Duração Máxima de Interrupção Individual por Unidade Consumidora): indica o intervalo máximo em que ocorreram as descontinuidades da prestação de serviço de energia em uma unidade no período de apuração, em horas, como mostrado na equação (3):

$$DMIC = t(i)_{\max} \quad (3)$$

na qual “t(i)” representa o tempo de duração da interrupção (i) da unidade consumidora considerada, “n” representa o número de interrupções da unidade consumidora considerada e “i” representa o índice de interrupções da unidade consumidora, variando de 1 a n;

### 3.1.3.2 Indicadores Coletivos

O acompanhamento dos indicadores de continuidade coletivos do serviço de energia elétrica, segundo Borges (2012), é feito pela ANEEL através de subdivisões das distribuidoras, denominadas “Conjuntos Elétricos”. Esses conjuntos podem abranger diversos municípios, da mesma forma que os grandes municípios podem possuir mais de um conjunto. Para esse acompanhamento, a concessionária deve apurar dois índices:

- d. DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora): indica o intervalo de tempo, em média, em que ocorreu descontinuidade da prestação de serviço em cada unidade consumidora do conjunto considerado, no período de apuração, em horas, mostrado na equação (4):

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^{C_c} DIC(i)}{C_c} \quad (4)$$

- e. FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora): indica o número de vezes, em média, em que ocorreu descontinuidade da prestação de serviço em cada unidade consumidora do conjunto considerado, no período de apuração, utilizando a equação (5):

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^{Cc} FIC(i)}{Cc} \quad (5)$$

Na qual “i” representa o índice de unidades consumidoras atendidas em baixa ou média tensão faturadas do conjunto e “Cc” representa o número total de unidades consumidoras do conjunto no período de apuração, atendidas em baixa ou média tensão.

#### 3.1.4 Regulamentação da QEE

No Brasil, seguindo essa abordagem sistemática, por meio da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2017), regulamenta critérios de atendimento para a qualidade da energia elétrica, sendo esses definidos nos Procedimentos de Distribuição no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST):

- Qualidade do produto – relativo à conformidade de tensão em regime permanente e as perturbações na forma de onda;
- Qualidade do serviço – relativo à qualidade de comunicação entre concessionária e consumidor, assim como a satisfação do último;
- Disposições transitórias – relativas ao planejamento do processo de implantação dos indicadores de qualidade do produto energia elétricas para os fenômenos harmônicos, desequilíbrio de tensão, flutuação de tensão e variação de tensão de curta duração.

A qualidade do produto, do serviço e do atendimento de energia elétrica, mencionados anteriormente, é fiscalizada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e, além disso, define a terminologia e os indicadores, caracteriza os fenômenos, estabelecem os limites ou valores de referência, a metodologia de medição, a gestão das reclamações relativas à conformidade de tensão em regime permanente e às perturbações na forma de onda de tensão e os estudos específicos de qualidade da energia elétrica para fins de acesso aos sistemas de distribuição (ANEEL, 2017). Esta resolução, segundo Colnago (2011), define as metodologias de medição, os indicadores, o limite e os valores de referência, porém apenas para concessionárias de fornecimento de energia elétrica.

Diante da importância da QEE e dos impactos provocados pelos fenômenos a esta associada, verifica-se a necessidade do monitoramento contínuo da energia elétrica e a sua averiguação quanto aos parâmetros de controle definidos nas normas e recomendações nacionais e internacionais. Dentre essas, destacam-se as interrupções permanentes, sustentadas ou de longa duração, as quais são definidas por Christie *et. al.* (2012) como interrupções com duração maior ou igual a cinco minutos. Na ANEEL (2017) são todas as interrupções do sistema elétrico com duração maior ou igual a três minutos.

Existem também as interrupções temporárias, transitórias ou de curta duração, que são definidas por Christie *et. al.* (2012) como a perda de fornecimento de energia para um ou mais clientes, causada pela abertura e operação de fechamento de um dispositivo de interrupção em um período que não exceda 5 minutos. Na ANEEL (2017) as interrupções momentâneas de tensão, são todas interrupções do sistema elétrico com duração menor ou igual a 3 (três) segundos e as interrupções temporárias de tensão são todas interrupções do sistema elétrico superiores a 3 segundos e inferiores a 3 minutos, conforme Tabela 3.1 da ANEEL (2017).

Tabela 3.1 - Classificação das Variações de Tensão de Curta Duração  
Fonte: ANEEL (2017)

<b>Classificação</b>	<b>Denominação</b>	<b>Duração da Variação</b>	<b>Amplitude da tensão em relação à tensão de referência</b>
Variação Momentânea de Tensão	Interrupção Momentânea de Tensão	Inferior ou igual a três segundos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Momentâneo de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Momentânea de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior a 1,1 p.u
Variação Temporária de Tensão	Interrupção Momentânea de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Momentâneo de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Momentânea de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior a 1,1 p.u

Desse modo, para manter o nível de tensão dentro de certos limites operacionais aceitáveis, tanto em nível de transmissão, como de distribuição, são necessárias medidas de controle e de acompanhamento tanto dos órgãos de

fiscalização como das concessionárias fornecedoras de energia (OLESKOVICZ, 2006).

### 3.2 Telefonia Móvel

No item 3.1 foram apresentados com detalhe os diferentes tipos de interrupção, sendo esses classificados de acordo com a duração de ocorrência. Sendo assim, com o objetivo de relacionar o evento da QEE mencionado com as estações rádio base de uma determinada operadora, conforme proposto nesse estudo, serão apresentados nesse item os conceitos associados a telefonia móvel.

A tecnologia móvel relaciona-se com portabilidade, isto é, a capacidade de se levar, para qualquer lugar, um dispositivo de Tecnologia de Informação (KALAKOTA e ROBINSON, 2002). Weilenmann (2003) vai além e diz que uma tecnologia móvel é aquela que é criada para ser usada enquanto se está em movimento (por exemplo, um *walkman*). No entanto, ele ressalta que uma tecnologia móvel também é assim designada por possuir portabilidade.

Com a implantação e a popularização da telefonia móvel, uma nova visão de mundo e de comportamento foi definida, não apenas pela evolução que proporcionou, mas pela mudança na forma de se comunicar. A telefonia móvel promoveu avanços que fazem parte do cotidiano das pessoas, tanto na comunicação, quanto na disponibilização de serviços e na operabilidade e conforto que toda tecnologia proporciona (TAVARES, 2004).

A utilização das diferentes tecnologias da telefonia móvel ocorre através dos aparelhos celulares de cada usuário e estes se comunicam via ondas eletromagnéticas com as antenas que estão nos topos das torres das Estações Rádio Base (ERBs) (PAULINO, 2001), conforme Figura 3.2.



Figura 3.2 - Estação Rádio Base (ERB).  
Fonte: Paulino (2001).

Em alguns casos, as antenas das ERBs são instaladas nos topos de edifícios ou na fachada dos mesmos, sendo a torre substituída pelo edifício para a sustentação das antenas. Em outros casos, são instalados em ambientes fechados, como dentro de *shopping* e edifícios, sendo chamados de ERB *indoor* (SANTOS, 2006).

Nascimento (2000) conceitua Estação Rádio Base (ERB) como um sistema de rádio e antena de comunicação que permite a cobertura de uma área específica, chamada de célula. Já a Central de Comutação Celular (CCC) é uma central telefônica digital com funções específicas para o sistema móvel celular.

Segundo Jeszensky (2004), as Estações Rádio Base (ERBs) estão localizadas no centro de cada célula com equipamentos de transmissão, de recepção e de controle, sob o comando da Central de Comutação de Controle (CCC) e é uma das responsáveis por prover o sinal de telefonia móvel.

Paulino (2001) ainda afirma que, quando ocorre o completamento da chamada, ocorrerá a conexão entre os usuários com as demais operadoras (celulares ou fixas) na Central de Comutação conforme pode ser visto na Figura 3.3. As ERBs são interligadas a CCC da operadora a qual ela pertença que, por sua vez, são conectados entre si e com a “Rede Nacional e Internacional de Telefonia”. As CCC são centros de comutação de radiofrequência e interligação com o sistema telefônico convencional.

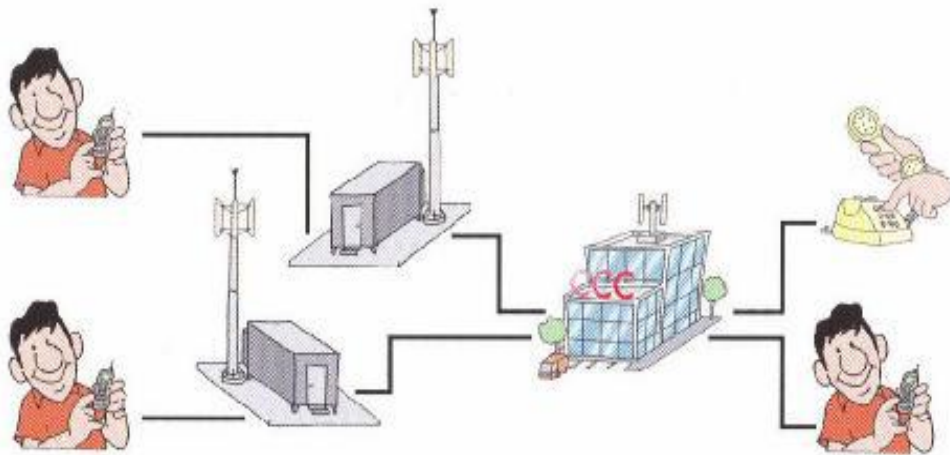


Figura 3.3 - Rede de Telefonia.  
Fonte: PAULINO (2001).

No momento em que um determinado aparelho celular iniciar uma chamada para outra ocorre uma transferência de informação para a CCC da operadora celular a qual o assinante é cliente. Essa central se encarrega de localizar o número solicitado por quem está originando a chamada e enviar sinais para várias ERBs que, por sua vez, repassam este sinal até encontrar o celular de destino. A partir dessa conexão, o aparelho celular envia um sinal para a ERB que ele está conectado, fechando um fluxo de comunicação, através dos canais de *uplink* e *downlink*.

O nome “celular” vem do fato de a rede de comunicação que interliga esses aparelhos ser constituída de células com transceptores de rádio chamados ERBs (estações rádio base), ou seja, a célula é, na verdade, a área de cobertura de uma ERB. Desta forma, o telefone celular, móvel, vai recebendo suas chamadas e serviços através da ERB mais próxima de onde o usuário estiver (REIS *et. al.*, 2003).

É importante salientar que a ANATEL é uma autarquia especial, com uma administração independente, financeiramente autônoma e não se subordina hierarquicamente a nenhum órgão de governo (REIS *et. al.*, 2003). Nesses termos, a agência possui poderes de outorga, regulamentação e suas decisões só podem ser contestadas judicialmente. Diante disso, as principais atribuições da ANATEL são (BRASIL, 1997):

- Implantar a política nacional de telecomunicações;

- Propor a instituição ou eliminação da prestação de modalidade de serviço no regime público;
- Propor o Plano Geral de Outorgas;
- Propor o Plano Geral de metas para universalização dos serviços de telecomunicações;
- Administrar o espectro de radiofrequências e uso de órbitas;
- Compor administrativamente conflitos de interesses entre prestadoras de serviços de telecomunicações;
- Atuar na defesa e proteção dos direitos dos usuários;
- Atuar no controle, prevenção e repressão das infrações de ordem econômica;
- Estabelecer restrições, limites ou condições a grupos empresariais para obtenção e transferência de concessões, permissões e autorizações de forma a garantir a competição e impedir a concentração econômica no mercado;
- Estabelecer a estrutura tarifária de cada modalidade de serviço.

A fim de ampliar os conhecimentos sobre a telefonia móvel, bem como entender melhor o contexto da aplicação deste trabalho, é necessário discutir sobre sua arquitetura de rede, a qual apresenta as diferentes tecnologias utilizadas pelas operadoras para fornecer serviço ao cliente. Nos próximos tópicos será possível conhecer detalhes sobre termos muito falados, porém pouco explicados, como: *Global System for Mobile Communications (GSM)*, *Wide-Band Code-Division Multiple Access (WCDMA)* e *Long Term Evolution (LTE)*.

### 3.2.1 Arquitetura de Redes Celulares

Entender os detalhes sobre o funcionamento da telefonia celular e a arquitetura de redes envolvida requer o conhecimento a respeito dos conceitos a cerca das tecnologias 2G, 3G e 4G, e como elas estão associadas entre si. Em face de isto, será apresentada uma visão geral sobre a operação dessas tecnologias e como o cliente (assinante) pode identificar na prática a diferença entre elas, uma vez que os indicadores operacionais e os custos associados dependem da tecnologia utilizada.



Dessa forma, a topologia típica de uma rede 3G em conjunto com uma rede 2G, por exemplo, pode ser vista na Figura 3.4. Essa topologia é dividida em duas redes: Rede de Acesso e Rede Núcleo, que são formadas pelas tecnologias 2G (GSM) e 3G (WCDMA); e, Comutação por Circuito (*Circuit Switched* – CS) referente ao serviço de voz e o de Comutação por Pacote (*Packet Switched* - PS) referente ao serviço de dados, respectivamente.

Dentre os elementos que constituem a topologia da Figura 3.4, definem-se MS (*Mobile Station*) e UE (*User Equipment*) como todos os componentes de *hardware* e *software* capazes de realizar a comunicação entre os usuários e a rede móvel de telefonia. A diferença entre eles é que o UE é o termo criado para a tecnologia WCDMA ou UMTS *Terrestrial Rádio Access Network* (UTRAN), diferenciando-se do MS em relação à compatibilidade de sistemas.

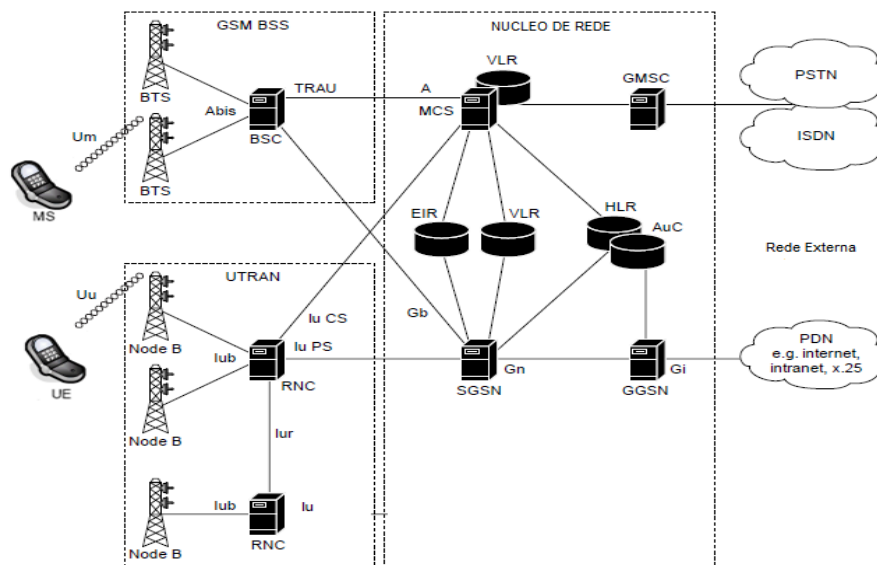


Figura 3.4 - Topologia típica de rede GSM e UMTS.  
Fonte: ETSI (2010).

Os equipamentos supracitados MS e UE são formados pela junção do aparelho celular com o *simcard* (*Subscriber Identity Module Card* ou módulo de identificação do assinante), também conhecido como chip de celular, os quais permitem o acesso à rede de telefonia celular via interface aérea de rádio, chamada de Um para a tecnologia GSM e Uu para a WCDMA, fazendo a conexão com o homem. A interface Um é aberta e cada Terminal possui uma identificação única através do IMEI (*International Mobile Equipment Identity*), que contém informações do fabricante, modelo e número de série de cada equipamento (ETSI, 2010).

A Rede Núcleo (*Core Network*) existe para ambas as tecnologias (2G e 3G), sendo formada pelos domínios CS e PS. O domínio CS lida com as conexões por circuito comutado (chamadas de voz e de vídeo-chamada) e provém da central de comutação da Rede Núcleo (do inglês *Mobile Switching Centre* - MSC). As transferências por pacotes, conhecidas pelo termo *spreading/despreading*, devido à falta de uma terminologia mais adequada na língua portuguesa, são tratadas pelo domínio PS, o qual é provido no *Serving GPRS Support Node* (SGSN).

### 3.2.2 Rede de Acesso de Rádio – 2G

A rede de acesso do GSM também é conhecida como sistema *Base Station Subsystem* (BSS), ou mesmo *GSM/EDGE Radio Access Network* (GERAN), e é composta por vários elementos conforme pode ser visto na Figura 3.5.

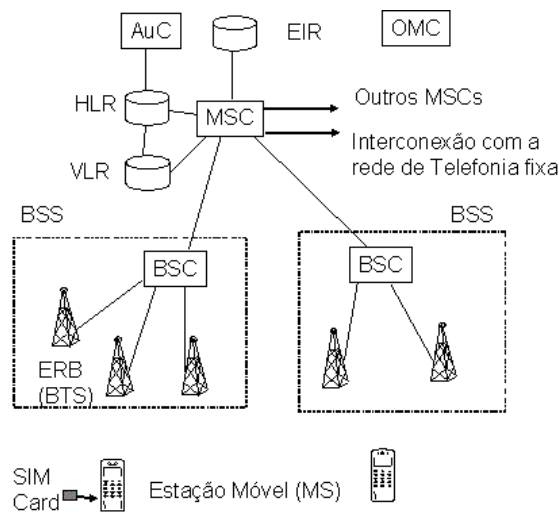


Figura 3.5 - Topologia típica de rede GSM.  
Fonte: ETSI (2010).

A BSC, em uma hierarquia de telefonia móvel celular, é a responsável por controlar um grupo de estações transceptoras a BTS, as quais se encarregam de estabelecer a comunicação com a MS ou com o aparelho celular, ou seja, além de controlar, gerenciar e monitorar as BTS, a BSC tem o papel de controlar o processo de transferências entre células (*Intercell handovers*) e gerenciar a alocação das frequências nas BTS, às sequências de *frequency-hopping* e os demais recursos de rádio.

A BTS controla os canais de transporte de voz (TCH, do inglês *Traffic Channels*), de controle (SDCCH, do inglês *Standalone Dedicated Control Channel*) e a interface com a MSC. Essa estação faz também o monitoramento do *uplink* (envio das informações de rede via canal de controle), a detecção dos acessos aleatórios de pedidos de *handover* realizados pela MS e o cálculo da distância das MS e dos ajustes de *Timing Advance* (TA). Nos canais de TCH ocorre o tráfego de voz e, a partir da medição da quantidade de tempo em que esses estão disponíveis é que os indicadores de disponibilidade, os quais serão comentados posteriormente, são baseados. Já os canais de SDCCH são dedicados para sinalização entre MS e BTS com duas principais funções, a de estabelecimento de chamadas e validação de MS.

Esses dois últimos elementos, a BSC e a BTS, são os que estão diretamente ligados ao sistema de distribuição de energia da concessionária e, devido a ocorrência dos eventos de interrupção, tem as suas funções interrompidas momentaneamente (enquanto durar a interrupção), prejudicando tanto o usuário quanto a operadora de telefonia móvel.

### 3.2.3 Rede de Acesso de Rádio – 3G

Ao contrário do GSM, a rede de acesso de rádio *Wide-Band Code-Division Multiple Access* (WCDMA) é basicamente dividida em três seções, nas quais são definidas as tarefas a serem executadas pela rede (FERNANDES, 2012):

- Seção de serviços: oferece a organização dos serviços e a localização centralizada dos mesmos;
- Seção de controle: ajuda a atualizar os procedimentos e capacita a rede a se alocar dinamicamente;
- Seção de conectividade: é responsável por agregar as tecnologias de transmissão a serem utilizadas no canal de áudio.

A rede de acesso WCDMA é compatível com a GSM permitindo ao usuário sair de uma área de cobertura 3G e ser automaticamente transferido para uma rede 2G, dependendo de fatores como disponibilidade de rede e o consumo de banda do aplicativo (TUDE, 2004). Assim, os principais elementos que constituem a arquitetura de uma rede WCDMA podem ser segregados em três grupos (FERNANDES, 2012):

- *Core Network*: responsável pela comutação e pelo roteamento dos serviços de voz e das conexões de dados com as redes externas;
- UTRAN: serviço onde se concentram todas as funcionalidades relativas à Rádio Frequência (RF);
- UE: interface através da qual o usuário acessa a UTRAN.

A UTRAN é composta pela controladora da rede de rádio RNC (*Radio Network Controller*) e pela NodeB, as quais formam juntas o sistema *Radio Network Subsystem* (RNS). As principais funções desses elementos são:

- RNC: Controlar a rede de RF (responsável por gerenciar recursos de radiofrequência) e as NodeBs, localizar o equipamento do usuário (UE) e gerenciar a mobilidade do cliente;
- NodeB: Conectar a interface aérea da rede celular (ondas eletromagnéticas) com o celular do usuário, controlar os sinais de radiofrequência, realizar o espalhamento espectral dos códigos WCDMA (prover cobertura para o cliente) e controlar os canais físicos mapeando-os na portadora específica de radiofrequência (alocar os usuários nos devidos canais, permitindo a comunicação).

Semelhante à rede GSM, os elementos evidenciados anteriormente são os que estão diretamente conectados com o sistema da concessionária de energia elétrica e são também os que serão afetados no caso de ocorrência do evento de interrupção.

As interfaces internas do UTRAN são as Iub e Iur, sendo que a primeira é responsável por conectar a NodeB à RNC e a segunda por conectar as RNCs entre si. Suas principais funções são descritas conforme abaixo:

- Interface Iub: Interconectar o subsistema RNS com os pontos de acesso à rede CN, suportar todos os serviços UMTS e permitir o interfuncionamento com o sistema GSM.
- Interface Iur: suportar interconexões de RNCs de diferentes fabricantes, separar as funcionalidades entre redes de RF e de transporte, para que novas tecnologias possam programar mudanças nos dois aspectos de forma específica e realizar o interfuncionamento entre as redes UTRAN e GERAN.

### 3.2.4 Rede de Acesso de Rádio – 4G

A arquitetura da rede de acesso LTE (tecnologia 4G) é composta de vários equipamentos, conforme a Figura 3.6, na qual as linhas tracejadas indicam que as informações trafegadas são de controle e as linhas contínuas correspondem aos dados dos usuários.

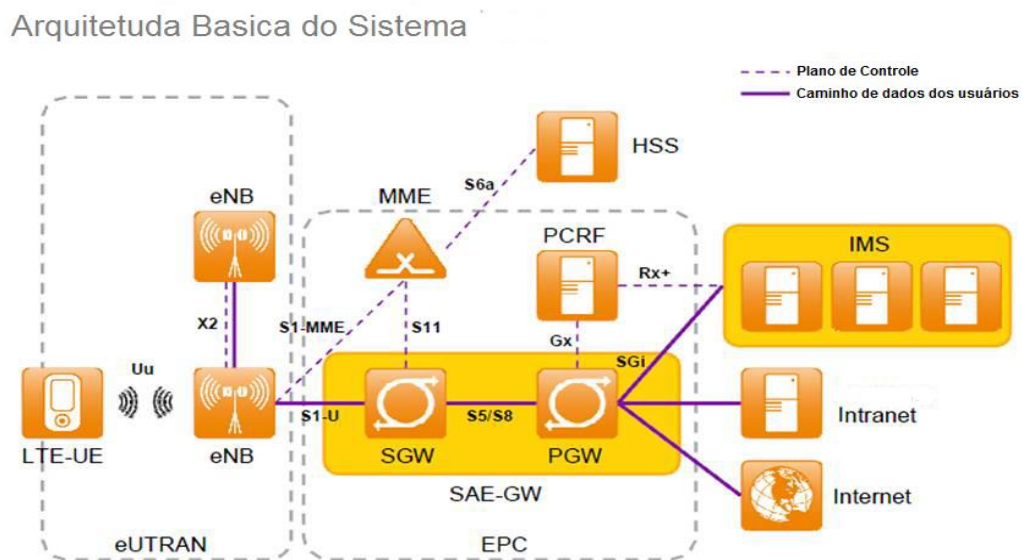


Figura 3.6 - Topologia típica de rede LTE.  
 Fonte: Adaptado de NOKIA NETWORKS (2012).

Para essa tecnologia o equipamento do usuário é chamado de LTE-EU (*Long Term Evolution - User Equipment*), o qual provê a conexão do usuário com a rede LTE, sendo que este pode ser um terminal móvel, um *notebook* equipado com modem ou qualquer dispositivo que tenha a capacidade de gerenciar a conexão com a rede de comunicação. É importante salientar que a LTE é uma arquitetura voltada para o uso massivo de dados, ou seja, este dispositivo deverá ter um alto poder de processamento devido à necessidade de executar uma infinidade de aplicações.

Após a apresentação do terminal móvel, deve-se olhar para a interface que conecta o usuário ao equipamento, chamada de Uu. Entre todas as tecnologias de comunicação móvel existentes, a interface aérea da 4G é a mais evoluída, o que possibilita a alocação de mais usuários por largura de banda, permitindo assim uma

melhor distribuição dos recursos disponibilizados pela rede e uma consequente redução de custos por *bit* utilizado.

A interface citada anteriormente faz a conexão entre o usuário e a eNodeB. Esse último é responsável pelo gerenciamento de todas as requisições dos dispositivos móveis e serve como porta de entrada para a rede, ou seja, é por onde o cliente de uma determinada operadora consegue utilizar os recursos da rede. Vale ressaltar que quanto mais distante o usuário estiver desse equipamento menor será a potência recebida pelo terminal móvel.

Por fim, entre os equipamentos mais importantes, pode-se citar o MME (*Mobility Management Entity*), o qual está conectado com a eNodeB através da interface S1. Esse equipamento é responsável pelo gerenciamento da mobilidade dos equipamentos móveis e pelo controle das eNodeBs,

Após o exposto, considerando que, no Brasil, esse serviço é fiscalizado pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), a qual acompanha e avalia a qualidade da prestação do serviço prestado pelas concessionárias de telefonia, a ANATEL determinou indicadores de desempenho, cujas descrições serão apresentadas nos próximos tópicos.

### 3.2.5 Rede de Acesso de Rádio – 5G

A tecnologia de quinta geração (5G) será a próxima fase das tecnologias de acesso móvel e, primeiramente, tende a ter melhoras em relação à rede 4G existente, incluindo alta largura de banda por usuário (Maior que 1Gbps), uma cobertura mais ampla para absorver esta demanda crescente de dados, sendo que as redes atuais não suportam o incremento de dados como o esperado. Ademais, o surgimento de novas aplicações tende a se proliferar com a evolução tecnológica, como por exemplo, a conexão em massa de dispositivos *IoT* comunicações *Machine-to-Machine*, sensores, etc. (BALDIN e RICOLDI, 2016).

Considerando as tecnologias móveis existentes, sabe-se que elas estão em constante evolução, porém não serão suficientes para alcançar os requerimentos e a demanda do mercado após 2020 e por isso é que já se iniciaram os estudos em busca de criar um ambiente 5G de alto desempenho.

Mesmo assim, pode-se considerar que a evolução das tecnologias ainda no universo do LTE é sim importante para se alcançar o 5G, mas bem como ocorreu

com as tecnologias anteriores (2G, 3G e LTE), o 5G vai necessitar de uma nova *Radio Access Technology* (RAT), de novas tecnologias de acesso que podem ser obtidas com a combinação das RATs existentes nas bandas licenciadas e não licenciadas.

A quinta geração está apenas no estágio de desenvolvimento e de pesquisa com o objetivo de aumentar a velocidade da conexão e proporcionar uma melhor experiência na utilização de dados para os usuários. Com isso, mais aparelhos poderão ser conectados a rede com taxas de transferência de dados mais elevadas do que às obtidas com a tecnologia 4G atual (BARBOSA, 2013).

### 3.2.6 Indicadores de Qualidade

Para garantir a qualidade do serviço prestado pelas operadoras de telefonia móvel, a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), por meio da Resolução número 575 de 28 de Outubro de 2011, aprovou o Regulamento de Gestão da Qualidade da Prestação do Serviço Móvel Pessoal. Esse regulamento estabelece as metas de qualidade para o serviço de telefonia móvel, os critérios de avaliação e de obtenção de dados, bem como o acompanhamento da qualidade do serviço mensurado através dos indicadores de Serviço Móvel Pessoal (SMP).

Os indicadores de qualidade do serviço definidos no Regulamento de Indicadores de Qualidade do SMP são (ANATEL, 2011):

- SMP1 – Taxa de Reclamações;
- SMP2 – Taxa de Reclamação de cobertura e de Congestionamento de Canal de Voz por 1000 (mil) Acessos em operação;
- SMP3 – Taxa de Chamadas Completadas para o Centro de Atendimento;
- SMP4 – Taxa de Atendimento pela Telefonista / Atendente em Sistemas de Autoatendimento;
- SMP5 – Taxa de Alocação de Canal de Tráfego;
- SMP6 – Taxa de Estabelecimento de Chamadas;
- SMP7 – Taxa de Queda de Ligação;
- SMP8 – Taxa de Conexão de Dados;

- SMP9 – Taxa de Quedas de Conexão de Dados;
- SMP10 – Taxa de Atendimento Pessoal ao Usuário;
- SMP11 – Taxa de Atendimentos Relativos á Contas por 1000 (mil) Contas Emitidas;
- SMP12 – Taxa de Recuperação de Falhas / Defeitos.

Dentre os indicadores SMP, podem-se destacar os que são utilizados comumente pelas operadoras: Taxa de Alocação de Canal de Tráfego, Taxa de Queda de Ligação, Taxa de Conexão de Dados e Taxa de Queda das Conexões de Dados. É importante observar que esses indicadores são utilizados, principalmente, para medir a qualidade do serviço prestado pelas operadoras de telefonia móvel, além de auxiliar no processo de identificação e de tratamento dos distúrbios observados na Qualidade da Telefonia Móvel (QTM) e na entrega do serviço (ANATEL, 2011).

Além dos aspectos salientados, o Período de Maior Movimento (PMM), segundo a ANATEL (2011), representa os intervalos de tempo ao longo do dia em que ocorrem os maiores interesses no estabelecimento de chamadas por parte dos usuários. Para efeito de aferição dos indicadores da QTM, caso não haja disposição contrária quando da divulgação do Calendário Anual pela ANATEL, os PMM são os seguintes:

- Período diurno das 10h00 às 13h00 (PMM1);
- Período noturno das 18h00 às 21h00 (PMM2).

O órgão regulador define também o Período de Maior Tráfego (PMT), que é o intervalo de tempo ao longo do dia em que ocorrem os maiores interesses por parte dos usuários para o estabelecimento de conexões de dados do SMP, a qual é realizada no período das 10h00 às 22h00 no caso de haver uma disposição contrária quando da divulgação do Calendário Anual pela ANATEL. Nos próximos três itens serão detalhados os indicadores associados ao serviço de voz e de dados, bem como, a disponibilidade do serviço.

#### 3.2.6.1 Indicadores Medidos para o Serviço de Voz



Segundo a ANATEL (2011), os indicadores SMP utilizados para o serviço de voz são a Taxa de Alocação de Canal de Tráfego (SMP5) e a Taxa de Queda de Ligações (SMP7). O SMP5 faz a estimativa da eficiência de designação de canais quando requisitados, ou seja, as tentativas de alocação de canal de tráfego que devem ser concluídas com sucesso em cada PMM no mês em no mínimo em 95% dos casos. Já o SMP7 mede a quantidade de chamadas interrompidas por queda de ligação na rede da operadora, em cada PMM no mês, devendo essa ser inferior a 2%.

Para obter o valor do indicador SMP5, deve-se calcular as razões entre o total de acessos ao canal de sinalização e controle para estabelecer uma chamada em cada PMM no mês (A) e o total de tentativas de acessar o canal de sinalização e controle em cada PMM no mês (B), bem como, entre o total de acessos ao canal de tráfego para estabelecer uma chamada em cada PMM no mês (C) e o total de tentativas de acessar o canal de tráfego em cada PMM no mês (D). Posteriormente multiplicam-se as razões anteriormente encontradas chegando ao valor procurado, conforme pode ser visto na equação (6).

$$SMP5 = \frac{A}{B} * \frac{C}{D} \quad (6)$$

Já a representação matemática do SMP7 se dá pela divisão entre o número total de chamadas interrompidas por queda de ligação em cada PMM no mês (E) e número total de chamadas completadas em cada PMM no mês (F), descrita conforme a equação (7).

$$SMP7 = \frac{E}{F} \quad (7)$$

A partir dos dois indicadores SMP mencionados anteriormente é possível calcular um novo indicador de qualidade do serviço, o chamado *Serveability* (Capacidade de Servir). Esse indicador permite avaliar a capacidade que uma ERB tem de servir o assinante considerando serviço de voz, ou seja, considerando que o indicador de uma determinada estação possui uma boa taxa de capacidade de

acesso (SMP5) e uma taxa de quedas de ligação baixa (SMP7) significa que o assinante terá um bom serviço entregue pela operadora nessa ERB. Esse indicador é baseado no cálculo explícito na equação (8):

$$Serveability(voz) = SMP5 * (1 - SMP7) = 0,95 * (1 - 0,2) = 0,931 \quad (8)$$

### 3.2.6.2 Indicadores Medidos para o Serviço de Dados

Analogamente ao serviço de voz, a ANATEL também verifica os indicadores SMP para o serviço de dados, sendo esses a Taxa de Conexão de Dados (SMP8) e a Taxa de Queda de Conexão de Dados (SMP9). Enquanto que o SMP8 calcula as tentativas de conexão destinadas a Conexão de Dados utilizando a rede do SMP no PMT, o SMP9 representa a taxa de queda das Conexões de Dados utilizando a rede do SMP da prestadora no PMT. Estes indicadores devem ser 98% (noventa e oito por cento) e inferior a 5% (cinco por cento), no mês, respectivamente.

O indicador SMP8 é calculado, de acordo com a equação (9), pela relação entre o número total de solicitações de conexões destinadas a Conexão de Dados estabelecidas em cada PMT no mês (G) e o número total de tentativas de conexão destinadas a Conexão de Dados em cada PMT no mês (H).

$$SMP8 = \frac{G}{H} \quad (9)$$

A equação (10) apresenta a descrição do indicador SMP9, o qual é calculado pela divisão entre o número total de quedas das Conexões de Dados, em cada PMT no mês (I) e o número total de tentativas de conexão destinadas a Conexões de Dados estabelecidas, em cada PMT no mês (J).

$$SMP9 = \frac{I}{J} \quad (10)$$

Para o serviço de dados, também é possível avaliar a capacidade que o sistema tem de servir os assinantes e, o cálculo para esse caso é análogo ao que ocorre no serviço de voz, conforme equação (11).

$$Serveability(dados) = SMP8 * (1 - SMP9) = 0,98 * (1 - 0,5) = 0,931 \quad (11)$$

### 3.2.6.3 Taxa de Disponibilidade do Serviço

Tanto para o serviço de voz quanto para o de dados, é essencial saber por quanto tempo o sistema das ERB está disponível, visto que os eventos de interrupção afetam diretamente esses indicadores. Conceitualmente, ele é representado matematicamente pela relação entre o número médio de canais disponíveis (K) durante o período de medição com a capacidade de canais instalada (L) na Estação Rádio Base. A equação (12) apresenta como a taxa de disponibilidade do serviço pode ser calculada.

$$DISP = \frac{K}{L} \quad (12)$$

## 3.3 Análise Estatística

Para relacionar os eventos da QEE com os indicadores de QTM foram utilizados o método estatístico de análise multivariada de Componentes Principais, uma vez que, devido a grande quantidade de dados e variáveis em estudo, é possível validar e relacionar os indicadores avaliados, bem como entender de que maneira a análise foi realizada e como foi possível chegar às conclusões pertinentes ao estudo.

Os métodos estatísticos são usados hoje em quase todos os campos de investigação científica, já que através desse é possível responder a um vasto número de questões. A noção de “Estatística” foi originalmente derivada da mesma raiz da palavra “Estado”, já que foi a função tradicional de governos centrais no sentido de armazenar registros da população, nascimentos e mortes, produção das lavouras, taxas e muitas outras espécies de informação e atividades. A contagem e mensuração dessas quantidades geram todos os tipos de dados numéricos que são úteis para o desenvolvimento de muitos tipos de funções governamentais e formulação de políticas públicas (NEDER, 2000).

Diante do exposto serão apresentadas algumas técnicas da estatística, as quais sejam necessárias para comprovar que através dos dados estudados nesta dissertação é possível obter conclusões próximas das observadas na operação real do sistema de telefonia móvel impactando pelos eventos da QEE.

### 3.3.1 Técnica Multivariada

A análise estatística multivariada, ou simplesmente análise multivariada, é o ramo da estatística direcionado ao estudo das amostras e das distribuições multidimensionais, ou seja, são métodos estatísticos apropriados para estudos em que várias variáveis são consideradas simultaneamente (JOHNSON e WICHERN, 1998). A análise multivariada compreende várias técnicas que, segundo Kendall (1980) *apud* Cruz (1987), distinguem-se em: técnicas de avaliação da interdependência, que estuda as relações de um conjunto de variáveis entre si; e, as técnicas de avaliação da dependência: estuda a dependência de uma ou mais variáveis em relação às outras.

Devido à complexidade e extensão do assunto e a necessidade de se comprovar que existe uma relação forte e confiável entre os indicadores que medem o número médio de tráfego e a taxa de disponibilidade do serviço em uma ERB, será realizada uma abordagem sobre a utilização de algumas técnicas multivariadas, tomando-se como base os seguintes estudos: Componentes Principais e Correlações Canônicas.

#### 3.3.1.1 Componentes Principais

A grande importância do conhecimento da técnica dos componentes principais, segundo SOUZA (1989), reside no fato de ela constituir um procedimento básico do qual derivam vários outros métodos de análise de dados multivariados, como por exemplo, análise de agrupamento (*cluster analysis*). Assim, segundo CRUZ (1990), o uso da técnica de componentes principais pode atender os seguintes propósitos:

- Examinar as correlações entre os indicadores estudados;

- Resumir um grande conjunto de indicadores em outro menor e de sentido biológico;
- Avaliar a importância de cada caractere e promover a eliminação daqueles que contribuem pouco, em termos de variação, no grupo de dados avaliados;
- Construir índices que possibilitem o agrupamento de informações;
- Permitir o agrupamento de dados com o mais alto grau de similaridade, mediante exames visuais em dispersões gráficas no espaço bi ou tridimensional.

Ela foi originalmente descrita por Karl Pearson, em 1901, em um artigo que enfatizou à sua utilização no ajustamento de um subespaço a uma nuvem de pontos. Posteriormente, a técnica foi consolidada por Hotelling (1933 e 1936), para o propósito particular de analisar estruturas de correlações (MORRISON, 1976, MARDIA *et. al.*, 1979; MANLY, 1986; CRUZ, 1990). Entretanto, o uso da análise só foi difundido após desenvolvimento de computadores eletrônicos e atualmente, devido a grande disponibilidade de recursos de computadores sofisticados e de *softwares* aplicados, a técnica tornou-se amplamente disponível e utilizada nas várias áreas da ciência (SARTORIO, 2008).

A técnica de componentes principais procura explicar a estrutura de variâncias e covariâncias através de poucas combinações lineares das variáveis originais, com o objetivo de reduzir os dados numa forma mais adequada para análise, evidenciar as tendências e facilitar sua interpretação. Segundo Liberato (1995), a utilização da análise de componentes principais tem por finalidade proporcionar a simplificação estrutural dos dados, de modo que a diversidade, influenciada a princípio por um conjunto p-dimensional ( $p$  = números de caracteres considerados no estudo), possa ser avaliada por um complexo bi ou tridimensional de fácil interpretação geométrica. Ou ainda, a análise por componentes principais, segundo Cruz e Regazzi (1994), consiste em transformar um conjunto original de variáveis em outro conjunto, de dimensões equivalentes, mas com propriedades importantes de grande interesse em certos estudos.

### 3.3.1.2 Correlações Canônicas

A análise de correlação canônica é inicialmente proposta por Hotelling (1935) e tem como objetivo principal a identificação e quantificação das relações lineares existentes entre dois conjuntos de múltiplas variáveis, sendo elas métricas ou não métricas (JOHNSON e WICHERN, 2002).

Vessoni (1998) diz que esta técnica pode ser muito útil em problemas que possuam mais de uma variável métrica dependente. O uso da correlação canônica pode simplificar o problema e determinar quais variáveis são mais importantes na análise. Desta forma, pode-se realizar a análise em duas etapas, primeiro determinando os fatores relevantes, e posteriormente realizando regressões simples entre os mesmos.

Segundo James e McCulloch (1990) *apud* Liberato (1995), esta técnica é uma generalização da correlação e regressão que é aplicável quando os tributos de um único grupo de objetivos podem ser divididos naturalmente em dois conjuntos. Do ponto de vista geral, a análise de correlação canônica é uma extensão da regressão múltipla e possui certas propriedades similares às de análise de componentes principais, porém esta última considera as inter-relações dentro de um grupo de variáveis, enquanto aquela considera a relação entre dois grupos de variáveis (LIBERATO, 1995).

Assim, o método consiste basicamente em encontrar um vetor para cada um dos grupos de variáveis (denominadas variáveis canônicas), tal que, a correlação entre as duas combinações lineares seja máxima, chamadas de correlações canônicas. O par que possui a maior correlação e que não esteja correlacionado com nenhum outro elemento é chamado de primeiro par. A ordem dos outros pares é determinada de maneira semelhante em ordem decrescente.

Esta metodologia é usualmente utilizada com variáveis do tipo quantitativa contínua, sendo necessário assumir a existência de normalidade multivariada quando testes de significância estatísticos são requeridos. Entretanto, segundo Mardia *et. al.* (1979), a análise também pode ser empregada quando há uma mistura de variáveis quantitativas contínuas e qualitativas, ou se todas as variáveis são qualitativas, conforme descrito por Dunteman (1984).

Com o objetivo de apresentar a relação entre o número médio de tráfego e a taxa de disponibilidade do serviço, será apresentado nesse item o cálculo da probabilidade de ocupação simultânea de canal de tráfego através da distribuição estatística de Bernoulli (VIANNA, 2009). Supondo que a quantidade de assinantes seja  $S$ ; a probabilidade de ocupação dos canais disponíveis na ERB seja  $p$ , ou seja, dos usuários estarem realizando uma chamada; e, a probabilidade  $r$  de canais ocupados simultaneamente, pode-se aplicar a probabilidade de Bernoulli, conforme as equações (13), (14) e (15).

$$P = \binom{S}{r} p^r (1-p)^{S-r} \quad (13)$$

$$P = \frac{S!}{r!(S-r)!} p^r (1-p)^{S-r} \quad (14)$$

$$P = \frac{S(S-1)(S-2)\dots[S-(r-1)]}{r!} p^r (1-p)^{S-r} \quad (15)$$

É possível verificar na equação (10) que o numerador da divisão é resultado do produto de  $r$  (canais ocupados simultaneamente) termos contendo  $S$ , ou seja, sendo ocupados por diversos assinantes. Quando a quantidade de assinantes é muito maior que de canais ocupados de forma simultânea todos os termos desse produto ficam aproximadamente iguais a  $S$ , ou seja, pode-se afirmar que o resultado dessa multiplicação é a exponencial de  $S$  por  $r$ , conforme pode ser visto na equação (16) (VIANNA, 2009).

$$S(S-1)(S-2)\dots[S-(r-1)] \cong S^r \quad (16)$$

Por conseguinte, substituindo a equação (16) na (15), a probabilidade de ocupação de  $r$  canais ficam descritos conforme a equação (17).

$$P = \frac{S^r}{r!} p^r (1-p)^{S-r} \quad (17)$$

Se, hipoteticamente, o volume total de tráfego, somando o serviço de voz e dados, oferecido pelos assinantes conectados a ERB for igual a A Erlang, então a probabilidade de cada assinante gerar tráfego pode ser calculada de acordo com a equação (18).

$$p = \frac{A}{S} \quad (18)$$

Substituindo agora a equação (18) na (17) e fazendo S tender a infinito, ou seja, aumentando consideravelmente a quantidade de assinantes conectados, têm-se como probabilidade de ocupação simultânea de r canais, a qual pode ser vista na equação (19).

$$P = \frac{A^r}{r!} \cdot e^{-A} \quad (19)$$

Utilizando a equação (19) será possível verificar no Capítulo 4 que, quando ocorre indisponibilidade total ou parcial do serviço oferecido por uma ERB, o número de tráfego também sofrerá um decréscimo. Isso ocorre devido a uma redução na probabilidade de ocupação simultânea de r canais, ou seja, quanto menos canais tiverem disponíveis, maior será o número de usuários que não conseguirão se conectar ao sistema.

### 3.4. Considerações Parciais

Em face ao citado nos itens anteriores, torna-se interessante aplicar as duas técnicas apresentadas a fim de avaliar quais indicadores apresentam um maior nível de confiança para comparação entre os fenômenos da QEE e os indicadores de QTM. A aplicação dessas técnicas e a interpretação relacionada serão apresentadas no Capítulo 4 dessa dissertação.

Até o momento foram apresentados os conceitos pertinentes às análises propostas por esse trabalho, os quais permitirão provar que as conclusões sobre os dados coletados estão próximas do observado. Com isso, no próximo Capítulo, serão apresentadas as discursões necessárias para realizar um estudo sobre os efeitos dos eventos de interrupção da energia elétrica fornecida pela concessionária



nas centrais de telefonia móvel, o que nos permitirá apresentar uma proposta para reduzir os efeitos relacionados ao problema apresentado.

## 4 Estudo de Caso

Diante da importância do serviço de Telefonia Móvel e da variedade tecnológica presente no mercado, foi realizado um estudo de caso em uma operadora que presta serviço de telefonia móvel com o objetivo de analisar a existência de casualidades entre as interrupções provenientes do sistema de suprimento de energia elétrica e os indicadores de QTM da operadora.

Para tanto, conforme mencionado anteriormente, existem atualmente três tecnologias que são utilizadas pelas Operadoras de Telefonia Móvel no país, sendo essas a 2G (GSM), a 3G (WCDMA) e a 4G (LTE). Visto isso, esse estudo faz uma verificação de forma a caracterizar o comportamento das ERBs frente aos eventos de interrupção para cada tecnologia citada de forma individual.

Desta forma, foram selecionadas na base de informações da operadora estudada 2 (duas) estações com tecnologia 3G e 3 (três) com 2G de uma determinada cidade do estado da Bahia e mais uma ERB 4G de outra cidade, dentre as quais são mais impactadas pelos eventos de interrupções de tensão. A partir daí, considerando que os dados foram coletados mês a mês durante os anos de 2015 e 2016, foi realizada a avaliação do impacto dessas ocorrências nos indicadores de QTM regulamentados pela ANATEL e do tráfego para cada ERB, bem como um comparativo com os indicadores de continuidade do serviço de distribuição da energia elétrica.

### 4.1 Predição de Cobertura

Antes de analisar os efeitos das ocorrências de interrupção no suprimento de energia elétrica nas ERBs, é interessante fazer uma predição da área cobertura das mesmas para estimar a extensão territorial afetada pelo problema de QEE. Tal predição pode ser realizada por meio da utilização de simuladores que buscam demonstrar a mancha de cobertura para cada estação. É factível observar que a região de cobertura simulada para cada ERB pode apresentar variações quando estas são comparadas com medições em campo, uma vez que a simulação é muito complexa e dependente de diversas variáveis.

Desta forma, a predição é apresentada graficamente com diferentes cores para indicar as intensidades do sinal e a localização geograficamente referenciada da ERB com a respectiva mancha de cobertura em um mapa. A Figura 4.1 mostra a área de cobertura predita por meio da medição dos níveis de *Reference Signal Received Power* (RSRP) para várias ERBs com tecnologia 4G (LTE) da operadora em estudo.

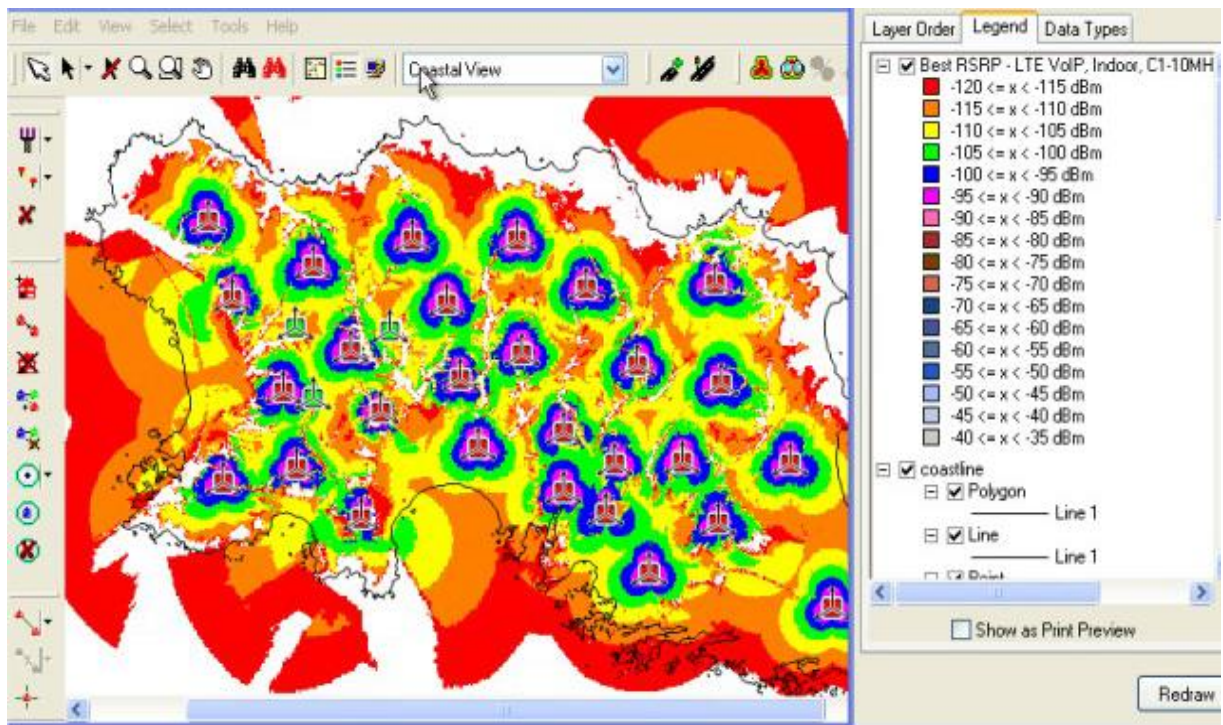


Figura 4.1 - Predição de cobertura para várias ERB.

O RSRP é o indicador utilizado para medir a potência média do sinal que está sendo recebido pelo móvel e é fortemente atrelada a medição em campo. Tal fato decorre da flutuação dos resultados conforme a carga da rede, uma vez que este indicador considera todo o sinal captado pelo equipamento móvel.

Com a demonstração de funcionamento de uma estação rádio base em face da cobertura propiciada em uma determinada região, é possível avaliar e dimensionar a área que pode ser impactada em virtude de uma saída não programada de uma ERB devido aos eventos de interrupção da energia elétrica. Visto isso, nos próximos tópicos serão realizadas as análises pertinentes aos assuntos supracitados, permitindo assim um maior esclarecimento sobre os reais impactos dos distúrbios da QEE na telefonia móvel, tanto para as operadoras, as

quais administram e oferecem o serviço, bem como para o cliente, o qual utiliza o serviço.

#### 4.2 Qualidade da Energia Elétrica *versus* Qualidade da Telefonia Móvel

Este tópico visa apresentar os resultados obtidos para as diferentes tecnologias, evidenciando os impactos que os eventos de interrupção podem causar nos indicadores de desempenho regulamentados pela Anatel na cidade em estudo. Adicionalmente, uma validação dos dados utilizados e uma análise de correlação entre os indicadores analisados são apresentados com o intuito de verificar a validade relacional entre os parâmetros utilizados. Esse tipo de validação permite uma maior confiabilidade em relação aos resultados aqui apresentados e as conclusões pertinentes à análise proposta.

A validação dos valores encontrados será realizada por meio da aplicação do método Qui-Quadrado  $\chi^2$ , o qual foi proposto por Karl Pearson (Placket, 1983). Tal técnica consiste em um teste de hipóteses que objetiva encontrar um valor da dispersão para duas ou mais variáveis nominais, avaliando a associação existente entre variáveis quantitativa, se caracterizando por não depender dos parâmetros populacionais como média e variância. O uso desse método é justificado por um dos objetivos desse trabalho que é de fazer a comparação entre a distribuição de indicadores a fim de avaliar se as proporções observadas destes eventos mostram ou não diferenças significativas.

O princípio básico desse método é comparar proporções, isto é, as possíveis divergências entre as frequências observadas e as esperadas dos momentos em que o sistema se apresenta indisponível em consequência de eventos de interrupção em relação aos outros indicadores de desempenho do sistema de telefonia móvel. Evidentemente, pode-se dizer que dois grupos se comportam de forma semelhante se as diferenças entre as frequências observadas e as esperadas em cada categoria forem muito pequenas, próximas à zero (BEIGUELMAN, 1996).

Analisando a Tabela 4.1 verifica-se que, a um nível de confiança de 95% (valor de  $\chi^2$  nominal de 5%), Sang *et. al.* (1996) afirmam que, estatisticamente, não existe diferença entre a distribuição de frequência observada e a esperada, pois o  $\chi^2$  encontrado é menor que o nominal.

Tabela 4.1 - Qui-Quadrado para diferentes graus de liberdade (g.l.).  
Fonte: SANG *et. al.* (1996).

<b>g.l.</b>	<b>20%</b>	<b>10%</b>	<b>5%</b>	<b>2%</b>	<b>1%</b>	<b>0,1%</b>
<b>1</b>	1,64	2,71	3,84	5,41	6,64	10,83
<b>2</b>	3,22	4,60	5,99	7,82	9,21	13,82
<b>3</b>	4,64	6,25	7,82	9,84	11,34	16,27
<b>4</b>	5,99	7,78	9,49	11,67	13,28	18,46
<b>5</b>	7,29	9,24	11,07	13,39	15,09	20,52
<b>6</b>	8,56	10,64	12,59	15,03	16,81	22,46
<b>7</b>	9,80	12,02	14,07	16,62	18,48	24,32
<b>8</b>	11,03	13,36	15,51	18,17	20,09	26,12

Desta forma, espera-se que, utilizando esse método na validação dos dados utilizados nesse trabalho, sejam encontrados valores de  $\chi^2$  abaixo de 5%, de modo a garantir a confiabilidade dos dados coletados para que os resultados da análise estejam muito próximos do real. Vale salientar que o grau de liberdade (g.l.) é calculado reduzindo uma unidade do número de variáveis consideradas.

Em face disso, verificam-se as possíveis discrepâncias entre proporções observadas e esperadas por meio da equação (20).

$$\chi^2 = \sum [(o - e)^2 / e] \quad (20)$$

Sendo  $o$ , a frequência observada para cada classe, e  $e$ , a frequência esperada para cada classe.

A análise de correlação foi realizada utilizando as ferramentas disponíveis no *software* estatístico SAS (CODY, 2007) que é uma coleção de módulos, os quais são usados para processar e analisar dados. Começou a ser utilizado no final dos anos 60 e início dos anos 70 como um pacote estatístico (o nome SAS originalmente significa *Statistical Analysis System*). No entanto, ao contrário de muitos concorrentes pacotes estatísticos, o SAS também é uma linguagem de programação

de uso geral, extremamente poderosa e gratuita para uso universitário (CODY, 2007).

O coeficiente de correlação indica a força e a direção do relacionamento linear entre duas variáveis aleatórias. No uso estatístico geral, correlação se refere à medida da relação entre duas variáveis, embora não implique causalidade. Neste sentido geral, existem vários coeficientes medindo o grau de correlação, adaptados à natureza dos dados. Este coeficiente, normalmente representado pela letra “R”, assume valores entre  $-1$  e  $1$ , com as seguintes interpretações (MUKAKA, 2012):

- Se  $R > 0$  então as duas variáveis tendem a variar no mesmo sentido; em média um aumento da variável X provoca um aumento da variável Y;
- Se  $R < 0$  então as duas variáveis tendem a variar em sentido negativo; em média um aumento da variável X provoca uma diminuição da variável Y;
- $R = 1$  ou  $R = -1$  indicam a existência de uma relação linear perfeita entre X e Y, positiva ou negativa, respectivamente e, quanto mais próximo desse valor, mais forte será a correlação existente;
- $R = 0$  indica a inexistência de uma relação linear entre X e Y, podendo, no entanto, existir uma relação não linear entre elas.

Com os valores correlacionais calculados entre os indicadores de qualidade da telefonia móvel será possível observar se existe uma relação linear suficientemente forte entre eles para garantir que, por exemplo, a variação na Taxa da Disponibilidade do Serviço implica em uma mudança na capacidade que o sistema tem de servir o cliente.

#### 4.2.1 Estação Rádio Base – Tecnologia 3G (WCDMA)

A Taxa de Disponibilidade do Serviço nos anos de 2015 e 2016 das duas ERBs com tecnologia 3G da cidade do Estado da Bahia, a qual possui um volume de tráfego diário médio de aproximadamente 2,7 GBytes (dados) e 22000 *Erlang* (voz) é mostrado na Figura 4.2.

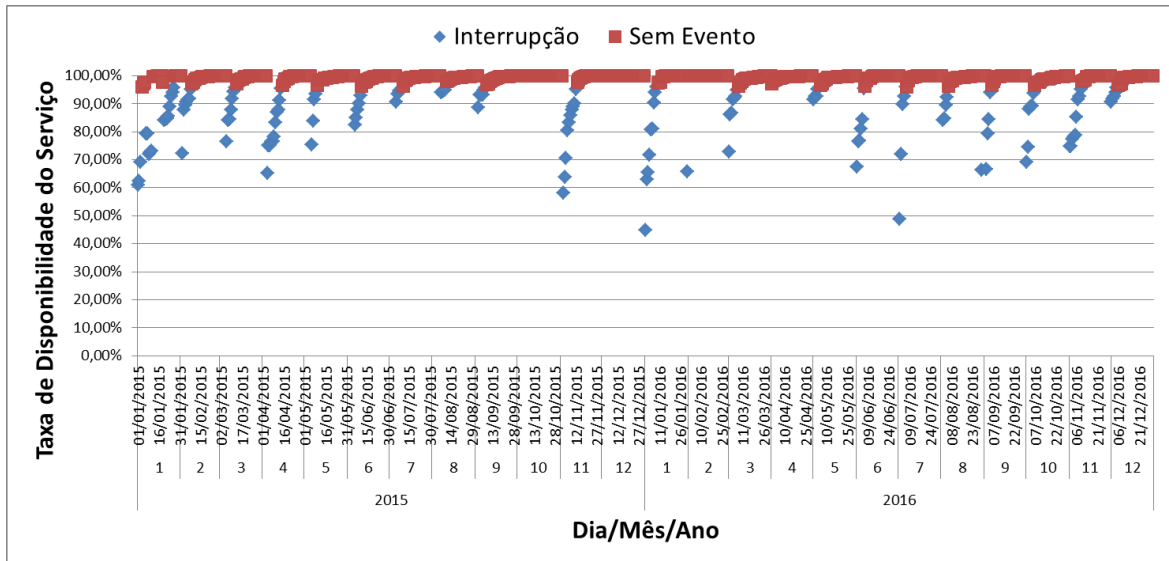


Figura 4.2 - Taxa de Disponibilidade de Serviço por mês em uma cidade nos anos de 2015/2016 (tecnologia 3G).

Analisando o gráfico anterior, é possível observar vários pontos destacados em azul e vermelho. Os primeiros representam os momentos nos quais ocorreram eventos de interrupção na energia elétrica fornecida pela concessionária, conhecida como “falta de AC”. Já os pontos em vermelho representam o momento onde não ocorreram interrupções. Comparando esses dois momentos, conclui-se que os eventos de interrupção afetam diretamente a Taxa de Disponibilidade do Serviço de uma ERB, prejudicando assim o bom funcionamento do sistema de telefonia móvel.

É possível verificar na Figura 4.2 que o mês mais afetado pelos problemas de interrupção é Janeiro para os dois anos, visto que são os meses que apresentam mais pontos azuis e também, provavelmente, devido à baixa confiabilidade do sistema de distribuição de energia na região estudada e a susceptibilidade da mesma a fenômenos externos, como as chuvas. Observando as Figuras 4.3 e 4.4, onde são apresentados os índices de chuva acumulada na cidade em estudo durante os anos de 2015 e 2016, é possível verificar que, nos meses mencionados, há um número maior de chuva acumulada mensal, confirmando assim a hipótese apresentada.

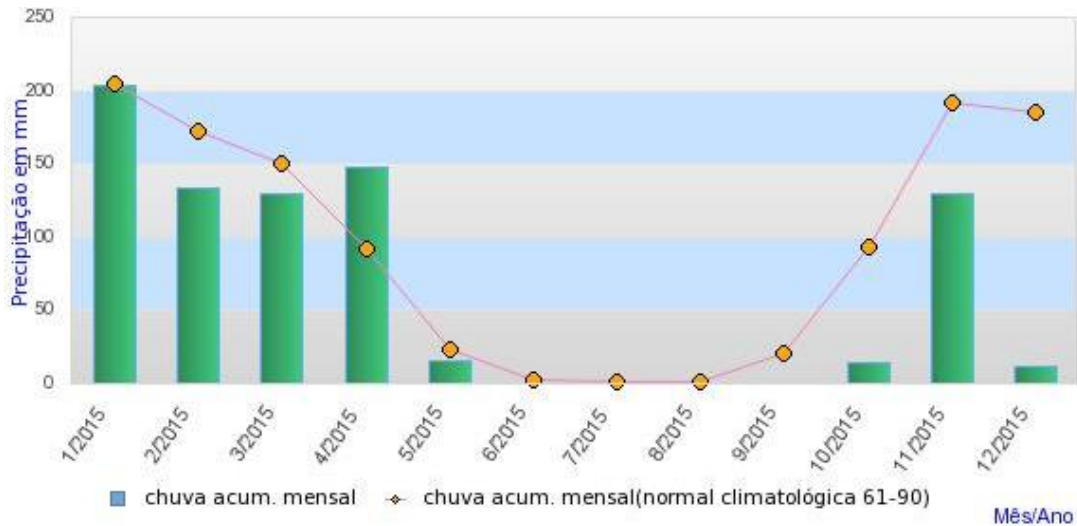


Figura 4.3 – Chuva Acumulada Mensal durante o ano de 2015 na cidade estudada.  
Fonte: INMET (2017).

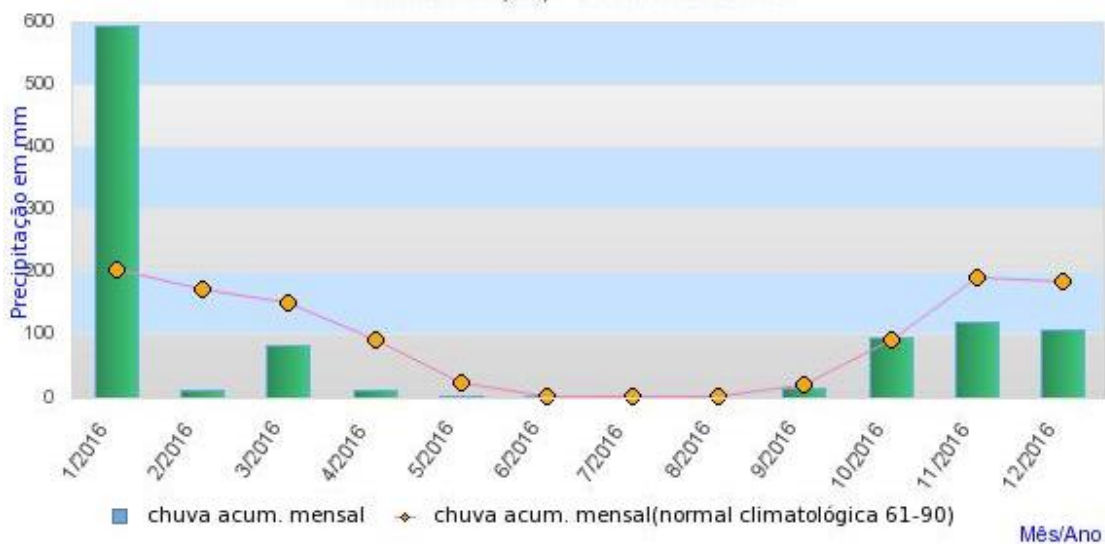


Figura 4.4 – Chuva Acumulada Mensal durante o ano de 2016 na cidade estudada.  
Fonte: INMET (2017).

Nesse sentido, ao fazer uma análise de covariância entre os indicadores de QTM para os serviços de voz e dados observa-se que, nas estações com tecnologia 3G, a reta de correlação é positiva para ambos os casos. Isso significa dizer que, quando ocorrer uma queda na Taxa de Disponibilidade do Serviço devido aos eventos de interrupção, o indicador *Seveability* (voz e dados) também apresentará a mesma tendência, conforme pode ser visto nas Figuras 4.5 e 4.6, respectivamente.



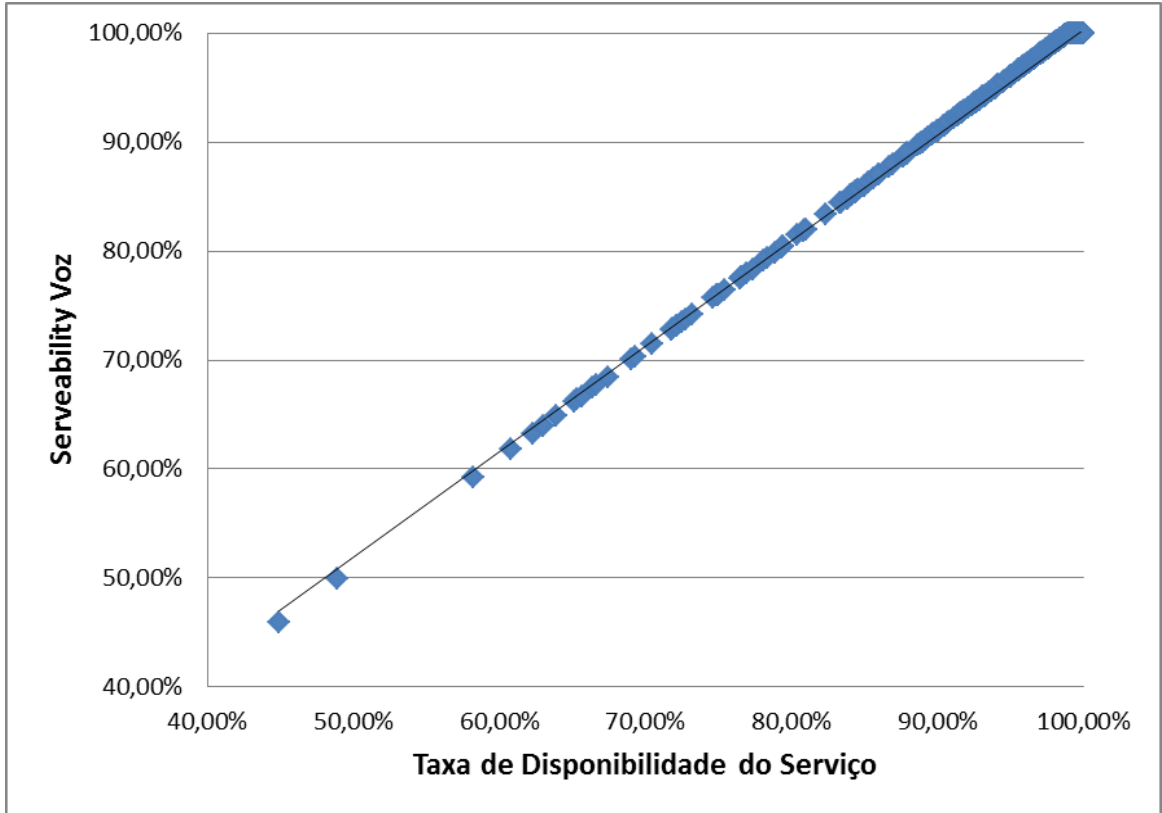


Figura 4.5 – Serveability Voz x Taxa de Disponibilidade de Serviço para uma ERB 3G.

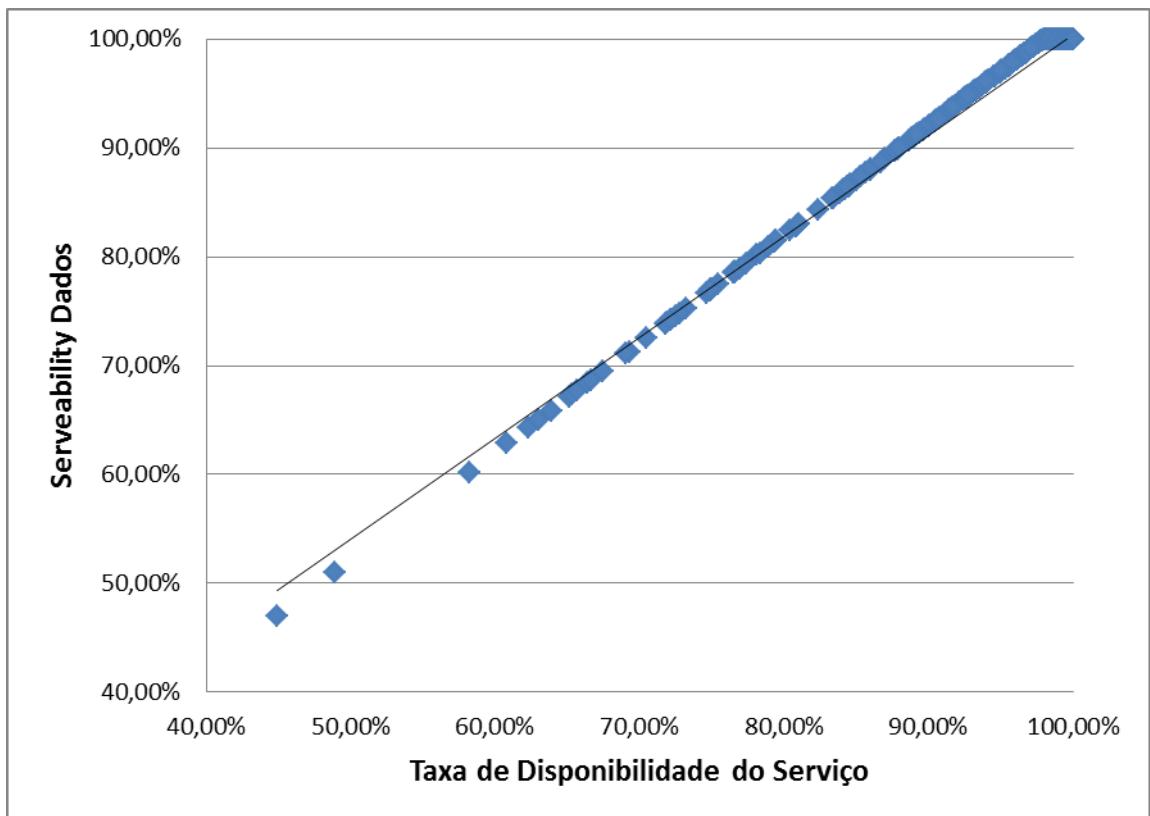


Figura 4.6 - Serveability Dados x Taxa de Disponibilidade de Serviço para uma ERB 3G.

Para a análise desse caso, foram considerados os eventos de interrupção em conjunto com os indicadores de acesso (voz e dados) e de descontinuidade (voz e dados) do serviço, ou seja, como nessa análise estão sendo considerados cinco grupos de dados, representados pela letra “n” na equação (21), o cálculo do grau de liberdade se dá por:

$$g.l. = n - 1 = 5 - 1 = 4 \quad (21)$$

Portanto, com base na equação (21), nos dados coletados para cada indicador analisado e utilizando a fórmula disponibilizada no *software* Excel pela Microsoft (2010) para o cálculo do qui-quadrado foi encontrado um valor de  $\chi^2$  igual a 3,17. Utilizando a Tabela 4.1, é possível verificar o número calculado está abaixo do valor crítico de qui-quadrado, ou seja, se aceita a hipótese da igualdade estatística entre os números observados e calculados, visto que os desvios não são significativos.

Seguindo o que foi mencionado por Sang *et. al.* (1996), verifica-se que todas as conclusões da análise dos dados serão verdadeiras e estarão próximas do esperado, isto é, toda e qualquer degradação nos indicadores de desempenho do sistema de telefonia móvel causada pela variação na disponibilidade, em no mínimo 95% dos casos, terá como causa a interrupção no fornecimento da energia elétrica.

Após a constatação da viabilidade dos dados, utilizou-se o programa SAS para realizar a análise de correlação entre os indicadores dos dois tipos de serviço utilizados: voz e dados. Para tanto, verificou-se a relação linear entre o *Serveability* voz e a taxa de disponibilidade, bem como a taxa de disponibilidade e o *Serveability* de dados, respectivamente.

Utilizando as ferramentas de cálculo disponíveis no *software* supracitado, chega-se aos valores de “R” iguais a 0,9976 e 0,9921, para os serviços de voz e de dados, respectivamente. O fato de esses valores estarem muito próximos de 1 (um) indica que existe uma relação linear quase perfeita, ou seja, os indicadores relacionados à capacidade do sistema de telefonia em servir o cliente estão diretamente relacionados com a taxa de disponibilidade do serviço e são diretamente afetados pelos eventos de disponibilidade.

Levando em consideração que as ERBs no mês de Janeiro de 2016, o mais afetado pelos eventos de interrupção, ficou aproximadamente 8,81% do tempo fora

do ar (65,55 horas) com um total de 9 interrupções, e uma interrupção máxima durando 10,86 horas. Sendo assim, será realizado agora o cruzamento desse período de indisponibilidade do serviço com os indicadores de continuidade do serviço de distribuição com o objetivo de verificar se existe relação entre os mesmos, ou seja, se a concessionária de energia elétrica pode ser responsável pelo mau funcionamento do serviço de telefonia móvel.

Considerando todos os conjuntos elétricos da cidade, têm-se um DEC total de 76,5 e um FEC total de 11,68 no mês de Janeiro de 2016, conforme Tabela 4.2. Com esses valores e utilizando a tabela do Apêndice B deste trabalho, é possível verificar que o limite de DIC está em 17,17 horas, de FIC em 10,54 interrupções e DMIC em 8,39 horas. Comparando estes dados com os anteriores é observa-se que existe uma violação do limite de continuidade individual dos indicadores de qualidade da energia elétrica.

Tabela 4.2 – Indicadores de Continuidade.  
Fonte: ANEEL (2016)

COELBA - Janeiro/2016				
CONJUNTO	CÓDIGO	Nº DE CONSUMIDORES	DECTOT	FECTOT
CONJUNTO ELÉTRICO I	XXXX	XXXX	76,5	11,7

Estes resultados mostram que, segundo a ANEEL (2017), a distribuidora deverá calcular a compensação ao consumidor (operadora de telefonia móvel) acessante do sistema de distribuição efetuando o crédito na fatura, apresentada em até dois meses após o período de apuração. Apesar dos resultados indicarem que as interrupções ocorrem na região e impactam diretamente os indicadores da QTM, alguns fatores, como precisão do alarme e erros de medição, podem contribuir para alguma divergência nos valores apresentados.

Seguindo o exposto anteriormente, no próximo item serão realizadas as mesmas inferências para o GSM, a fim de que, ao final dessa análise, seja possível fazer uma comparação sobre qual tecnologia é mais impactada pelas seguidas interrupções no fornecimento de energia elétrica pela concessionária.

#### 4.2.2 Estação Rádio Base – Tecnologia 2G (GSM)

Para a análise da tecnologia 2G, foram selecionadas as 3 (três) estações da mesma cidade em estudo, com volume de tráfego diário médio de 175000 *Erlang* (voz) e 1,150 MBytes (Dados). A Figura 4.7 apresenta um gráfico de dispersão no qual se pode visualizar que a quantidade de eventos de interrupção devido à queda no fornecimento da energia elétrica pela concessionária é maior para a estação que utiliza tecnologia 2G se comparado a 3G, a qual foi mostrada anteriormente. Essa última afirmativa pode ser confirmada com a visualização da quantidade de pontos azuis no gráfico, os quais representam a disponibilidade do serviço afetada pelos eventos de interrupção da QEE.

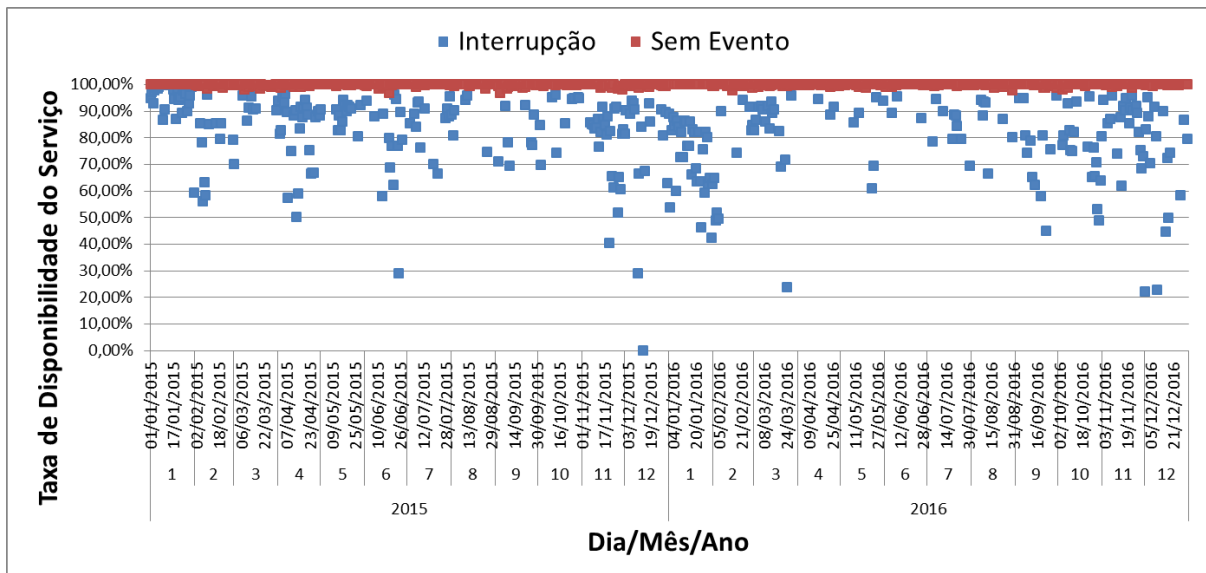


Figura 4.7 - Taxa de Disponibilidade de Serviço por mês para uma cidade em 2015/2016 (tecnologia 2G).

Em face da quantidade de incidência de ocorrências relacionadas à interrupção, foi realizada uma análise de covariância entre a Taxa de Disponibilidade do Serviço e a capacidade de voz e dados (*Serveability*) da estação GSM, conforme se observa na Figura 4.8 e 4.9. Nestas, evidencia-se uma correlação acentuadamente crescente com o indicador de capacidade de serviço do sistema. Esse resultado mostra que os eventos de interrupção aumentam consideravelmente o número de vezes em que o serviço apresenta-se indisponível (Figura 4.7) afetando, conseqüentemente, a capacidade que o sistema tem de servir o cliente. Tal resultado é semelhante ao observado no caso 3G, onde foi verificada uma redução na qualidade do serviço entregue aos clientes pela operadora, haja vista

que nessas centrais o suprimento proveniente da rede elétrica é a principal fonte de energia.

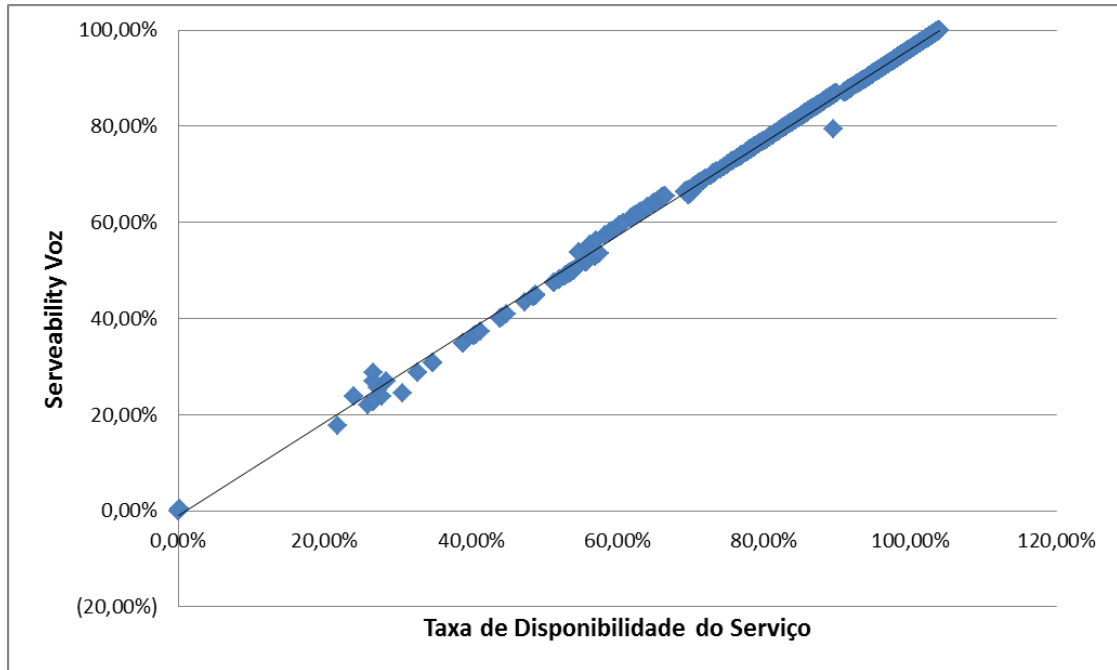


Figura 4.8 - Serveability Voz x Taxa de Disponibilidade de Serviço para uma cidade

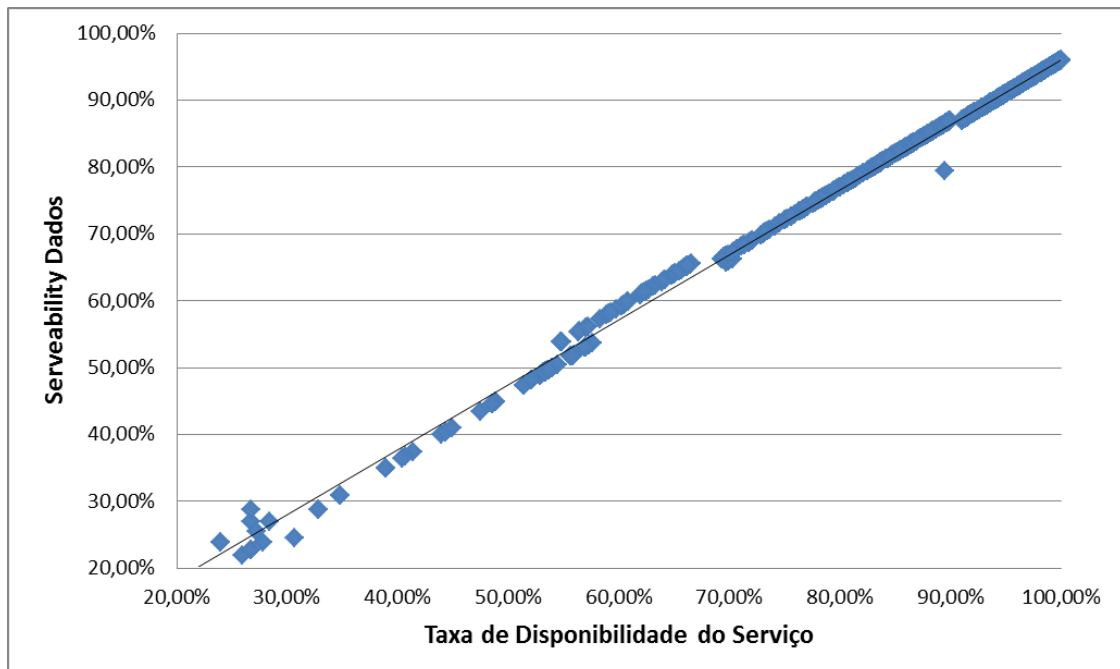


Figura 4.9 - Serveability Dados x Taxa de Disponibilidade de Serviço para uma cidade

Conforme especificado no item 4.2, será realizada a validação dos valores encontrados e a análise de correlação entre os indicadores também para o caso 2G.

Semelhante ao caso anterior, o grau de liberdade é 4, tendo sido encontrado  $\chi^2$  igual a 3,23 para esse caso. Portanto foram considerados os eventos de interrupção em conjunto com os indicadores de acesso e de descontinuidade (voz e dados), sendo considerados então cinco grupos de dados, os quais estão representados pela letra “m” na equação (22):

$$g.l. = m - 1 = 5 - 1 = 4 \quad (22)$$

Baseando-se na Tabela 4.2 e considerando agora um grau de liberdade igual a 4 (quatro), conforme equação (20), é possível verificar que esse resultado está abaixo do valor crítico de qui-quadrado. Esse resultado significa que há uma hipótese de igualdade estatística entre os dados observados e calculados, sem desvios significativos e com um nível de confiabilidade maior que 95%, conforme comprovado por Sang *et. al.* (1996). Com esse resultado pode-se obter as mesmas conclusões do caso 3G em relação aos indicadores analisados.

A análise de correlação entre os indicadores para essa tecnologia utilizará também as ferramentas disponibilizadas no programa SAS (CODY, 2007), sendo esse realizado para o serviço de voz e dados, conforme já especificado nesse item. Verificando a relação linear entre a taxa de disponibilidade do serviço e o *Serveability* de voz e dados, chega-se a valores de “R” iguais a 0,9915 e 0,9889 respectivamente. Idêntico ao caso anterior, os resultados dos cálculos dos coeficientes de correlação estão muito próximo de 1 (um), indicando uma relação linear entre os indicadores mencionados suficiente para indicar que as variações serão muito semelhantes.

Semelhante ao caso anterior, as ERBs 2G ficaram aproximadamente 13,21% do tempo fora do ar (98,28 horas) com um total de 9 interrupções e uma interrupção máxima durando 9,04 horas. Como a região onde estão localizadas as estações é a mesma do caso anterior, os limites dos indicadores de continuidade do serviço de distribuição da energia elétrica individuais são os mesmos apresentados segundo a tabela do Apêndice B.

Para esse caso também existe uma violação do limite de continuidade individual dos indicadores de qualidade da energia elétrica, permitindo assim a mesma conclusão do caso anterior, ou seja, deverá existir uma compensação pela concessionária de energia elétrica a operadora de telefonia móvel.

#### 4.2.3 Estação Rádio Base – Tecnologia 4G (LTE)

Diante dos resultados verificados nas tecnologias anteriores, um estudo relacionado com a tecnologia LTE foi efetuado uma Estação Rádio Base, de uma cidade diferente da estudada anteriormente, uma vez que aquela não possui ERB com essa tecnologia. Essa estação possui um tráfego diário médio de 185 TeraBytes (dados).

A Figura 4.10 mostra a dispersão obtida entre as ocorrências de interrupção e a Taxa Disponibilidade de Serviço pela Operadora de Telefonia Móvel nas duas ERBs estudadas. É possível verificar que os impactos observados para a Tecnologia LTE são inferiores aos registrados nas outras tecnologias para essa cidade (quase zero), uma vez que o sistema de suprimento de energia elétrica é mais estável. Tal comportamento é reflexo da localização da ERB e de seu fornecimento de energia elétrica mais eficiente, sendo desnecessária a análise em relação aos indicadores de qualidade.

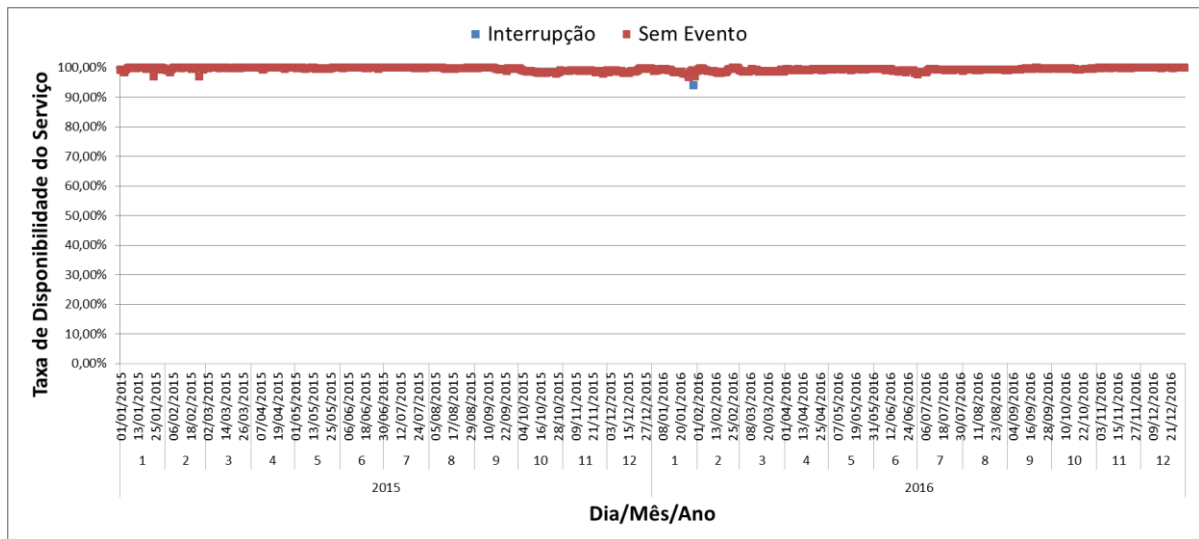


Figura 4.10 - Taxa de Disponibilidade de Serviço por mês para uma ERB 4G

Conforme mencionado nesse item, fazer uma análise relacionando os indicadores de desempenho da telefonia móvel com os eventos de interrupção para esse caso torna-se inviável uma vez que, como os eventos de interrupção são mínimos, não haverá degradação nos indicadores de dados da estação em estudo (*Serviceability* Dados),

O mencionado anteriormente ocorre devido ao fato da disponibilidade estar muito próxima de 100% na maior parte do tempo, uma vez que, como o sistema não é afetado pelos eventos de interrupção, ele se encontra disponível na maior parte do tempo, tornando as perdas insignificantes.

Fazendo a análise em relação aos indicadores de continuidade do serviço de distribuição, é possível verificar que a estação 4G ficou aproximadamente 1,32% do tempo fora do ar (9,82 horas) com um total de 2 interrupções e uma interrupção máxima durando 1,20 horas. Baseando nos valores de DEC e FEC apresentados na Tabela 4.3 e no Apêndice B deste trabalho é possível verificar que os limites de DIC, FIC e DMIC são respectivamente 5,07; 3,36 e 2,86.

Tabela 4.3 - Indicadores de Continuidade 2  
Fonte: ANEEL (2016)

COELBA - Janeiro/2016				
CONJUNTO	CÓDIGO	Nº DE CONSUMIDORES	DECTOT	FECTOT
CONJUNTO ELÉTRICO II	XXXX	XXXX	10,23	3,12

Analisando os valores medidos para essa ERB e comparando com os limites estabelecidos pela ANEEL (2017), diferente dos outros casos, a concessionária responsável pela distribuição da energia elétrica atende de maneira satisfatória os consumidores. Frente a análise de indicadores apresentado nesse item, era esperado essa conclusão, uma vez que a estação 4G está localizada em uma região onde o suprimento da energia é mais estável e confiável.

#### 4.2.4 Considerações Parciais

Analisando os resultados encontrados nos itens 4.2.1. e 4.2.2., respectivamente para as tecnologias 3G e 2G, verifica-se que para os dois casos os dados são válidos com um nível de confiabilidade maior que 95% o que, segundo já mencionado anteriormente, aproxima de maneira satisfatória os dados calculados dos observados e dá a possibilidade de realizar conclusões assertivas a partir dos dados coletados, ou seja, muito próximo do que é visto com o sistema de telefonia móvel em operação real.



Em relação ao coeficiente de correlação, os resultados de “R” para os dois casos estão próximos de 1 (um), ou seja, existe uma correlação forte entre os indicadores analisados. Entretanto, percebe-se uma proximidade maior do valor unitário no caso 3G, levando a concluir que, para essa tecnologia, os eventos de interrupção causam um impacto maior na taxa de disponibilidade do serviço e nos indicadores de desempenho do sistema de telefonia móvel.

Outro ponto importante a se destacar é que ao fazer uma análise comparativa entre os indicadores da QTM e os de continuidade do serviço de distribuição da energia elétrica, foi possível constatar que para as ERBs 2G e 3G, as quais sofrem constantemente com os efeitos de interrupção, os valores de FIC, DIC e DMIC apresentam-se fora dos limites especificados pela ANEEL. Entretanto, quando a mesma análise foi realizada para o 4G, os resultados mostraram-se satisfatório, confirmando assim a expectativa de que os sucessivos eventos de interrupção em algumas regiões prejudicam o bom funcionamento do serviço de telefonia.

#### 4.3 Qualidade da Energia Elétrica *versus* Tráfego

Será relacionado nesse item como a variação no indicador de Taxa de Disponibilidade do Serviço influencia o sistema de telefonia móvel, pois isso ilustra algumas questões como a perda de tráfego do sistema, ou seja, a redução da quantidade de tráfego à estação rádio base.

Sabe-se que um dos princípios básicos para o sistema de uma ERB é oferecer serviço sem prejuízos aos assinantes e estar com todos os canais disponíveis, o que implica no indicador de Taxa de Disponibilidade de Serviço estar em 100%. Portanto, toda e qualquer variação nesse indicador teoricamente afetará a capacidade do sistema de receber novas conexões de usuários e, conseqüentemente, impactará nos índices de QTM.

Assim, os eventos de interrupção em regiões distantes dos centros de manutenção afetam diretamente a disponibilidade do serviço da ERB, pois na maioria dos casos essas estações não possuem banco de baterias ou suprimento auxiliar de energia elétrica. Diante do exposto, uma análise foi realizada em estações que utilizam as tecnologias 3G e 2G com essa característica operacional.

#### 4.3.1 Análise da Variação de Usuários

A análise da variação de usuários realizada neste trabalho considerou o número médio de clientes conectados em função da disponibilidade da ERB em face ao detrimento do serviço afetado pela interrupção no fornecimento de energia elétrica pela distribuidora. Assim, a análise foi realizada comparando dois dias típicos operacionais de serviço da telefonia móvel, sendo o primeiro com indisponibilidade devido à interrupção no fornecimento de energia elétrica da concessionária e, o segundo, sem quaisquer problemas relatados ou observados na central telefônica. Tal procedimento visa estimar a quantidade aproximada de usuários que foram prejudicados devido ao evento da QEE, bem como, os prejuízos financeiros que são causados nas operadoras de telefonia móvel.

Conforme pode ser visto na Figura 4.11, no período entre 09h00min e 17h00min do dia 07/07/2016, a Taxa de Disponibilidade do Serviço ficou em 0%, ou seja, o serviço da ERB em estudo ficou indisponível durante 8 horas devido a um evento de interrupção de tensão em virtude de um problema que ocorreu no sistema de distribuição de média tensão. Além disso, verifica-se, também, que no mesmo dia da semana posterior (14/07/2016), não há indícios de que a disponibilidade tenha sido afetada por algum evento, uma vez que esta ficou com a taxa em 100% e, conseqüentemente, os usuários puderam efetuar a conexão ao sistema.

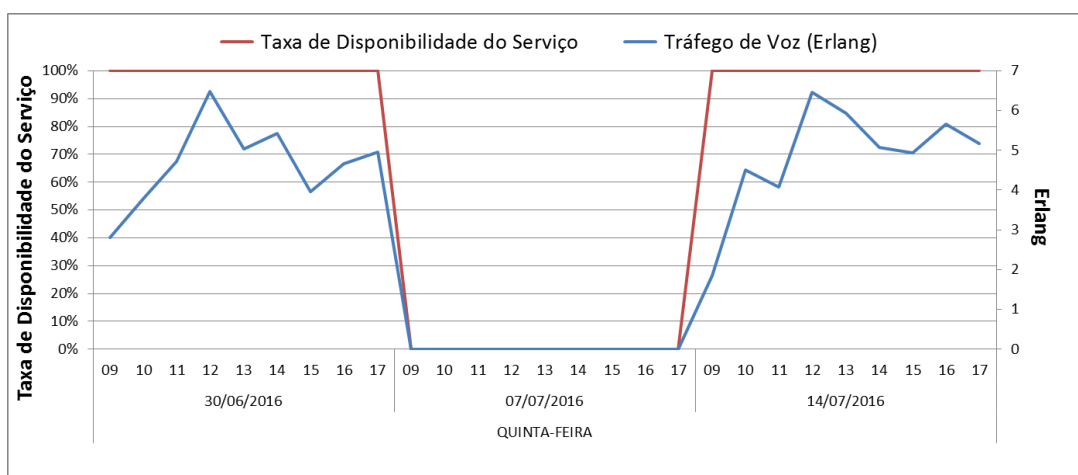


Figura 4.11 - Taxa de Disponibilidade do Serviço em função do Número Médio de Usuários (ERB).

Com a análise supracitada, é possível estimar o número de usuários afetados pela ocorrência da interrupção, visto que o quantitativo deveria ser aproximadamente igual ao mesmo dia da semana posterior. Logo, considerando o

tráfego no dia 14/07/2016, é possível calcular de maneira aproximada a perda financeira que a operadora de telefonia teve durante a interrupção. Para comprovar o exposto foi utilizada a análise estatística de Bernoulli, a qual permitirá mostrar, nos dois próximos itens, que, na situação explicitada na Figura 4.11, há uma redução na probabilidade de ocupação simultânea dos canais de tráfego, ou seja, o número de tráfego cai consideravelmente.

#### 4.3.1.1 Análise Estatística de Bernoulli - Tecnologia 3G (WCDMA)

Frente ao exposto no item anterior, os eventos de interrupção que afetam a disponibilidade do serviço também provocam uma queda no número de tráfego. Analisando a distribuição da Taxa de Disponibilidade para a ERB que utiliza tecnologia 3G durante o mês de Janeiro de 2016 (Figura 4.12), uns dos mais afetados pelos eventos de interrupção, percebe-se que a mesma fica abaixo de 100% em vários momentos, o que implica em uma redução do número de assinantes conectados a estação e uma consequente redução na receita da operadora devido a esse momento de baixa tarifação.

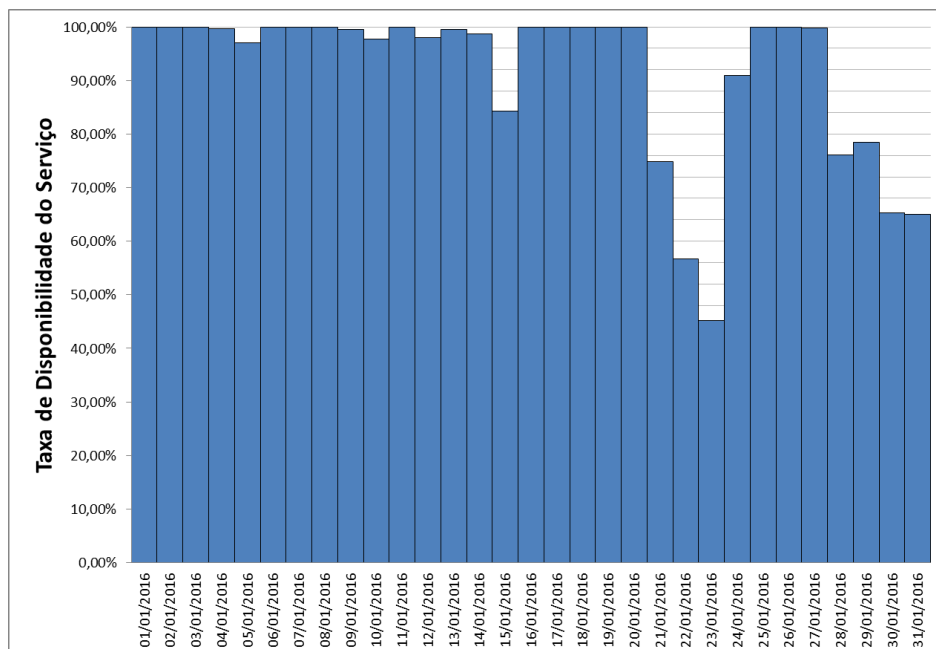


Figura 4.12 - Distribuição da Taxa de Disponibilidade durante o mês de Janeiro/2016 (ERB 3G).

Diante desse cenário, aplica-se a análise estatística de Bernoulli considerando uma disponibilidade de 100% em todo o período analisado.

Considerando plena disponibilidade da ERB, a análise do tráfego de voz diante da existência de 20 canais disponíveis pode ser realizada pela equação (23).

$$P_{100\%} = \frac{750^{20}}{20!} \cdot e^{-750} = 1,30 * e^{-711} \quad (23)$$

Fazendo agora o cálculo de probabilidade de ocupação simultânea dos canais considerando o comportamento da disponibilidade no dia mais impactado do mês de outubro (Figura 4.12), obtém-se o resultado mostrado na equação (24).

$$P_{45\%} = \frac{750^{20*0,45}}{20 * 0,45!} \cdot e^{-750} = 2,01 * e^{-730} \quad (24)$$

Os dois resultados obtidos mostram que a probabilidade de ocupação dos canais de tráfego diminui com a queda na disponibilidade, conforme exposto na Figura 4.11. Além disso, verifica-se que os eventos de interrupção, os quais afetam a Taxa de Disponibilidade do Serviço, se relacionam diretamente com a queda no número de tráfego a estação, o que representa, para a operadora de telefonia móvel, uma provável queda na receita.

#### 4.3.1.2 Análise Estatística de Bernoulli - Tecnologia 2G (GSM)

Analogamente ao supracitado, analisou-se a distribuição da Taxa de Disponibilidade do Serviço durante o mês de dezembro para o caso GSM, conforme Figura 4.11. Semelhante ao critério utilizado no caso 3G, dezembro foi escolhido, pois foi o mês com o maior número de eventos de interrupção, ou seja, o mês em que a ERB ficou mais tempo indisponível. Na Figura 4.13 é possível observar que, em vários momentos, da Taxa de Disponibilidade do Serviço é inferior a 100%, se apresentando novamente em uma situação na qual o sistema também é constantemente afetado pelos eventos de interrupção.

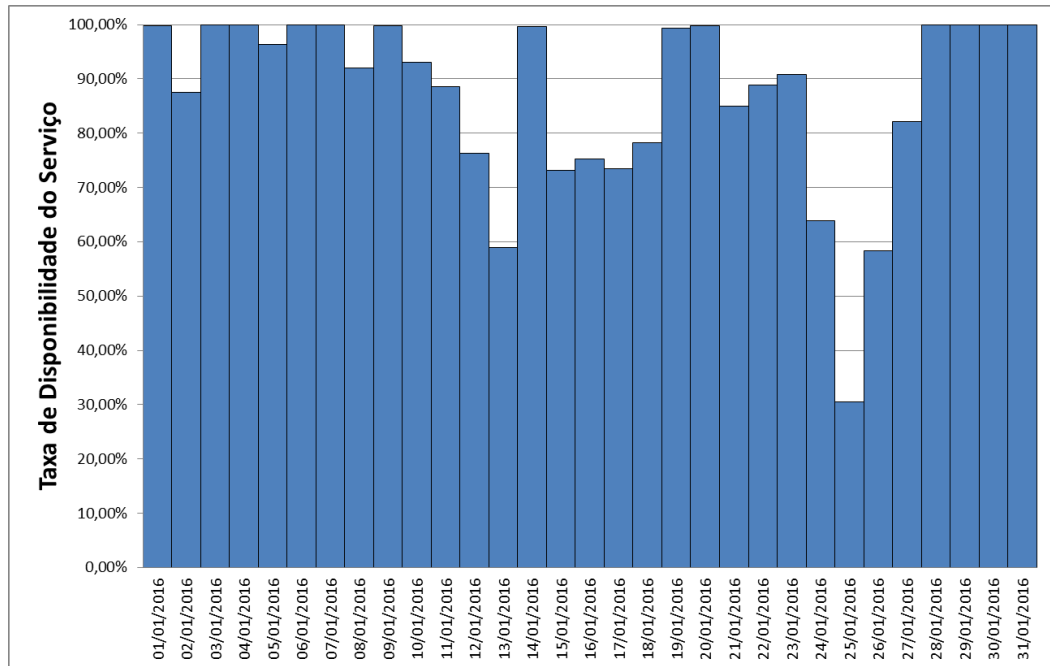


Figura 4.13 - Distribuição da Taxa de Disponibilidade durante o mês de Janeiro/2016 (ERB 2G).

Utilizando o tráfego de voz na ERB 2G e, hipoteticamente, considerando a existência de 20 canais disponíveis para o usuário, aplicou-se a análise de Bernoulli com o objetivo de comparar os dias com menor (45%) e maior (100%) taxas de disponibilidade registrada durante o período de medição. Os resultados podem ser verificados respectivamente nas equações (25) e (26).

$$P_{30\%} = \frac{1300^{20 \cdot 0,3}}{20 \cdot 0,3!} \cdot e^{-1300} = 6,70 \cdot e^{-1285} \quad (25)$$

$$P_{100\%} = \frac{1300^{20}}{20!} \cdot e^{-1300} = 7,82 \cdot e^{-1257} \quad (26)$$

Semelhante ao caso anterior, os resultados apresentados mostram que, na rede 2G, a probabilidade de ocupação de canais de tráfego também diminui com a queda na disponibilidade. As conclusões em relação aos efeitos dos eventos de interrupção na Taxa de Disponibilidade do Serviço e no número de tráfego são semelhantes ao do caso anterior, diferenciando apenas na proporção do impacto.

Essa última afirmação pode ser explicada pela maior duração da interrupção no fornecimento da energia elétrica à estação GSM ou na maior distância entre a ERB e o Centro de Manutenção (CM), o que dificulta o envio de Grupo Motor

Gerador (GMG). O GMG é utilizado atualmente pelas operadoras para alimentar uma ERB que está indisponível devido a longos períodos de interrupção no fornecimento de energia elétrica.

#### 4.3.1.3 Aplicação das Técnicas Multivariadas

A aplicação das técnicas multivariadas utilizadas nesse trabalho visa verificar a interdependência dos indicadores estudados, provando assim que é possível explicar a estrutura de variância e covariância dos mesmos através de poucas combinações lineares dos indicadores utilizados para análise. Em resumo, a técnica multivariada servirá para definir quais indicadores são mais importantes dentre os estudados, os quais servirão de base para futuros estudos sobre perdas financeiras associadas.

A possibilidade de calcular o déficit na receita em uma operadora devido aos eventos de interrupção pode ser mais bem explicada por Mardia *et. al.* (1979), a qual diz que quando os primeiros componentes explicam a maior parte da variação do sistema em estudo, estes apresentam uma importante aplicação em conexão com a análise de agrupamento, ou seja, com poucos indicadores é possível explicar todos os outros. Logo, para realizar essa análise, serão utilizadas as técnicas multivariadas de avaliação da interdependência Componentes Principais e Correlações Canônicas, com os devidos cálculos sendo realizados através da utilização das ferramentas e dos recursos disponibilizados pelo *software* SAS (CODY, 2007).

##### 4.3.1.3.1 Indicadores 3G (WCDMA)

Para esse caso, as componentes principais são calculadas a partir das combinações lineares dos 5 (cinco) indicadores trabalhados nessa dissertação, são eles: *Seveability* (Voz e Dados), Tráfego (Voz e Dados) e Taxa de Disponibilidade do Serviço. Essas componentes calculadas dependem somente da matriz de covariâncias (S) ou da matriz de correlação (R) dos indicadores mencionados. Assim, a técnica de componentes principais caracteriza-se por trabalhar basicamente com a média amostral dos dados.

A aplicação da técnica apresentada sobre os indicadores de QTM resultou nos valores conforme apresentado na Figura 4.14.

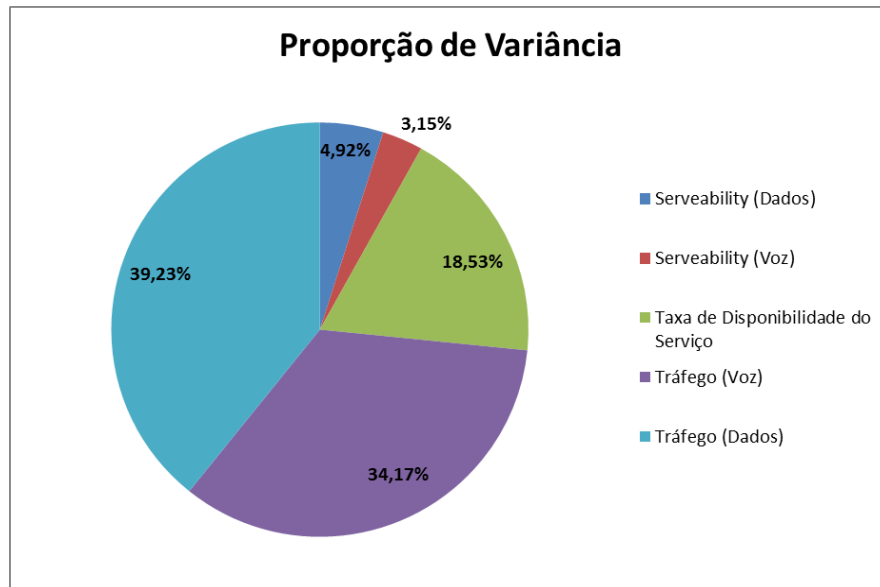


Figura 4.14 – Proporção de Variância aplicada aos indicadores da QTM (caso 3G).

Analisando os resultados da Figura 4.14, é possível verificar que 73,4% da variação total está concentrada na Tráfego (voz e dados), ou seja, esses indicadores explicam mais de 70% da variação total dos dados. Considerando que, na condição apresentada, Cruz *et. al.* (1994) afirmam que as inferências sobre esses indicadores são consideradas satisfatórias, é possível concluir que os mesmos garantem resultados muito próximos do observado no funcionamento real do sistema.

Após a definição dos parâmetros, será aplicada a técnica de Correlação Canônica entre esses indicadores e a Taxa de Disponibilidade do Serviço, a qual tem como objetivo garantir uma relação linear suficientemente forte (linearmente dependentes) para a análise de receita proposta, ou seja, espera-se que o coeficiente de correlação calculado esteja próximo de 1 (um). A relação com a disponibilidade do serviço deve-se ao fato de que este é diretamente afetado pelos eventos de interrupção, conforme Figura 4.3.

Tabela 4.4 - Cálculo da Correlação Canônica entre Indicadores - Tecnologia 3G.

Informação	Tráfego (Voz)	Taxa de Disponibilidade do Serviço	Tráfego (Dados)
Tráfego (Voz)	1	0,96523	0,9975
Taxa de Disponibilidade do Serviço	0,96523	1	0,97397
Tráfego (Dados)	0,9975	0,97397	1

Analisando a Tabela 4.3, verifica-se que o coeficiente de correlação entre os indicadores mencionados anteriormente estão próximos de 1 (um) conforme esperado, ou seja, esse resultado maximiza a relação entre esses parâmetros e comprova que os efeitos de interrupção estão diretamente relacionados com a tráfego.

#### 4.3.1.3.2 Indicadores 2G (GSM)

Seguindo a teoria aplicada no item anterior, será realizado o mesmo procedimento para o caso GSM. A Figura 4.15 mostra os resultados após os cálculos dos componentes principais em uma análise de variância:

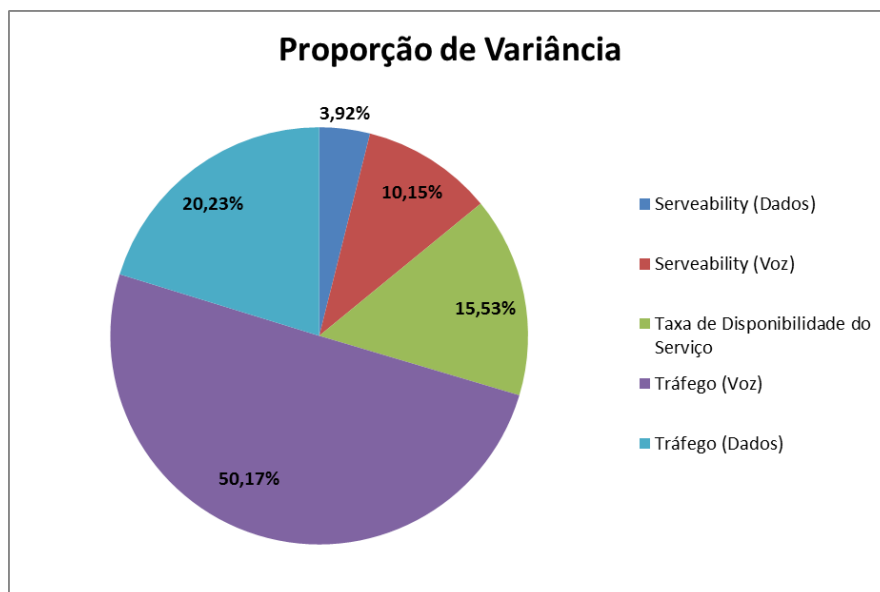


Figura 4.15 – Proporção de Variância aplicada aos indicadores da QTM (caso 2G).



Na Figura 4.15 é possível verificar uma variância acumulada concentrada nos indicadores de tráfego (voz e dados) acima de 70%, o que, de acordo com Cruz *et. al.* (1994), valida sua utilização na análise da variação de receita proposta nesse trabalho.

Análogo ao realizado para os indicadores 3G, será aplicada a técnica de Correlação Canônica também para esse caso.

Tabela 4.5 - Cálculo da Correlação Canônica entre Indicadores - Tecnologia 2G.

Informação	Tráfego (Voz)	Taxa de Disponibilidade do Serviço	Tráfego (Dados)
Tráfego (Voz)	1	0,94645	0,9763
Taxa de Disponibilidade do Serviço	0,94645	1	0,95976
Tráfego (Dados)	0,9763	0,95976	1

Através da Tabela 4.5 e semelhante ao caso anterior, também a um coeficiente de correlação próximo de 1 (um) para o caso GSM, ou seja, pode-se realizar conclusões semelhantes ao caso anterior, na qual o resultado maximiza a relação entre esses indicadores e comprova que os efeitos de interrupção estão diretamente relacionados com a tráfego.

#### 4.3.1.4 Análise de Tráfego – Tecnologia 3G

Para começar esse estudo, serão utilizadas as Figuras 4.16 e 4.17 a fim de verificar que o tráfego nas estações da cidade que não é afetada pelos eventos de interrupção (Desejado) é maior do que nas estações da cidade em estudo (Real) em todos os meses dos anos de 2015 e 2016. Assim, com os dados das figuras supracitadas é possível realizar o cálculo estimado das perdas de tráfego.

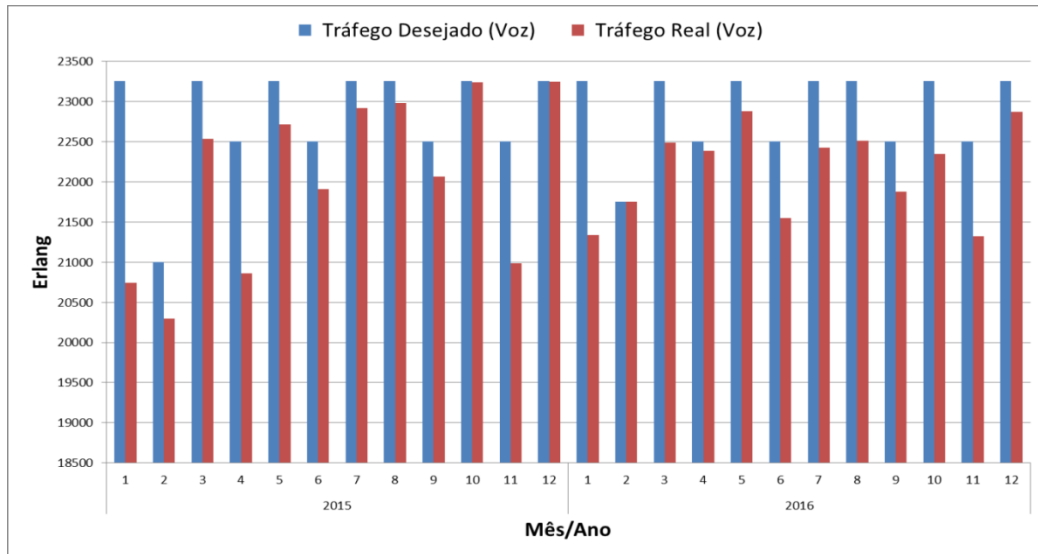


Figura 4.16 - Comparativo de Tráfego de Voz entre ERBs de duas cidades - Tecnologia 3G.

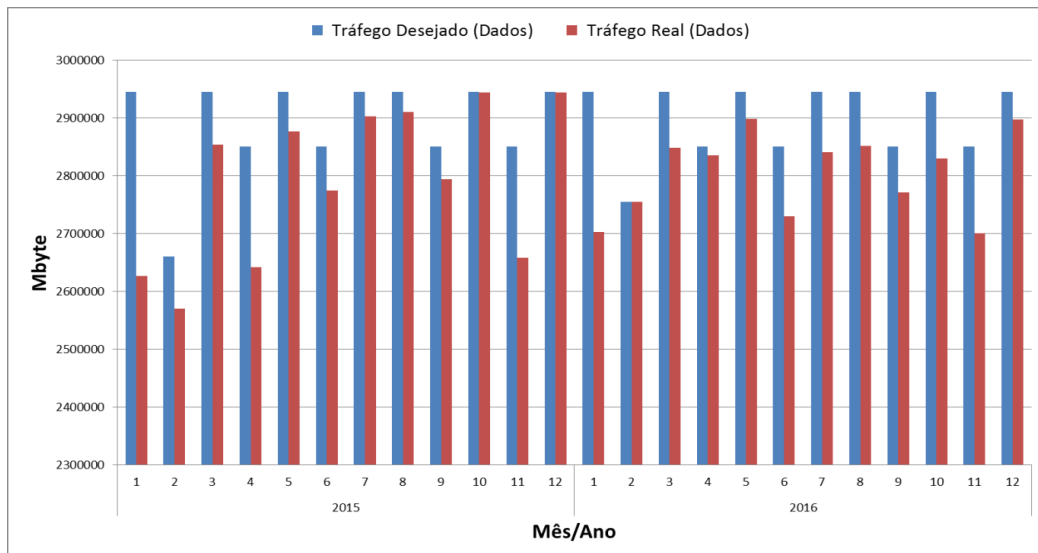


Figura 4.17 - Comparativo de Tráfego de Dados entre ERBs de duas cidades - Tecnologia 3G.

É possível notar pelos gráficos que as maiores perdas de tráfego correspondem aos meses com os maiores números de eventos de interrupção, corroborando com o esperado. Desta forma, com a diferença de tráfego apresentada é possível fazer uma análise de receita perdida pela operadora de telefonia móvel para cada mês. Entretanto, para fazer esse tipo de análise é necessário ter o detalhe de todas as receitas e despesas da operadora em estudo para a ERB estudada.

#### 4.3.1.5 Análise de Tráfego – Tecnologia 2G

Após a aplicação da análise de tráfego para a tecnologia 3G, será realizada de modo similar para a rede 2G. Considerando o supracitado e, assim como no caso anterior, é possível verificar nas Figuras 4.18 e 4.19 que há uma diferença de tráfego entre as estações da cidade que não foi afetada pelos eventos de interrupção e a cidade em estudo, sendo maior nos meses onde a quantidade de chuva acumulada é mais alta, nos quais há uma maior ocorrência dos eventos de interrupção, conforme já visto anteriormente.

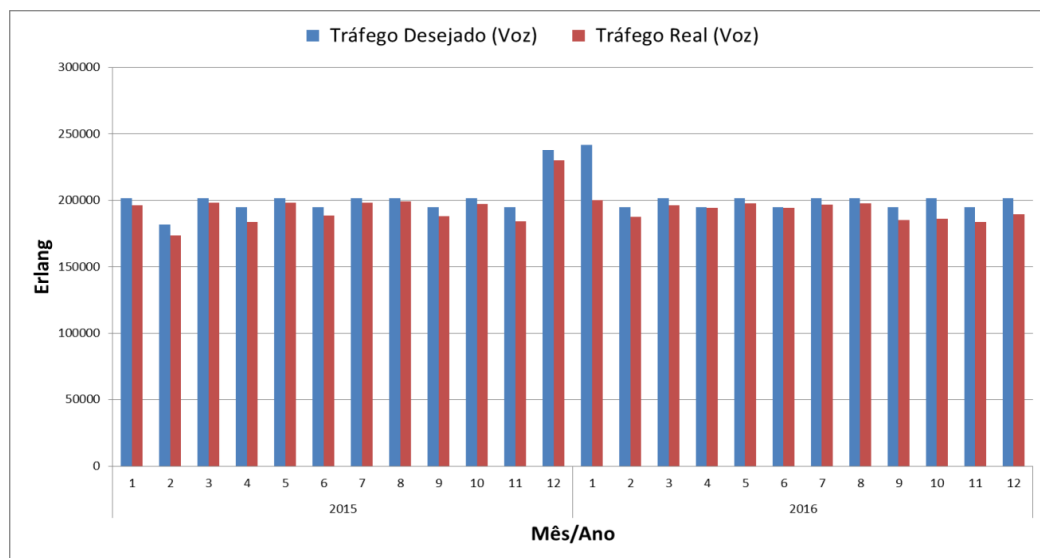


Figura 4.18 - Comparativo de Tráfego de Voz entre ERBs de duas cidades - Tecnologia 2G.

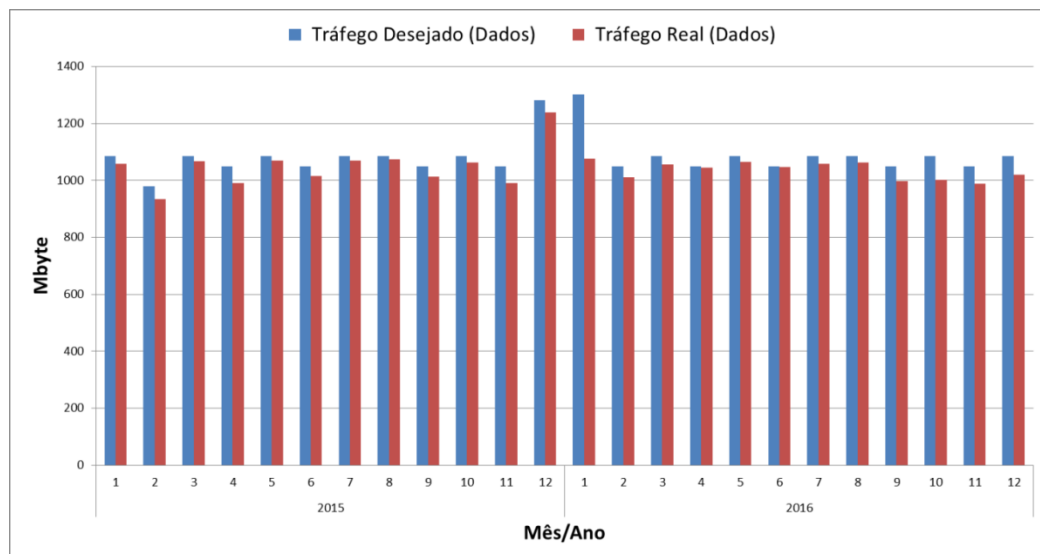


Figura 4.19 - Comparativo de Tráfego de Dados entre ERBs de duas cidades - Tecnologia 2G.

Da mesma forma que foi comentada anteriormente as informações contidas no gráfico também podem auxiliar na análise de receita, entretanto as informações com os detalhes necessários para esse tipo de análise não foi disponibilizada pela operadora.

#### 4.3.1.6 Análise de Tráfego – Tecnologia 4G

Será realizada também uma análise de tráfego para o caso 4G com o objetivo de comprovar esse tipo de estação é pouco afetada pelos eventos de interrupção da QEE, os quais causam prejuízos significativos à operadora de telefonia móvel, considerando que as ERBs estão localizadas nos lugares onde o suprimento da energia elétrica é mais confiável.

Através da Figura 4.20 é possível observar que, diferente dos casos anteriores, a diferença de tráfego entre as duas cidades não é tão expressiva. Isso acontece pelo fato do indicador de Taxa de Disponibilidade do Serviço não ser afetada constantemente pelos eventos de interrupção, mas sim por algumas falhas nos equipamentos de telefonia devido ao uso.

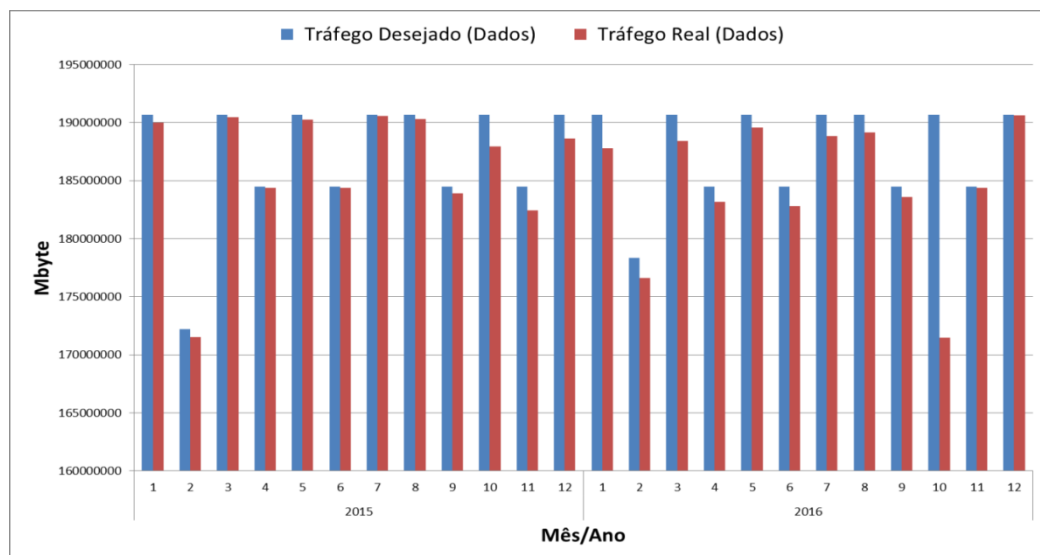


Figura 4.20 - Comparativo de Tráfego de Dados entre ERBs de duas cidades - Tecnologia 4G.

Os resultados mostrados nos itens anteriores confirmam a hipótese inicial desse estudo, na qual os eventos de interrupção causam grandes prejuízos às operadoras de telefonia móvel no que diz respeito à entrada de receita e operação

das estações rádio base. Um fato interessante é que as perdas na rede 2G apresentaram-se acima da rede 3G, o que pode ser explicado pelos resultados encontrados nas Figuras 4.2 e 4.7, as quais mostram que os eventos de Interrupção são muito maiores no caso GSM em comparação com o WCDMA.

Pensando na rede LTE, o fato dela não ser afetada pelos eventos de interrupção mostrou, através da análise de tráfego, que os prejuízos são menores em relação aos outros dois casos. Isso prova que uma rede de energia elétrica mais confiável resulta em um menor prejuízo para as operadoras e o tráfego se apresenta dentro dos valores esperados.

## 5 CONCLUSÃO

Com o estudo em questão foi possível verificar que a QEE está diretamente ligada ao serviço de telefonia móvel, considerando que as ocorrências de interrupção causam grande impacto não somente para os clientes, mas também para as operadoras de telefonia, influenciando diretamente na qualidade do serviço entregue. Verificou-se também que, em uma análise por tecnologia, o impacto é maior na GSM e WCDMA, pois estas apresentaram a correlação mais significativa entre a capacidade que o sistema tem de servir ao cliente e indicador de Taxa de Disponibilidade do Serviço.

Os resultados mostrados nos itens anteriores confirmam a hipótese inicial desse estudo, na qual os eventos de interrupção causam grandes prejuízos às operadoras de telefonia móvel no que diz respeito à entrada de receita e operação das estações rádio base. Um fato interessante é que as perdas na rede 2G apresentaram-se acima da rede 3G, o que pode ser explicado pela maior ocorrência dos eventos de interrupção nas ERBs dessa tecnologia em comparação com as outras. A rede LTE, por sua vez, não é muito afetada pelos eventos de interrupção, provando que uma rede de energia elétrica mais confiável traz mais segurança nos investimentos das operadoras.

Com a aplicação das duas técnicas multivariadas (Componentes Principais e Correlações Canônicas) foi possível verificar que, dentre os indicadores estudados nesse trabalho, o que mede a quantidade de tráfego a ERB foi o que apresentou, em relação à Taxa de Disponibilidade do Serviço, uma boa relação linear. Essas duas conclusões permitem que as análises sobre os indicadores relacionados aos tráfegos sejam consideradas aceitáveis e as inferências sobre o estudo dos mesmos satisfaçam a hipótese de que os resultados calculados estão próximos dos observados.

Agregando a análise de tráfego é possível também que trabalhos futuros busquem as informações de receitas e despesas das operadoras com os detalhes necessários para fazer uma análise de investimento precisa. Com as sucessivas análises apresentadas por esse trabalho espera-se que o valor da receita perdida pela operadora de telefonia móvel seja significativo, fazendo com que as mesmas busquem soluções a todo o momento para minimizar os problemas associados.

Uma das sugestões de solução dos problemas associados para as operadoras é aumentar a quantidade de banco de baterias nas ERBs existentes na planta e, em paralelo, faça investimentos em sistemas seguros e sofisticados de segurança a fim de impedir que sucessivos atos de vandalismos possam inviabilizar esse tipo de investimento.

É importante salientar que na operadora de telefonia, os prejuízos relacionados a esse evento da QEE estão ligados à capacidade de servir ao cliente, conforme mostrado nos casos anteriores, ao aumento de reclamações por parte dos assinantes, as elevadas multas que podem ser aplicadas pela agência reguladora devido ao impacto nos indicadores SMP e os danos que os equipamentos de eletrônica de potência podem sofrer com essa variação de tensão.

Para os clientes os prejuízos vão além da falta de energia na região e a falta de comunicação por meio do Serviço Móvel de Telefonia. Pode ser citada a falta de um atendimento rápido do Serviço Móvel de Saúde devido à perda da comunicação por um longo período de tempo, bem como impossibilidade de resolver problemas do dia a dia pelo atendimento digital, entre outros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AJAEI, F. B.; FARHANGI, S.; IRAVANI, R. Fault Current Interruption by the Dynamic Voltage Restorer. **IEEE Transactions on Power Delivery**, Alberta, v. 28, n. 2, abr. 2013.
- ALMEIDA, C. A. **Distorção Harmônica: Estudo de Caso de uma Central Telefônica**. Dissertação de Mestrado. Salvador: Núcleo de Pós Graduação em Energia e Computação da Universidade Salvador, 2014.
- ALMEIDA, C. A.; BARBOSA, D.; DA SILVA, K. F. Estudo das Perdas Financeiras por Distorções Harmônicas em uma Central Telefônica. In: XI Conferência Brasileira sobre Qualidade de Energia Elétrica, 2015, Lindóia. **Anais eletrônicos...** Lindóia: SBQEE, 2015. Disponível em: <<http://www.sbqee.org.br/cbqee/anais>>. Acesso em: 09 mar. 2017.
- ANATEL. **Plano Geral de Metas de Qualidade para o Serviço de Telefonia Móvel**. Brasília, DF, 2002.
- ANATEL. **Relatório Anual de 2006**. Brasília, DF, 2006.
- ANATEL. **Regulamento de Gestão da Qualidade da Prestação do Serviço Móvel Pessoal**. Brasília, DF, 2011.
- ANATEL. **“Direitos: Banda Larga Fixa”**. Brasília, DF, 2014.
- ANATEL. **Proposta de Regulamento de Disponibilidade dos Serviços de Telecomunicações**. Brasília, DF, 2016.
- ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – Módulo 8**. Brasília, DF, rev. 1, jan. 2017.
- ANEEL. Qualidade do Serviço. **ANEEL**. Brasília, DF. 28 jan. 2016. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/qualidade-do-servico2>>
- ARAÚJO, R.J.P.; BARBOSA, D.; MELLO, S. S. M. M.; STRAUCH, M. T.; PEREIRA, X.; NETO, H. Aplicação de sistemas Fuzzy paramétricos para atendimento dos critérios de qualidade de fornecimento de energia elétrica – Conferência Brasileira de Qualidade de Energia Elétrica, 2013.
- ARTIOLI, M.; GIANNESI, L.; PETRALIA, A. High-Order-Harmonic Generation and Superradiance in a Seeded Free-Electron Laser. **Physical Review Letters**, Nova Iorque, v. 108, 20 abr. 2012.
- ASSAD, J. E.; BOURI, E. The Lebanese Electricity Woes: An Estimation of the Economical Costs of Power Interruptions. **Energies Journal**, Suíça, v. 8, n. 583, 27 jul. 2016.



AWODELE, K.; CHO, N. F. F. I. Investigating a probabilistic customer interruption costs and energy not supplied assessment for electric power distribution residential customers. In: AFRICON, 2011, Zambia. **Anais eletrônicos...** Zambia: IEEE Conference Publications, 2011. Disponível em <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6072165/>>.

BALDIN, D. D.; RICOLDI, R. M. A. **Introdução a Rede Celular de Quinta Geração – 5G**. Projeto final de Pós-Graduação em Engenharia de Telecomunicações. São Paulo: Universidade Federal Fluminense, 2016.

BARBOSA, C. W. 5G deve ser até mil vezes mais rápida que 4G. **Tecmundo**, Rio de Janeiro, 02 mai. 2013. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/4g/39272-5g-deve-ser-ate-mil-vezes-mais-rapida-que-4g-diz-pesquisador.htm>>

BARRADAS, O.; SILVA, A. **Telecomunicações - Sistemas de Energia**. Rio de Janeiro: EDITELE, 1980.

BEATY, H., DUGAN, R., MCGRANAGHAN, M., SANTOSO, S. **Electric power systems quality**. 3. ed. Nova Iorque: McGraw Hill, 2012.

BEIGUELMAN, B. **Curso Prático de Bioestatística**. 4. ed. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1996.

BORGES, T. T.; **Restabelecimento de Sistemas de Distribuição Utilizando Fluxo de Potência Ótimo**. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012

BRASIL, Lei nº 9.472, 16 de Julho de 1997

CACIOTTA, M.; GROSSONI, M.; LECCESE, F. Power Quality Measurements in Telecommunication Exchanges Delivery Points. In: IEEE INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS ENERGY CONFERENCE, 30., 2008, San Diego, EUA. **Anais...** Danvers, EUA: IEEE Conference Publications, 2008. p. 1-5.

CASTRO, R.; FAIAS, S.; ESTEVES, J. The cost of electricity interruptions in Portugal: Valuing lost load by applying the production-function approach. **Elsevier da Science Direct**, vol. 40, p. 48-57, jun. 2016.

CEBRIAN J. C.; RAHMAN S.; KAGAN N. Restoration in Distribution Systems to Reduce Financial Losses Related to Process Trips. **IEEE Transactions on Smart Grid**, Nova Iorque, vol. 8, n. 1, p. 219-227, jan. 2017.

CHRISTIE B. N. V. S. S.; RELIABILITY, B. R. A. R. N.; SALVADERI, B. R. A. R. L. **IEEE Std. 1366 IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices**. Nova Iorque, EUA, 2012.

CODY, R. Learning SAS by Example: A Programmers Guide. **SAS Institute**, Carolina do Norte, mar. 2007. Disponível em: <[https://www.sas.com/storefront/aux/en/splearnexample/60864\\_excerpt.pdf](https://www.sas.com/storefront/aux/en/splearnexample/60864_excerpt.pdf)>

COLNAGO, G. P., MACEDO JR., J. R., SOUSA, G. C. D., VIEIRA, J. L. F. A Nova Norma de Qualidade de Energia Elétrica Brasileira e um Medidor de Baixo Custo. In: IX Congresso Brasileiro sobre Qualidade de Energia Elétrica (CBQEE), 2011, Cuiabá. **Anais eletrônicos...** Cuiabá: SBQEE, 2011. Disponível em:

<[https://www.researchgate.net/publication/263973996\\_A\\_Nova\\_Norma\\_de\\_Qualidade\\_da\\_Energia\\_Eletrica\\_Brasileira\\_e\\_um\\_Medidor\\_de\\_Baixo\\_Custo](https://www.researchgate.net/publication/263973996_A_Nova_Norma_de_Qualidade_da_Energia_Eletrica_Brasileira_e_um_Medidor_de_Baixo_Custo)> Acesso em: 09 mar. 2017.

CORRÊA, F. I. M. **Estudo de um sistema de distribuição com enfoque na qualidade da energia elétrica.** São Carlos: Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, 2007.

COX, C. **An Induction to LTE, LTE-Advanced, SAE And 4G Mobile Communications.** Reino Unido: Wiley, 2012.

CRUZ, C. D. **Algumas técnicas de análise multivariada no melhoramento de plantas.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1987. 75 p.

CRUZ, C.D. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1990. 188 p.

CRUZ, C.D. & REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** Viçosa: UFV, 1994. 394 p.

DUGAN, R.; McGRANAGHAN, M.F.; SANTOSO, S.; BEATY, H.W. **Electrical power systems quality.** 3. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2012.

DUNTEMAN, G.H. **Introduction to multivariate analysis.** Beverly Hills: Sage Publications, 1984. 237p.

ETSI. **TS 123 002 V9.3.0 Technical Specification. Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Network architecture (3GPP TS 23.002 version 9.3.0 Release 9).** 1. ed. Paris, 2010. 96 p.

FERNANDES, E. S. **Planejamento de Cobertura de RF na Arquitetura LTE.** Salvador: AREA 1, 2012.

FENGYING, M. Reliable analysis of monitoring power and power interruption controller in underground refuge system. In: 31st Chinese Control Conference, 2012, Anhui Province. **Anais eletrônicos...** Anhui Province: IEEE Conference Publications, 2012. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6390883/>>

FRANCO E. Qualidade da energia elétrica - Causas, Efeitos e Soluções. **ENGECOMP TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO E CONTROLE LTDA.** São Paulo, 2007.

GADIRAJU, K. V. R.; VALLEM, M. R. Methods for reducing momentary interruptions in distribution systems. In: IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2012, San Diego. **Anais eletrônicos...** San Diego: IEEE Conference Publications, 2012. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6345718/>>

HEIDARI, A.; AGELIDIS, V. G.; KIA, M. Reliability Optimization of Automated Distribution Networks With Probability Customer Interruption Cost Model in the Presence of DG Units. **IEEE Transactions on Smart Grid**, Nova Iorque, vol. 8, n. 1, p. 305-315, jul. 2016.

HERMAN, R.; GAUNT, C. T. Probabilistic estimation of power system interruption impact using time element matrices. In: Power and Energy Society General Meeting, 2016, Boston. **Anais eletrônicos...** San Diego: IEEE Conference Publications, 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7741497/>>. Acesso em 15 jan. 2017.

HOLMA, H.; TOSKALA, A. **WCDMA for UMTS - HSPA Evolution and LTE**. 4. ed. Nova Jersey: Wiley, 2007.

HOTELLING, H. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. **Journal of Educational Psychology**, Washington D.C., v. 24, p. 417-441, sep. 1933.

HOTELLING, H. The most predictable criterion. **Journal of Educational Psychology**, Washington, v.26, p.139-142, feb. 1935.

HOTELLING, H. Simplified calculation of principal components. **Psychometrika**, Baltimore, v.1, p. 27-35, jan. 1936.

HUFF, D. L. Advanced mobile phone service: the developmental system, **The Bell System Technical Journal**, v. 58, p. 249-269, jan. 1979.

INMET. **Gráfico da chuva média acumulada**. 2017. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=tempo/graficos>>. Acesso em: 15 fev. 2017, 10:00:00.

ISLAM, S. R.; SUTANTO, D.; MUTTAQI, K. M. Application of multi-agent system for preventing power interruption in a large power system. In: International Conference on 15th Harmonics and Quality of Power, 2012, Hong Kong. **Anais eletrônicos...** Hong Kong: IEEE Conference Publications, 2012. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6381211/>>. Acesso em 15 dez. 2016.

JAMES, F.C. & McCULLOCH, C.E. Multivariate analysis in ecology and systematics: Panacea or pandoras box? **Annual Review Ecology Systematic**, v. 21, p. 129-166, nov. 1990.

JESZENSKY, P. J. E. **Sistemas Telefonicos**. 1. ed. Barueri: Manole Ltda, 2004.

JOHNSON, R.A. e WICHERN, D.W. **Applied Multivariate Analysis**. 4. ed. Nova Jersey: Prentice Hall, 1998.

KENDALL, M. **Multivariate analysis**. 4. ed. Londres: High Wycombe, 1980.

KJOLLE, G. H.; SPERSTAD, I. B.; JAKOBSEN, S. H. Interruption costs and time dependencies in quality of supply regulation. In: Internacional Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, 2014, Durham. **Anais eletrônicos...** Durham: IEEE Conference Publications, 2014. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6960620/>>. Acesso em 23 jan. 2017.

LAMOREE, J., MUELLER, D., VINETT, P., JONES, W., & SAMOTYJ, M. (1993). Voltage sag analysis case studies. In: Conference Record Annual Meeting Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference, 1993, Barcelona. **Anais eletrônicos...** Barcelona: IEEE Conference Publications, 2013. Disponível em: <[ieeexplore.ieee.org/document/290587/](http://ieeexplore.ieee.org/document/290587/)>. Acesso em 25 jan. 2017.

LARSEN, P. H.; BOEHLERT, B.; ETO, J. H.; LACOMMARE, K. H.; MARTINICH, J.; RENNELS, L. **Projecting Future Costs to U.S. Electric Utility Customers from Power Interruptions**. 1. ed. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2017.

LECCESE, F. Rome, a First Example of Perceived Power Quality of Electrical Energy: the Telecommunication Point of View. In: 29th INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS ENERGY CONFERENCE, 2007, Roma. **Anais eletrônicos...** Roma: IEEE Conference Publications, 2007. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/4448800/>>. Acesso em 23 jan. 2017.

LIBERATO, J. R. **Aplicações de técnicas de análise multivariada em fitopatologia**. Dissertação de Mestrado. Viçosa: UFV, 1995. 144 p.

MANLY, B.F.J. **Multivariate statistical methods: A primer**. 3. ed. London: Chapman and Hall, 1986.

MARDIA, K.V.; KENT, J.T.; BIBBY, J.M. **Multivariate analysis**. 1. ed. London: Academic Press, 1979.

MARINI, J. A.; ROSSI, L. A. **Projeto de Sistemas Fotovoltaicos para Oferta de Energia Elétrica a Comunidades Rurais**. Dissertação de Mestrado. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2002.

MARTINHO, E. **Distúrbios da energia elétrica**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2009.

MCGRANAGHAN, M. F., MUELLER, D. R., & SAMOTYJ, M. J. Voltage Sags in Industrial Systems. **IEEE Transactions on Industry Applications**, v. 29, p. 397-403, mar. 1993.

MICROSOFT. **Centro de Treinamento do Office para o software Excel**, 2010. Disponível em: <<https://support.microsoft.com/pt-br>>. Acesso em 04 nov. 2016.

MIROSEVIC, M.; MALIJKOVIC, Z.; GASPARAC, I. Effects of interruption in power supply of induction motors in isolated electrical grid. In: Internacional Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics, 2011, Istambul. **Anais eletrônicos...** Istambul: IEEE Conference Publications, 2011. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6490691/>>. Acesso em 03 nov. 2016.

MORRISON, D.F. **Multivariate statistical methods**. 2. ed. Nova Iorque: Mc Graw-Hill, 1976.

MOULY, M.; PAULET, M. B. **The GSM System for Mobile Communications**. 1. ed. Kingsmead: Bay Foreign Language Books, 1992.

MUKAKA, M. M. Statistics Corner: A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. **Malawai Medical Journal**, v. 24, p. 69-71, set. 2012.

NAKADIRA, A. A.; BIDARAR, V. N.; SARMA, D. V. S. S. Improved outage prediction using asset management data and intelligent multiple interruption event handling with fuzzy control during extreme climatic conditions. In: International Conference on Smart Electric Grid, 2014, Guntur. **Anais eletrônicos...** Guntur: IEEE Conference Publications, 2014. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7005617/>>. Acesso em 23 nov. 2016.

NASCIMENTO, J. **Telecomunicações**. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 2000.

NEDER, H. D. **Curso de Estatística Aplicada**. Uberlândia: Instituto de Economia da Universidade Federal de Uberlandia, 2000.

NELSON, J. P.; LANKUTIS, J. D. Putting a Price on Power Interruptions: How Utilities and Customers Can Share Interruption Costs. **IEEE Industry Applications Magazine**, v. 22, p. 30 – 40, jul. 2016.

NOKIA NETWORKS, Alcatel-Lucent boosts its mobile backhaul portfolio for the small cell era. **NOKIA**, Paris, out. 2012. Disponível em: <<https://networks.nokia.com/press/2012/002735>>. Acesso em: 06 mar. 2016.

OFCOM. The Communications Market Report. **Report Linker**, Lyon, dez. 2016. Disponível em: <[www.reportlinker.com/market-reports](http://www.reportlinker.com/market-reports)>. Acesso em: 15 fev. 2017.

OLESKOVICZ, M.; COURY, D. V.; CARNEIRO, A. A. F. M.; ARRUDA, E. F.; DELMONT, O.; SOUZA, S. A. Estudo comparativo de ferramentas modernas de análise aplicadas à qualidade de energia elétrica. **SBA Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automática**, v. 17, n. 3, jul. 2006

OPENSIGNAL. “The States of LTE” – Panorama Mundial de Conectividade Móvel 4G LTE. **O Globo**, Laguna Hills, EUA, set. 2016. Disponível em: <[www.reportlinker.com/market-reports](http://www.reportlinker.com/market-reports)>. Acesso em: 18 fev. 2016.

ORTMEYER, T. H.; FISK, B. M. Characterization of distribution system interruption duration. In: IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2012, San Diego. **Anais eletrônicos...** San Diego: IEEE Conference Publications, 2012. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6344961/>>. Acesso em 15 fev. 2017.

PARADINE, C.G.; RIVETT, B.H.P. **Métodos Estatístico para Tecnologista**. 1. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1974.

PAULINO, J. O. S. **Manual sobre tudo o que você queria saber sobre torres de telefonia celular**. CTBC CELULAR, MAXITEL, TELEMIG CELULAR e UFMG. Belo Horizonte, p. 10, jan. 2001.

PELEGRINI, M. A.; ALMEIDA, C. F. M.; KONDO, D. V. Survey and applications of interruption costs in large customers. In: International Conference on Harmonics and Quality of Power, 2012, Hong Kong. **Anais eletrônicos...** Hong Kong: IEEE Conference Publications, 2012. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6381252/>>. Acesso em 15 dez. 2016.

PINTO, F. **Balanced Scorecard - Alinhar Mudança, Estratégia e Performance nos Serviços Públicos**. 1. ed. Lisboa: Silabo, 2007.

PEREIRA, M. G.; FREITAS, M. A. V., SILVA; N. F. The Challenge of Energy Poverty: Brazilian Case Study. **Energy Policy**, v. 39, p. 167-175, jan. 2011.

RASHID, M. H. **Eletrônica de Potência – Circuitos, Dispositivos e Aplicações**. 1. ed. São Paulo: Makron Books do Brasil, 1999.

- REIS, S. L.; SILVA, M. G. **Engenharia de Tráfego Telefônico Fixo e Móvel**. Projeto final de Pós-Graduação em Engenharia de Telecomunicações. Goiânia: Universidade de Goiás, 2003.
- SANG, D.; MCLEAN, J.; PARKIN, M. **Nuffield Science Calculations**. 1. ed. Londres: Longman, 1996.
- SARTORIO, S. D. **Aplicações de técnicas de análise multivariada em experimentos agropecuários usando o software R**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2008.
- SCHEIDT, P.; BERMUDEZ, R.; MONTENEGRO, A.; KISSEL, J.; KRENZ, P.; RUTHER, R. Simulador Solar. **América do Sol**, Santa Catarina, jan. 2013. Disponível em: <<http://www.americadosol.org/simulador/>>. Acesso em: 06 mar. 2017.
- SHARMA, A.; RAJPUROHIT, B. S.; AGNIHOTRI, S.; (2016) Evaluation of new power quality indices proposed for estimation of economic loss due to poor power quality. In: Region 10 Conference (TENCON), 2016, Singapura. **Anais eletrônicos...** Singapura: IEEE Conference Publications, 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7848734/>>. Acesso em 03 mar. 2017.
- SHORT, T. A. **Distribution Reliability and Power Quality**. 1. ed. Boca Raton: Taylor and Francis, 2006.
- SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R. **Economia Florestal**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2005.
- SONG, Z.; ZHANG, J.; ZHOU, Q. MILP method based network reconfiguration considering customer sensitivity to the service interruptions. In: IEEE Power and Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference, 2016, Minnesota. **Anais eletrônicos...** Minnesota: IEEE Conference Publications, 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7781226/>>. Acesso em: 03 mar. 2017.
- SOUZA, A. L. **Análise multivariada para manejo de florestas naturais: alternativas de produção sustentada de madeiras para serraria**. Curitiba: UFPR, 1989. 255 p.
- SUN L.; YOU, S.; HU, J. Optimal Allocation of Smart Substations in a Distribution System Considering Interruption Costs of Customers. **IEEE Transactions on Smart Grid**, Nova Iorque, vol. PP, n. 99, p. 1-1, dez. 2016.
- TAO, S.; HADJSAID, N.; XIAO, X. Power quality & reliability assessment of distribution system considering voltage interruptions and sags. In: International Conference on Harmonics and Quality of Power, 2012, Hong Kong. **Anais eletrônicos...** Hong Kong: IEEE Conference Publications, 2012. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6381181/>>. Acesso em 03 mar. 2017.
- TAVARES JR., A. F. **Telefonia Celular: uma visão abrangente**. Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2004. 27 p.
- TUDE, Eduardo. Tutoriais Telefonia Celular: UMTS. **Teleco**, São José dos Campos, jan. 2014. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwcdma/>>. Acesso: 14 dez. 2016

VIANNA, C.E. **Sistemas Telefônicos**. Santo André: Faculdade de Engenharia da Fundação Santo André, 2009.

WEILENMANN, A. **Doing mobility**. Suécia: University of Göteborg, 2003.

ZLOMEK, M. J. D. Experimental assessment of voltage sags effects on induction machine operation. In: 2005 IEEE Russia Power Tech, p. 1-4, 2008, São Petesburgo. **Anais eletrônicos...** São Petesburgo: IEEE Conference Publications, 2008. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/4524684/>>. Acesso em: 18 fev. 2017.

## APÊNDICE A – PRODUÇÃO CIENTÍFICA

Os resumos a seguir referem-se à produção científica apresentado neste trabalho. O artigo de título “*Effects of Interruptions in a RBS: Evaluation of Quality Indicators and the Study of Mobile Telephony Revenue Variation in an Operator*” se encontra aprovado no evento PES IEEE *International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)* do ano de 2016 e está disponível no site do IEEE Explorer.

*Abstract— Currently the Mobile Service is very used and the number of users comes increasing massively, with a great necessity for operators to install more Radio Base Stations (RBS) to face the crescent demand. The larger the number of stations, more energy will be consumed by the dealership network. Faced with this scenario, it makes important to study the influence of quality of electrical energy delivered to these stations, checking if the events of interruptions are impacting both the user as the mobile phone operators. Being so that article aims to study the effects of these interruptions and do analysis the loss of revenue in an operator, as well as to present the solutions to mitigate this problem in some RBS in the state of Bahia.*

Já o artigo de título “Eventos de Interrupção: Análise de Investimento em Estações Rádio Base de uma operadora” se encontra aceito para apresentação no evento Conferencia Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica (CBQEE) do ano de 2017.

Resumo — Com o aumento do número de usuários dos sistemas de telefonia móvel nos últimos anos, as operadoras necessitaram ampliar a quantidade de Estações Rádio Base (ERBs) para suprir a demanda de tráfego. Desta forma, o conseqüente aumento no consumo da energia elétrica traz consigo os problemas relacionados à Qualidade da Energia Elétrica (QEE) fornecida pela concessionária. Nesse contexto, o trabalho aqui apresentado visa realizar um estudo sobre os efeitos dos eventos de interrupção no suprimento de energia elétrica das ERBs de uma determinada operadora em uma cidade do Estado da Bahia, baseando-se na análise de investimento para simulação de déficit nas receitas. Por fim, será apresentada uma proposta de solução para mitigar o problema apresentado.



## APÊNDICE B – Limite de Continuidade por Unidade Consumidora.

Faixa de variação dos Limites Anuais de Indicadores de Continuidade dos Conjuntos (DEC ou FEC)	Limite de Continuidade por Unidade Consumidora						
	Unidades Consumidoras com Tensão Contratada ≤ 1 kV situadas em áreas urbanas						
	DIC (horas)			FIC (interrupções)			DMIC (horas)
	Anual	Trim.	Mensal	Anual	Trim.	Mensal	Mensal
1	16	8	4	11,2	5,6	2,8	2,09
2	16,47	8,23	4,11	11,45	5,72	2,86	2,18
3	16,95	8,47	4,23	11,7	5,85	2,92	2,26
4	17,43	8,71	4,35	11,95	5,97	2,98	2,35
5	17,91	8,95	4,47	12,2	6,1	3,05	2,43
6	18,38	9,19	4,59	12,45	6,22	3,11	2,52
7	18,86	9,43	4,71	12,7	6,35	3,17	2,6
8	19,34	9,67	4,83	12,95	6,47	3,23	2,69
9	19,82	9,91	4,95	13,2	6,6	3,3	2,77
10	20,3	10,15	5,07	13,45	6,72	3,36	2,86
11	20,77	10,38	5,19	13,7	6,85	3,42	2,94
12	21,25	10,62	5,31	13,95	6,97	3,48	3,03
13	21,73	10,86	5,43	14,2	7,1	3,55	3,11
14	22,21	11,1	5,55	14,45	7,22	3,61	3,2
15	22,69	11,34	5,67	14,7	7,35	3,67	3,29
16	23,16	11,58	5,79	14,95	7,47	3,73	3,37
17	23,64	11,82	5,91	15,2	7,6	3,8	3,46
18	24,12	12,06	6,03	15,45	7,72	3,86	3,54
19	24,6	12,3	6,15	15,7	7,85	3,92	3,63
20	25,08	12,54	6,27	15,96	7,98	3,99	3,71
>20 e ≤22	25,89	12,94	6,47	16,47	8,23	4,11	3,8
>22 e ≤24	27,48	13,74	6,87	17,42	8,71	4,35	3,97
>24 e ≤26	29,06	14,53	7,26	18,37	9,18	4,59	4,14
>26 e ≤28	30,65	15,32	7,66	19,32	9,66	4,83	4,31
>28 e ≤30	32,23	16,11	8,05	20,28	10,14	5,07	4,48
>30 e ≤32	33,82	16,91	8,45	21,23	10,61	5,3	4,65
>32 e ≤34	35,4	17,7	8,85	22,18	11,09	5,54	4,82
>34 e ≤36	36,99	18,49	9,24	23,13	11,56	5,78	4,99
>36 e ≤38	38,57	19,28	9,64	24,08	12,04	6,02	5,16
>38 e ≤40	40,16	20,08	10,04	25,04	12,52	6,26	5,33
>40 e ≤45	42,93	21,46	10,73	26,7	13,35	6,67	5,63
>45 e ≤50	46,89	23,44	11,72	29,08	14,54	7,27	6,05
>50 e ≤55	50,86	25,43	12,71	31,46	15,73	7,86	6,48
>55 e ≤60	54,82	27,41	13,7	33,84	16,92	8,46	6,9
>60 e ≤65	58,78	29,39	14,69	36,22	18,11	9,05	7,33
>65 e ≤70	62,74	31,37	15,68	38,6	19,3	9,65	7,75
>70 e ≤80	68,68	34,34	17,17	42,17	21,08	10,54	8,39
>80 e ≤90	76,61	38,3	19,15	46,93	23,46	11,73	9,24
>90 e ≤100	84,53	42,26	21,13	51,69	25,84	12,92	10,09
>100 e ≤110	92,46	46,23	23,11	56,45	28,22	14,11	10,94
>110 e ≤120	100,38	50,19	25,09	61,21	30,6	15,3	11,8
>120	104,34	52,17	26,08	63,59	31,79	15,89	12,22

## APÊNDICE C – PLANTA BAIXA DE UMA ESTAÇÃO RÁDIO BASE.

