

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO  
JEFFERSON BEETHOVEN MARTINS**

**SISTEMA MÓVEL ANALISADOR DE QUALIDADE DA ENERGIA  
ELÉTRICA**

UBERABA - MG  
2013

**JEFFERSON BEETHOVEN MARTINS**

**SISTEMA MÓVEL ANALISADOR DE QUALIDADE DA ENERGIA  
ELÉTRICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Triângulo Mineiro como parte das exigências para a obtenção do título de mestre em Ciências – Programa de Mestrado Profissional em Inovações Tecnológicas.

Orientador: Prof. Dr. David Calhau Jorge

UBERABA - MG  
2013

**JEFFERSON BEETHOVEN MARTINS**

**SISTEMA MÓVEL ANALISADOR DE QUALIDADE DA ENERGIA  
ELÉTRICA**

Monografia apresentada à Universidade Federal do Triângulo Mineiro como parte das exigências para a obtenção do título de mestre em Ciências - Programa de Mestrado Profissional em Inovações Tecnológicas.

Área de Concentração: Engenharia Elétrica.

Uberaba, 04 de abril de 2013

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. David Calhau Jorge – Orientador  
Universidade Federal do Triângulo Mineiro

---

Prof. Dr. Hugo Leonardo Pereira Rufino – Banca  
Instituto Federal do Triângulo Mineiro

---

Prof. Dr. Marlei Barbosa Pasotto – Banca  
Universidade Federal do Triângulo Mineiro

## AGRADECIMENTOS

A vida propõe inúmeros caminhos e não são raras as vezes em que erramos. Através da permanente dedicação e abnegação dos genitores, torna-se possível trilhar estradas que levem à real felicidade. Agradeço aos meus pais, Dirceu Manoel Martins e Ana Maria Martins, pelos vastos ensinamentos, dentre os quais o mais importante é servir a Deus de todo o meu coração. A cada tropeço ou alegria lá eles estavam para acalentar, sorrir e dar forças. Este amor sem medidas é o propulsor de desafios e conquistas experimentados por toda a vida. Agradeço às minhas queridas irmãs Ana Seleucia Martins e Kárita Lilian Martins pelo apoio incondicional ao irmão caçula. Agradeço à minha amada e dedicada esposa Camila Oliveira Louzada Martins, companheira incansável nas lutas diárias que atravessamos e atravessaremos juntos, até o final de nossas vidas.

Aos meus amigos queridos, entrego a minha gratidão. Deus me deu a graça de viver cercado de inúmeros camaradas que, em diversas situações, provaram amor genuíno. Ao meu grande amigo José Ricardo Manzan, referência em redes neurais no IFTM *Campus* Uberaba, agradeço profundamente. Agradeço imensamente aos meus amigos Luiz Gustavo Tonelli de Falco, Tamara Aparecida Lourenço, Lívia Letícia Zanier Gomes e Ana Maria Martins pelas correções gramaticais. Ao meu orientador e amigo dedico a minha extrema admiração enquanto professor e pessoa. Sempre presente, amigo e confiante no progresso do trabalho. Sua postura e seus conselhos ultrapassaram o caráter científico e se tornaram experiências para minha vida.

"Transportai um punhado de terra todos os dias e fareis uma montanha"

Confúcio

## RESUMO

As recentes mudanças na natureza das cargas ligadas ao sistema elétrico têm gerado uma série de novos problemas. Diversos ruídos, até então inofensivos, se tornaram um entrave ao funcionamento de modernos equipamentos. Eletrodomésticos e outros equipamentos surgem a cada dia, o que aumenta não apenas a demanda por energia, mas também, por qualidade.

Os cuidados com a rede elétrica que alimentava um chuveiro na década de 70, por exemplo, são diferentes daqueles necessários ao se alimentar um microcomputador. Por esse motivo, as concessionárias de energia envidam esforços para manter a energia plenamente disponibilizada ao consumidor, considerando novos aspectos que possuem o objetivo de fornecer energia ininterruptamente e dentro de indicadores de qualidade. Para que a energia atinja o consumidor da maneira adequada é necessário tomar vários cuidados desde a sua geração.

Este trabalho apresenta uma ferramenta móvel desenvolvida para simular um relé de distância, dispositivo muito utilizado para acusar faltas em linhas de alta tensão (até a data da apresentação do protótipo nada similar foi encontrado em artigos e banco de dados científicos). Os dados colhidos da rede elétrica são simulados por um microcontrolador, sendo posteriormente enviados a um celular com sistema operacional *Android versão 2.3*. Através de uma transmissão GSM (Sistema Global para Comunicações Móveis) os dados podem ser recebidos em qualquer lugar do planeta, sendo encaminhados a uma rede neural que mostrará se a falha está em determinado trecho de proteção.

Além de simular o relé de distância, através da rede neural, os dados adquiridos são inseridos em um banco de dados, o que produz um repositório que traz informações sobre as falhas em uma rede de alta tensão. Através da geração de gráficos, torna-se possível analisar o histórico de eventos em determinada rede elétrica e até mesmo alterar os parâmetros de funcionamento do microcontrolador.

O principal intuito deste trabalho é mostrar que o atual estágio de *software* e *hardware* dos dispositivos móveis já permite executar aplicações a priori utilizadas em computadores pessoais. Cálculos outrora feitos em *desktops* podem migrar para plataformas móveis, o que traz comodidade e, principalmente, mobilidade. Inúmeros aplicativos, como os jogos, exploram o poder de processamento destas novas gerações, porém ainda são poucos os programas focados em engenharia elétrica que estão presentes em plataformas móveis.

**Palavras-chave:** Qualidade de energia, Orientação a objetos, *Android*, Java, Microcontroladores.

## ABSTRACT

The change in the nature of the loads connected to the electric system has caused a series of new problems. Several noises, until then harmless, have become an obstacle to the functioning of modern equipment. Home appliances arise every day increasing not only the demand for energy but also for power quality.

The power quality needed for an electric shower in the 70's is different from the quality that a personal computer needs. For this reason, the energy concessionaires are engaged to fully maintain the availability of energy to the consumer. Considering the new aspects, the objective is to provide uninterruptedly energy and according with the quality indicators. For the energy reaches the consumer properly it is necessary to take several precautions, since its generation.

This study presents a tool developed to simulate a distance relay, a common device used to indicate faults in high tension lines. The data collected from the network are simulated by a microcontroller and subsequently sent to a mobile phone with Android operating system. Through a GSM (Global System for Mobile Communications) transmission, data can be received anywhere in the planet and sent to a neural network that will show if the fault is in the protected section.

In addition to simulate the distance relay through the neural network, the acquired data are inserted into a database which produces a repository containing information about the faults in a high voltage grid. Through the generation of graphics is it possible to analyze the historical events in a specific network and even change the operating parameters of the microcontroller.

The main objective of this work is to present that the current state of software and hardware of mobile devices allows the execution of applications normally used in personal computers. Calculations made once in desktops can be now executed in mobile platforms, which bring commodity and especially, mobility. Several applications such as games, explore the processing power of these new generations, but there are few software in mobile platforms dedicated to electrical engineering.

Key-words: Power quality, Object-oriented programming, Android, Java, Microcontrollers



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	14
2 MOTIVAÇÃO E RELEVÂNCIA .....	16
2.1 OBJETIVOS GERAIS .....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
3 ORGANIZAÇÃO .....	19
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	20
4.1 A QUALIDADE DE ENERGIA NO BRASIL .....	20
4.2 INTRODUÇÃO ÀS REDES NEURAS ARTIFICIAIS .....	37
4.3 O SISTEMA OPERACIONAL ANDROID.....	48
4.4 MICROCONTROLADORES PIC.....	56
4.5 RELÉS DE DISTÂNCIA E O USO DE REDES NEURAS ARTIFICIAIS EM SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA .....	57
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	62
6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS .....	87
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
8 ANEXOS.....	92

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais problemas relacionados à qualidade de energia .....	23
Figura 2 - Sistema Interligado nacional .....	27
Figura 3 - Decomposição média de uma conta no Brasil .....	28
Figura 4 - Rede neural artificial.....	37
Figura 5 - Neurônio biológico .....	39
Figura 6 - Gráfico da função degrau .....	40
Figura 7 - Gráfico de uma função rampa simétrica .....	41
Figura 8 - Gráfico de uma função logística.....	41
Figura 9 - Gráfico de uma função tangente hiperbólica.....	42
Figura 10 - Gráfico de uma função tangente hiperbólica.....	42
Figura 11 - Gráfico de uma função linear .....	43
Figura 12 - Esquema de uma rede neural Perceptron .....	44
Figura 13 - Esquema de uma rede neural Perceptron multicamadas .....	44
Figura 14 - Símbolo do sistema operacional Android .....	48
Figura 15 - Galaxy Tab Samsung .....	50
Figura 16: Galaxy Y S5260B utilizado no presente trabalho.....	52
Figura 17 - Gerenciador de pacotes Android instalados (versões).....	54
Figura 18 – Ambiente Eclipse para desenvolvimento de programas Android.....	55
Figura 19 - Microcontrolador 16F877A e seus primeiros testes .....	56
Figura 20 - Esquema simplificado do circuito conversor A/D de Testes .....	57
Figura 21 - Esquema da rede elétrica utilizada no projeto.....	63
Figura 22 - Fluxograma do projeto .....	64
Figura 23 - Esboço simplificado da placa do circuito com a fonte .....	65
Figura 24 - Configuração do arquivo Projeto.H na simulação de <i>hardware</i> .....	66
Figura 25 - Funcionamento do modem G24 Motorola .....	67
Figura 26 - Módulo para envio de dados circuito-celular e sua antena .....	68
Figura 27 - Configuração do Timer0 do microcontrolador e testes de recepção de dado .....	68
Figura 28 - Envio e confirmação através do microcontrolador.....	69
Figura 29 - Primeira placa de circuito impresso do projeto .....	70
Figura 30 - Teste efetuado direto na porta serial física do computador.....	71
Figura 31 - Circuito completo na mesa de trabalho.....	72
Figura 32 - Permissões inseridas no Manifest para receber mensagens .....	73

Figura 33 - Teste para tratamento de SMS recebidos.....	74
Figura 34 - Teste dos pesos da RNA após validação do número de origem.....	75
Figura 35 - Primeiro da rede neural no Emulador Android .....	76
Figura 36 - Montagem e testes do banco de dados para o celular .....	77
Figura 37 - Busca do horário de chegada do SMS no Android.....	78
Figura 38 - Exemplo de gráfico gerado a partir das falhas .....	79
Figura 39 - Tela de configurações do treinamento da rede.....	80
Figura 40 - Índice de acerto da rede neural (teste no emulador – Eclipse).....	81
Figura 41 - Configurações de treinamento da rede no dispositivo .....	82
Figura 42 - Teste do gráfico no dispositivo.....	83
Figura 43 - Tela de teste da rede através dos valores oriundos da mensagem.....	84
Figura 44 - Tela de acesso ao sistema.....	85
Figura 45 - Teste - média de tempo realizado no emulador Eclipse e no dispositivo .....	86
Figura 46 - Projeto da primeira tela no DroidDraw.....	92
Figura 47 - Primeiro teste do circuito .....	92
Figura 48 - Projeto do circuito.....	93
Figura 49 - Recepção dos dados 6 valores enviados pelo modem .....	93
Figura 50 - Confeção da primeira placa de circuito impresso .....	94
Figura 51 - Comunicação RS232 e o Max 232 .....	94
Figura 52 - Comunicação RS232 e o microcontrolador .....	94
Figura 53 - Mesa e de montagem dos circuitos I.....	94
Figura 54- Mesa e de montagem dos circuitos II .....	94
Figura 55 - Teste completo com o modem.....	94
Figura 56 - <i>Layout</i> da placa principal .....	94
Figura 57 - Tela para envio de dados via socket .....	94
Figura 58 - Uso do MapView para localizar a falta.....	94
Figura 59 - Teste do MapView no emulador .....	94
Figura 60 - Teste do MapView no celular .....	94
Figura 61 - Placa definitiva do projeto .....	94
Figura 62 - Cronograma do projeto .....	94
Figura 63 - Figura 63: Símbolo do DroidDraw .....	94
Figura 64 - Esquema de funcionamento da rede neural.....	94
Figura 65 - Função de ativação e erro quadrático médio.....	94
Figura 66 - Verificação de acertos da RNA .....	94

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Metas de DEC, FEC, DIC e FIC para a faixa 69KV a 230KV.....	32
Tabela 2: Metas de DEC, FEC, DIC e FIC para a faixa 1KV a 69KV – áreas urbanas.....	32
Tabela 3: Metas de DEC, FEC, DIC e FIC para a faixa 69KV a 230KV – áreas isoladas.....	33
Tabela 4: Metas de DEC, FEC, DIC e FIC para locais com tensão menor que 1 KV. ....	33
Tabela 5: Metas de DEC, FEC, DIC e FIC para tensão menor que 1 KV - área não urbana. .	33
Tabela 6: Meta de atendimento para pontos com tensão igual ou superior a 230KV. ....	34
Tabela 7: Meta de atend. para pontos com tensão superior a 69KV e menor que 230KV. ....	34
Tabela 8: Meta de atendimento para pontos com tensão superior a 1KV e menor que 69KV.	34
Tabela 9: Meta de atendimento para pontos com tensão inferior a 1KV.....	34
Tabela 10: Principais características da rede neural artificial. ....	81

## LISTA DE ABREVIACÕES

A/D - Conversão analógico-digital

Aneel - Agência Nacional de Energia Elétrica

Capex - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

API - Application Programming Interface (ou Interface de Programação de Aplicativos)

Prodlist - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

Gmail - Google Mail

CSPE - Comissão de Serviços Públicos de Energia

DEC - Duração Equivalente de Continuidade

FEC - Frequência Equivalente de Continuidade

PIB - Produto Interno Bruto

SIN - Sistema Interligado Nacional

PIC - Programmable Interface Controller (Controlador de Interface Programável)

DRC - Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica

ICC - Índice de Unidades Consumidoras com Tensão Crítica

TML - Tempo Médio de Ligação Nova em Tensão Secundária de Distribuição

TMR - Tempo Médio de Religação em Tensão Secundária de Distribuição

TMS - Tempo Médio de Execução de Serviços na Rede de Distribuição

RNA - Redes Neurais Artificiais

PMC - Perceptron Multi Camadas

PS - Perceptron Simples

GPS - Global Position System

SO - Sistema Operacional

Apk - *Android* Package File

Dex - Dalvik Executable

PC - Personal Computer

OHA - Open Handset Alliance

ADT - *Android* Development Tools

SDK - Kit de Desenvolvimento de Software

AVD - *Android* Virtual Device

GSM - Global System for Mobile Communications

IEEE - Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos

ARSEP - Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo

DIC - Intervalo de tempo que certo consumidor ficou sem o fornecimento de energia  
FIC - Número de vezes que certo consumidor sofreu interrupções  
DMIC - Maior tempo que certa unidade permaneceu sem o suprimento de energia elétrica.  
ICC - Índice de Unidades Consumidoras com Tensão Crítica  
TML - Tempo Médio de Ligação Nova em Tensão Secundária de Distribuição  
TMR - Tempo Médio de Religação em Tensão Secundária de Distribuição  
TMS - Tempo Médio de Execução de Serviços na Rede de Distribuição  
PROCON – Fundação de proteção e defesa do consumidor  
PMC - Perceptron Multi Camadas  
PS - Perceptron Simples  
USB - Universal Serial Bus  
FPGA - Field programmable gate array  
LED - Diodo emissor de luz  
ANDROID – Sistema operacional desenvolvido pela Google para ser executado em plataformas móveis  
CAPES - Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Santos (2007), a preocupação com a qualidade da energia elétrica tem crescido muito nas últimas décadas. Tal fato ocorre, pois a cada dia surgem equipamentos que possuem seu bom funcionamento diretamente ligado à qualidade da rede elétrica na qual está inserido. A quebra precoce de equipamentos, as perdas de matéria prima e os riscos de acidentes são apenas alguns aspectos que levam empresas e governos a investir no monitoramento e na melhoria da energia elétrica fornecida. Para que seja possível analisar a qualidade da energia, é necessário ter indicadores que mostrem quais são os principais problemas. Fornecer energia elétrica sem interrupções é extremamente importante, mas um conjunto de outros indicadores deve ser perseguido para que haja a qualidade requerida pelo consumidor atual. Para auxiliar na importante tarefa do isolamento de falhas, foram criados os relés de distância, hábeis equipamentos que, mesmo com algumas limitações (devido às interferências da rede), auxiliam a identificação de faltas em uma linha de alta tensão.

Segundo Kaga (2009), o Brasil tem estruturado diversas normas que visam a regular as atividades energéticas no Brasil. Através da Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica) o Estado busca a qualidade de energia necessária ao crescimento econômico e atende à demanda das indústrias que adquirem novos equipamentos e que são afetadas pelos problemas na rede. Tanto o governo quanto os consumidores precisam efetuar ações que garantam o acompanhamento da “saúde” da rede elétrica, consolidando políticas que tragam ganhos para toda a sociedade.

As concessionárias enfrentam inúmeros problemas para manter o pleno fornecimento de energia. Um grande ramo da engenharia elétrica é o que se encarrega da tomada de decisões em situações de falha. Uma malha pode se constituir em um complexo sistema com inúmeros fenômenos físicos envolvidos, o que dificulta o uso de equipamentos e políticas que, mesmo em caso de falhas, permitam a continuidade do fornecimento. Os relés de distância fazem parte deste grande grupo de dispositivos que atuam em caso de falha. Eles utilizam comparações de tensão e distância (impedância na linha) para determinar se uma falha está em determinado lugar geométrico. A falha ocorrida na rede normalmente é comunicada a uma central de operações, pois os dados são digitalizados e encaminhados a um computador de comando da concessionária. A proposta do presente trabalho é simular a aquisição de dados feita na rede através de um microcontrolador 16F877A Microchip, além de enviar os dados para um celular com sistema operacional *Android*. Uma das vantagens é a

ausência de fios, ou seja, através de uma transmissão GSM é possível enviar os dados para qualquer lugar do mundo. Os dados são recebidos em um celular *Android* e uma rede, previamente treinada, verifica se o relé deve atuar ou não. A rede neural é treinada no próprio celular, o que permite ao gestor do sistema alterar os parâmetros de treinamento e buscar uma nova configuração, melhorando o desempenho do tratamento de falhas sem, necessariamente, estar no local da análise. Os dados referentes às falhas se tornam um histórico para futuras análises, verificando a evolução de determinado trecho de uma linha de alta tensão. O presente trabalho não possui enfoque no funcionamento das redes neurais ou dos microcontroladores, e sim na mobilidade proporcionada pelos sistemas modernos. As atividades de cálculo realizadas por diversos setores de engenharia elétrica podem migrar dos computadores pessoais para os celulares, permitindo o surgimento de um importante e desejável aspecto: a mobilidade.



## 2 MOTIVAÇÃO E RELEVÂNCIA

A aquisição de técnicas para a manipulação da energia elétrica é um recente episódio da história humana. Segundo Aldabó (2001), a energia elétrica é considerada um bem básico para a integração dos homens ao desenvolvimento. Tal afirmação pode ser facilmente corroborada quando se analisa quantas atividades no cotidiano estão ligadas à presença de energia elétrica. Um banho quente, uma roupa bem passada, o funcionamento de um celular e o uso de um computador dependem diretamente da energia fornecida.

Diante do supracitado, os governos se empenham para suprir a crescente demanda, fato comum em uma economia em ascensão. Além de passar pelo desafio de escolher qual matriz energética é mais adequada (hidrelétrica, atômica, termelétrica, etc.), um país, com dimensões continentais como o Brasil, deve transmitir a eletricidade até o centro consumidor, o que encarece o processo e insere inúmeras correções necessárias.

Apenas gerar a energia não é suficiente; é necessário ter padrões de qualidade que permitam minimizar os problemas acarretados por uma energia elétrica ruim. As falhas de energia elétrica possuem impacto direto no crescimento do produto interno bruto de um país, tornando-se estratégica para empresas de todos os setores.

Além das limitações dos dispositivos utilizados em sistemas elétricos de potência, há a intervenção atmosférica, o que dificulta ainda mais a operação. Os raios são constantes em território brasileiro, aumentando ainda mais os cuidados necessários à prevenção e tratamento de falhas. Os relés de distância fazem parte do grande grupo de equipamentos utilizados para alcançar o, já citado, fornecimento sem interrupções.

O trabalho proposto nasceu diante da necessidade de colher dados de uma rede de alta tensão e enviá-los a qualquer lugar para um dispositivo móvel, em que os dados referentes a uma falha pudessem ser analisados. O crescimento do poder computacional de dispositivos móveis é um processo espantoso: a cada mês surgem novos modelos que são menores, mais seguros e mais poderosos. Tal fato abre um grande leque, pois torna possível e viável o desenvolvimento de pesados aplicativos de engenharia elétrica para celulares.

O custo dos dispositivos tem caído vertiginosamente e já existem plataformas gratuitas e abertas como o *Android*. Dessa forma, é possível desenvolver complexos e dispendiosos *softwares* que permitem a mobilidade aos técnicos em eletricidade, engenheiros e gestores de uma rede elétrica. Todo o tempo eles poderão desenvolver atividades e receber importantes informações que melhorarão a qualidade da energia disponibilizada ao consumidor a um custo

muito baixo. Além da análise consequente da recepção de dados, é possível parametrizar dispositivos a distância, conforme é mostrado neste trabalho, consolidando o conceito de mobilidade.

## 2.1 OBJETIVOS GERAIS

O principal objetivo do trabalho é mostrar como um dispositivo móvel pode contribuir no tratamento de dados de uma rede elétrica. O seu atual poder de processamento traz a possibilidade de realizar cálculos feitos, outrora, em estações de trabalho. O microcontrolador simula a aquisição de dados em uma rede e, em seguida, envia os valores para um celular com sistema operacional *Android*, em que os dados são classificados com o emprego de uma rede neural. Através do dispositivo móvel, é possível acompanhar a rede, onde quer que o gestor esteja, pois o sistema GSM permite o envio e recebimento de informações nas principais cidades e grandes centros.

O protótipo apresentado é apenas o início de um produto que pode alcançar múltiplas funcionalidades. Atividades ligadas à gestão de uma rede de energia elétrica são efetuadas em computadores pessoais, o que dificulta o traslado. Os celulares já possuem plena capacidade para absorver grande parte de suas funções, facilitando a parametrização e execução de pesados cálculos realizados, tradicionalmente, em *desktops* ou *notebooks*.

Além disso, o trabalho almeja se alinhar à proposta da Capes para Mestrados profissionais em que são valorizadas aplicabilidade técnica e inovação (Assessoria de Imprensa Capes, 2009). Em um momento de ascensão da economia brasileira, é necessário que novos *softwares* e *hardwares* sejam apresentados à sociedade, trazendo vantagens competitivas e, até mesmo, patentes às indústrias brasileiras.

Apresentar uma atual revisão bibliográfica sobre o uso de redes neurais artificiais para sistemas elétricos de potência e o uso das ferramentas de programação para dispositivos móveis *Android* (no contexto da qualidade de energia elétrica) também são os alvos perseguidos pelo texto proposto.

## 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Utilizar um microcontrolador 16F877A Microchip para simular a aquisição de dados de um relé de distância e enviar os dados ao modem G24 Motorola.

- Permitir que o modem envie os dados coletados para o celular através do padrão GSM.
- Receber os dados em um celular *Android* e testá-los em uma rede neural previamente treinada no próprio dispositivo móvel.
- Inserir os dados em um banco de dados, formando um repositório disponibilizado através de gráficos.
- Permitir a parametrização de dados, ou seja, as informações contidas no microcontrolador devem ser alteradas através do celular. O dispositivo móvel deve possuir a capacidade de receber dados do microcontrolador e enviar comandos para o mesmo (comunicação em duas vias).
- Apresentar um protótipo útil e de baixo custo para o setor de energia elétrica.
- Compreender as principais mudanças ocorridas no aspecto econômico, político e legal que influenciaram os conceitos de qualidade de energia elétrica no Brasil.

### 3 ORGANIZAÇÃO

O quarto capítulo desta dissertação forma o contexto sobre o qual o projeto está inserido: através de seus subtópicos, descreve-se a estrutura necessária ao projeto. A primeira parte trata da qualidade de energia no Brasil e seus desdobramentos. A segunda parte mostra o surgimento e aplicação das redes neurais em diversos setores ligados à energia elétrica. A terceira parte apresenta a ferramenta *Android* como algo além de um sistema operacional moderno e robusto, mas uma forma de desenvolver aplicativos que utilizam as facilidades trazidas pelas *API's* da *Google*. A quarta parte do capítulo quatro mostra, brevemente, o funcionamento dos microcontroladores e suas contribuições na simulação da coleta dos dados da rede. A quinta e última parte do capítulo quatro mostra a evolução dos relés e as aplicações dos relés digitais. O quinto capítulo mostra como a ferramenta foi desenvolvida, elencando todos os passos necessários para atingir o objetivo. O sexto capítulo une os tópicos anteriores, apresentados em torno do projeto, e reafirma os objetivos, demonstrando o cumprimento do que fora proposto e as oportunidades para trabalhos futuros.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 A QUALIDADE DE ENERGIA NO BRASIL

Várias alterações foram feitas no setor elétrico brasileiro nas últimas três décadas. Diversas empresas de geração, transmissão e distribuição deixaram de ser estatais e agências de regulação foram criadas. Através do emprego de políticas neoliberais, o governo brasileiro passou por um forte processo de privatização, o que alterou de maneira decisiva o setor energético. Segundo Baltazar (2007), o Estado deixou de ser o elemento gerador de energia e passou a ser o instrumento de regulação, através da fiscalização e criação de padrões.

Além disso, os consumidores necessitam, cada vez mais, de uma energia de alta qualidade e não apenas de um fornecimento contínuo. Tal fato ocorre devido à constante mudança na natureza das cargas de residências, comércios e indústrias. Nos anos 90, a Aneel foi criada para instituir normas e fiscalizar o setor, buscando padrões de qualidade para a energia elétrica. O objetivo primordial era fazer com que as concessionárias disponibilizassem bons serviços aos consumidores com preços justos, ou seja, a agência deveria coibir exageros e regular todo o setor.

Para que alcance o almejado, o Governo Federal fortalece as políticas de fiscalização e cria documentos que orientam os consumidores residenciais e industriais (Prodist – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional). Através da repartição das funções de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, torna-se possível a inserção de várias empresas privadas (principalmente de distribuição) que terão a concessão para operar, sendo fiscalizadas por órgãos governamentais e pelos próprios consumidores. Tal modelo tem sido adotado em inúmeros países, não apenas no setor de energia, mas em vários outros onde, outrora, o Estado possuía forte presença. Esse fenômeno é uma tendência neoliberal observada em países desenvolvidos na Europa e na América do Norte, sendo reproduzido no Brasil através da influência de economistas de formação keynesiana.

Segundo as premissas neoliberais, assim como as empresas devem focar apenas em sua atividade, terceirizando o que não condiz ao seu ramo específico, cabe ao Estado focar em sua principal atividade: corrigir os desvios provocados pelo sistema capitalista, coletar impostos de forma a diminuir as diferenças sociais, disponibilizar serviços essenciais à população (segurança, saúde, educação) e regular a iniciativa privada que possui concessão

para atuar em solo brasileiro. Tais práticas são fortemente pregadas pelos principais sociólogos e economistas contemporâneos, o que influencia os países que estão em desenvolvimento (como o Brasil). No último quesito, enquadram-se as empresas energéticas que operam neste país, sendo necessário acompanhar as variáveis que interferem diretamente na qualidade da energia fornecida. Neste contexto, emergem grandes alterações de todo o setor de energia elétrica, atingindo as empresas de concessão e, principalmente, os consumidores: a qualidade se torna um desafio e um alvo.

Para que a citada qualidade seja atingida, é necessário monitorar os elementos geradores de falhas. Os problemas relacionados à energia elétrica giram em torno de três principais grandezas elétricas – corrente, tensão e frequência – e os equipamentos utilizados em geração, transmissão e distribuição de energia usarão o grande desenvolvimento computacional, visto nas últimas décadas, para melhorar a qualidade da aquisição e processamento de dados da rede.

Além dos elementos citados, há de se regular a qualidade do serviço prestado aos consumidores, ou seja, o tempo para ligar ou religar o sistema elétrico de uma residência, por exemplo, faz parte de um conjunto de medidas que não estão associadas diretamente ao “produto” energia elétrica, porém fazem parte do contexto da qualidade visualizada pelo cliente.

Segundo Edgard Franco (2006), os principais problemas ligados à qualidade da energia são:

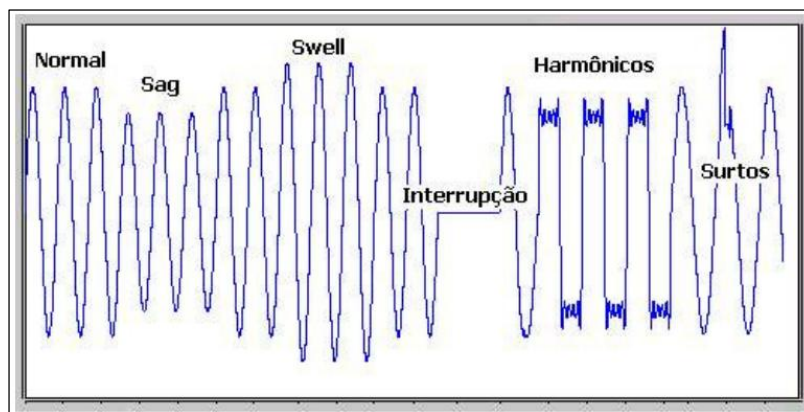
- variação de frequência: os sistemas são projetados para operar em uma frequência fixa. No Brasil, utiliza-se 60HZ ao contrário de outros países, como o Paraguai, que utiliza 50HZ. Ao variar a carga do sistema é possível surgir um desbalanceamento nos geradores do sistema, provocando alterações na frequência. Tal alteração é sentida por equipamentos sensíveis que dependem da frequência da rede para realizar suas ações. Em condições normais de operação, os valores devem estar entre 59,9 e 60,1 HZ nos sistemas de geração (regime permanente);
- variação de tensão de longa duração: a tensão não opera em um valor fixo, e sim em uma faixa considerada aceitável. Caso tais variações excedam um limite e permaneçam por um longo tempo (mais de um minuto) neste valor, os efeitos podem ser desastrosos. A priori, poucos danos são perceptíveis, mas, em longo prazo, vários equipamentos podem sofrer redução em sua vida útil, superaquecimento em motores de indução, parada de dispositivos eletrônicos, entre outros problemas. A entrada ou saída de um banco de capacitores, por exemplo, pode provocar o efeito citado;

- variação de tensão de curta duração: são alterações dificilmente percebidas sem o uso de equipamentos específicos de medição. Durante um curto intervalo de tempo, a tensão pode se elevar ou se rebaixar. Os danos variam desde a diminuição da vida útil de determinados equipamentos até a quebra, e conseqüente, parada industrial. Seus parâmetros de nomenclatura podem variar de uma norma para outra, sendo levadas em consideração não apenas a sua magnitude, mas também a frequência com que o evento ocorre;
- distorções harmônicas: alteram a forma de onda ideal da tensão (senoidal). Surgem quando há cargas não lineares no sistema e possuem frequências múltiplas da fundamental. Os seus efeitos podem ser sentidos através da queima de equipamentos de proteção, além do aquecimento excessivo de motores e mau funcionamento de sistemas de medição. Através da série de Fourier é possível medir o grau de distorção presente no sinal, pois o teorema afirma que a deformação pode ser decomposta em uma série de expressões que são múltiplas da frequência fundamental;
- desequilíbrios de tensão e corrente: ocorrem em sistemas trifásicos quando surgem diferenças entre as fases. O ideal é que haja um ângulo de 120 graus entre cada componente do sistema. Porém, devido aos distúrbios de carga surge um desequilíbrio; provocando vários efeitos como a redução do torque mecânico, diminuição da vida útil dos equipamentos, etc;
- flutuações de tensão: são causadas por equipamentos de carga variável como grandes motores, bombas de água, geladeiras, etc. O fenômeno mais comum é o *flicker* (cintilação), o que faz com que lâmpadas alterem o seu brilho durante alguns instantes. Isso ocorre, pois a tensão pode estar abaixo do valor que um equipamento precisa.

O motor é um exemplo de um equipamento que não para, na maioria dos casos citados acima, ao ser submetido a uma rede com problemas elétricos. Ao ser projetado por um fabricante, um motor é especificado para operar em uma tensão fixa, o que nem sempre ocorre. Ao trabalhar abaixo da tensão necessária, o dispositivo aumentará a corrente drenada e sofrerá grande subida de temperatura (tentativa de manter constante a potência utilizada para trabalho). Quando se olha o equipamento em operação, não é possível imaginar quais problemas internos estão ocorrendo em decorrência da rede. Aparentemente, tudo está normal, mas uma máquina como essa pode funcionar metade do tempo estimado e, dificilmente, se encontra o motivo que levou à quebra. A figura 1 mostra os principais

problemas relacionados à qualidade de energia. Cada um deles possui determinada causa e provocam consequências desastrosas para as organizações.

**Figura 1 - Principais problemas relacionados à qualidade de energia**



**Fonte: Franco, Edgard (2006).**

Os problemas causados pela falta de energia elétrica provocam grandes transtornos. Dentre eles, podemos citar: os hospitais, os quais devem manter aparelhos em pleno funcionamento 24 horas por dia, e os meios de comunicação que dependem de energia para funcionar, pois sem ela não há acesso aos bancos de dados remotos ou funcionamento de celulares (estações retransmissoras de sinal). O exemplo acima apenas ilustra uma pequena parte diante da imensurável quantidade de setores que possuem seu funcionamento ligado à presença de energia elétrica. O não fornecimento ou o fornecimento não adequado de energia pode provocar grandes prejuízos financeiros e perda de vidas.

Os custos relacionados à falta de energia elétrica são grandes fazendo com que empresas percam matéria-prima ou gastem grandes somas com horas extras, produzindo com custo mais alto, o que diminui a sua competitividade em tempos de forte globalização. De acordo com a revista *Power Quality in European Electricity Supply Networks* em sua edição de fevereiro de 2002, os gastos relacionados à má qualidade da energia elétrica na Europa podem chegar a 1,5% do seu PIB.

Para atacar tal problema, inúmeros equipamentos são colocados no mercado todos os anos, mas o leque de males é grande e em cada situação há um tratamento diferenciado. Além de comprar o equipamento, é necessário colocá-lo no local correto para que a medição seja precisa e apresente valores seguros. Dependendo do modo como o circuito medidor foi projetado, a presença de harmônicas pode alterar o real resultado, formando um histórico que não traduz a realidade de uma indústria.



Um datacenter, por exemplo, não pode parar, pois vários dados de consumidores comuns ou empresas podem ser afetados. Se uma empresa como *Gmail (Google)* ou *Hotmail (Microsoft)* não permitir o acesso aos dados dos usuários, vários danos financeiros podem ocorrer. Transações podem ser perdidas, operações milionárias podem não ocorrer, pois os dados não foram disponibilizados no momento correto. Ao analisar o fato, observa-se que a vantagem apresentada no trabalho proposto é que o engenheiro electricista responsável não precisa estar presente no local de trabalho, pois as informações podem ser acessadas e os parâmetros de operação da rede elétrica podem ser alterados através de seu celular. A mobilidade tem alcançado vários setores comerciais e o próximo desafio é permitir que os sistemas elétricos de potência sejam por ela contemplados.

Dentre os problemas citados, um deles merece destaque: os danos provocados pela presença de harmônicas. As empresas tentam se defender, mas alguns males são silenciosos e de difícil detecção. As harmônicas provocam a alteração da onda da tensão através de suas expressões senoidais múltiplas da senoide fundamental.

Segundo Project IEEE – 519 (1991) –, as harmônicas surgem quando há cargas não lineares ligadas à rede, fazendo com que a senoide “perfeita” da tensão sofra várias deformações. As cargas não lineares são formadas principalmente por semicondutores que não possuem um funcionamento “constante”, ou seja, a cada instante agem de maneira diferente (de acordo com os estímulos).

Os inversores de frequência, impressoras, forno micro-ondas e inúmeros dispositivos inserem ruídos na rede, provocando sérios problemas de funcionamento a equipamentos sensíveis. Com a introdução de ruídos na senoide da tensão, a corrente eficaz sobe, aumentando o consumo e a sobrecarga da rede elétrica. Os equipamentos elétricos envelhecem (desgastam) rapidamente, as redes telefônicas não funcionam corretamente e uma fábrica pode ser parada em decorrência dos fatores mostrados. Os atuais equipamentos que monitoram a qualidade da rede elétrica são computadorizados, ou seja, relés e chaves utilizadas em sistemas de transmissão estão susceptíveis às interferências causadas pelas harmônicas. Três décadas atrás, as harmônicas não eram um problema a ser vastamente estudado pelas concessionárias, porém o uso de cargas não lineares tem provocado a inserção de várias ordens na rede. As harmônicas não apenas diminuem a vida útil de equipamentos (assim como os outros problemas da qualidade de energia citados anteriormente), mas também, queimam capacitores, impedem que motores atinjam a sua máxima potência, provocam o mau funcionamento de dispositivos de proteção (disjuntores e fusíveis),

provocam medições errôneas, etc. As harmônicas problemáticas são as de ordem ímpar, sendo necessário monitorá-las e combatê-las.

Segundo Aldabó (2001), as alterações na frequência da rede são menos comuns, pois estão ligadas diretamente ao processo de geração e transmissão de energia (normalmente bem controlados). A frequência da rede está ligada à velocidade de rotação dos geradores, porém o usuário final pode contribuir para que surjam distúrbios ao cogear energia. Para aperfeiçoar o consumo energético, várias empresas (principalmente usinas de cana) utilizam o bagaço de sua matéria prima para gerar energia. Os equipamentos utilizados devem ser calibrados e controlados durante todo o tempo de operação, o que evita a geração de energia em uma frequência mais baixa ou mais alta que a estabelecida no Brasil.

Várias são as preocupações e desafios ligados à qualidade de energia para auxiliar o trabalho da Aneel: o Estado de São Paulo possui uma comissão própria, a CSPE (Comissão de Serviços Públicos de Energia), a qual fiscaliza a qualidade dos serviços de energia e gás no estado. Além de fiscalizar, a CSPE (atual Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo) realiza pesquisas para que a população informe o seu grau de satisfação com a prestação dos serviços de energia. O contrato a ser feito com a concessionária leva em consideração três aspectos levantados: qualidade do produto, qualidade do serviço e qualidade do atendimento comercial. Para tal, a comissão avalia o DEC (elemento que demonstra a continuidade da disponibilização de energia elétrica) e a FEC (frequência com que a rede sofre interrupções em seu fornecimento), tempo médio de atendimento de ocorrência e o DEC e a FEC da própria concessionária, ou seja, mesmo que não haja interrupções para o usuário final, podem ocorrer anomalias nas subestações, por exemplo. Tais índices devem ser levados em consideração para que se tenha uma visão sistêmica da prestação de serviço. Até mesmo a frequência com que a tensão é violada é levada em consideração; dessa forma, é feito um “raio-X” do sistema de energia, identificando gargalos e oportunidades de melhoria. Para que a análise seja mais precisa, leva-se em consideração o número de pessoas que ficaram sem energia durante determinado período, a potência não atendida, a duração da interrupção, o número total de ocorrências em determinado período e outros elementos que ajudam a compreender o impacto do problema.

Importantes siglas são utilizadas para expressar os indicadores:

- DEC é o intervalo de tempo que certa unidade consumidora permaneceu sem o fornecimento de energia, como mostra a equação 01.

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^n Ca(i) \times T(i)}{Cs}$$

Equação 01: Cálculo do DEC.

- FEC é o número de vezes que certa unidade consumidora sofreu interrupções (frequência), como mostra a equação 02.

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^n Ca(i)}{Cs}$$

Equação 02: Cálculo do FEC.

- $i$  é o número de interrupções.
- $T(i)$  é o tempo que cada interrupção durou.
- $Ca(i)$  é o número de pessoas que sofreu com o corte de energia.
- $Cs$  é o número total de pessoas que estão no grupo analisado.
- DIC é intervalo de tempo que certo consumidor ficou sem o fornecimento de energia.
- FIC é o número de vezes que certo consumidor sofreu interrupções.
- DMIC é o maior tempo que certa unidade permaneceu sem o suprimento de energia elétrica.

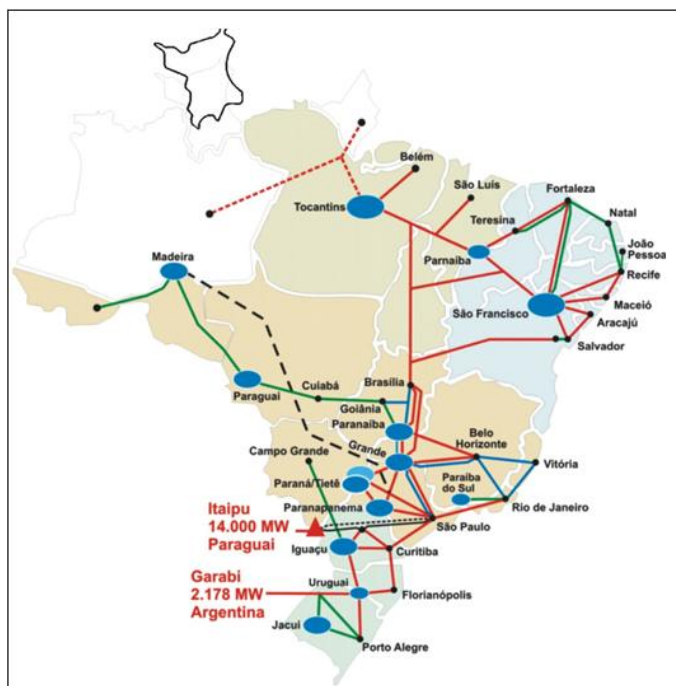
Segundo Baltazar (2007), os indicadores são fixados e fiscalizados pela Aneel, a qual possui a função de encontrar um preço justo ao consumidor, mas que seja economicamente viável às concessionárias de energia. A Aneel deve gerir a geração, a transmissão e a distribuição de energia elétrica até o consumidor, fiscalizando as empresas envolvidas de forma a garantir qualidade ao consumidor final. Os indicadores citados são fortes aliados para possíveis penalizações, principalmente em épocas em que se discute a estagnação da indústria brasileira, pois a falta de energia pode agravar o quadro (queda do produto interno bruto) e o papel das agências reguladoras no país.

O Brasil apresenta, segundo Baltazar (2007), aproximadamente 76% de sua energia oriunda de rios (hidrelétrica). Através do SIN (Sistema Interligado Nacional), as linhas de todo o país estão interligadas, possibilitando o deslocamento de energia até pontos mais remotos. Tal fato torna crítico o sistema de gerenciamento de falhas, de forma a segmentar os trechos e permitir que o fornecimento de energia não seja interrompido (pontos de falha são isolados e outros elementos assumem suas funções). A figura 2 mostra o SIN, tornando clara a grande ramificação presente no sudeste e no sul do país (eixo de maior dinamismo econômico e consequente demanda energética).

Nas décadas de 70, 80 e início dos anos 90, o mesmo valor era pago pela energia em qualquer estado do Brasil. O Governo Federal gerenciava os custos de forma que os locais onde a energia dava lucro mantinham os locais onde o fornecimento do serviço era deficitário. A partir da década de 90 (desestatização) o mercado se torna aberto à livre concorrência e as empresas passam a regular o preço ao consumidor final.

Neste cenário, a Aneel fiscaliza o mercado não permitindo exageros. O consumidor deverá pagar a sua conta, na qual estão embutidos os custos de geração, transmissão, distribuição e tributos. Com os valores arrecadados, as empresas que possuem a concessão são obrigadas a investir em novas tecnologias e em expansão do setor em todo o Brasil.

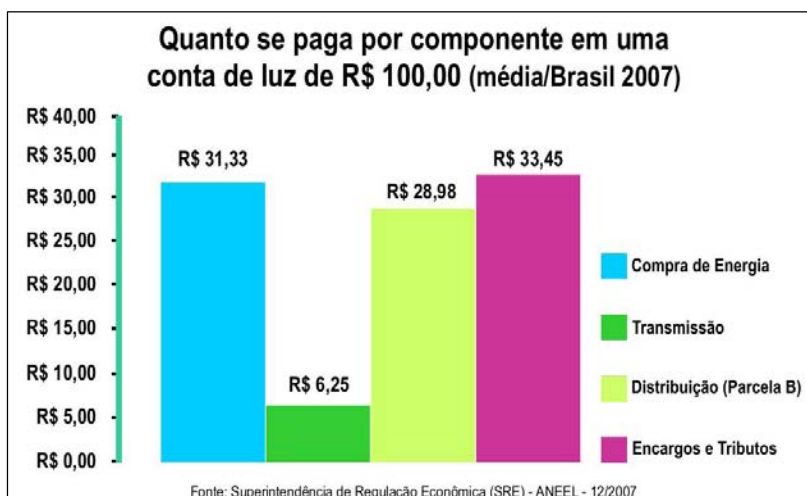
**Figura 2 - Sistema Interligado nacional**



Fonte: <http://rudsonleite.blogspot.com.br>

O Sistema Interligado Nacional compreende em uma rede de hidrelétricas, termelétricas e usinas nucleares (em menor número) que geram e transmitem energia elétrica a todo o país. Segundo a página oficial da Aneel (matéria do dia 22/02/2012), a capacidade instalada brasileira em 2011 era de 117.134,72 MW, provenientes de 2608 usinas hidrelétricas, termelétricas, eólicas, nucleares, pequenas centrais hidrelétricas e centrais geradoras hidrelétricas. A energia oriunda de hidrelétricas é predominante no Brasil (76%) e, em seguida, vêm as termelétricas (21%). A energia nuclear possui pouca expressão correspondendo a apenas 2% da energia gerada; o restante é dividido entre matrizes menores (solar, eólica, etc). Todo o custo de operação e implantação de novas unidades é embutido na conta de luz dos brasileiros. A figura 3 mostra a decomposição de uma conta de energia e, principalmente, o impacto dos tributos. No início de 2013, o Governo Federal promoveu uma série de ações para alterar o impacto dos impostos na conta de energia elétrica, visando a diminuir os custos de produção e a aumentar a competitividade da indústria brasileira.

**Figura 3 - Decomposição média de uma conta no Brasil**



**Fonte: Superintendência de Regulação Econômica, 2007.**

O sistema nacional é interligado para que seja possível gerar energia em determinado local e transportá-la até centros distantes, o que só é possível através de subestações que corrigem perdas e eliminam ruídos oriundos do transporte. Para que seja possível transmitir grandes potências com baixas correntes, a tensão é elevada. As linhas de transmissão, normalmente, possuem tensão acima de 230 000 v. Tal característica torna diferentes as análises feitas em sistemas de potência, pois novos fenômenos físicos são associados à alta tensão.

Devido ao tamanho e à complexidade do Sistema Interligado Nacional, é comum o surgimento de anomalias. Transmitir energia a longas distâncias, conservando inalteradas a tensão, a corrente, a frequência e a forma de onda, se torna um desafio. Em decorrência da ligação em rede, qualquer distúrbio pode se propagar rapidamente, trazendo interrupções no fornecimento de energia e grandes prejuízos. Para que seja mais fácil gerenciar as áreas consumidoras, dividem-se as cidades em setores, levando em consideração inúmeros fatores como a quantidade de pessoas que mora na região, a potência média consumida, o tamanho (em km<sup>2</sup>) da área, etc. É necessário ressaltar que o potencial gerador brasileiro é grande, porém as distâncias, em se tratando de um país com dimensões continentais, dificulta a transmissão. Neste difícil cenário, desenvolve-se o trabalho de técnicos e engenheiros que utilizam, por exemplo, os relés de distância para minimizar o efeito de falhas.

Segundo Baltazar (2007), para que se tornasse possível atender o consumidor de maneira adequada, a Aneel criou o Prodist, o qual se tornou um modelo (padrão) para as empresas do setor energético, em suas atividades. A cada ano a Aneel altera o documento e insere novas demandas. Até mesmo os procedimentos para atender uma área onde ocorreu uma falha (tempo de atendimento para voltar à operação) são previstos neste documento. O tempo de preparação (após receber um chamado), o tempo de deslocamento até o local e o tempo de correção da falha (até o serviço voltar a operar normalmente) são utilizados para mostrar o quanto a empresa tem se preparado para prestar o serviço à população. Existem outros documentos que são utilizados como base para a operação das concessionárias. As principais normas relacionadas à qualidade da energia elétrica são:

- EN50160;
- IEC 61000-4-15;
- IEC 61000-4-7;
- IEEE 519 (1992) e
- IEEE 1159 (1995).

Em auxílio ao cumprimento das normas, inúmeros equipamentos têm surgido com o propósito de mapear os principais problemas relacionados à qualidade de energia. Através da detecção e classificação do problema, os gestores das organizações podem tomar corretas decisões energéticas ou cobrar da concessionária. O presente trabalho é uma proposta de baixo custo, pois se utiliza da desenvoltura dos microcontroladores PIC e de um celular com sistema operacional *Android*, o que viabiliza seu uso em diversas situações presentes no gerenciamento de sistemas de alta tensão.

Um projeto completo e pronto para o mercado deve estar apto a detectar e classificar um grande leque de problemas comuns no setor elétrico. Segundo Edgard Franco (2012), os transitórios são, por exemplo, provocados por alterações repentinas na operação de um sistema elétrico. Mesmo tendo curta duração, os seus estragos podem ser grandes, pois, em instante, os equipamentos podem ter grandes picos de corrente ou tensão. Um claro exemplo é a presença de descargas atmosféricas tão comuns em tempestades. Até mesmo o chaveamento de um banco de capacitores (utilizados para melhorar a qualidade da energia elétrica) pode provocar distúrbios na forma de onda da tensão. Os equipamentos presentes nas concessionárias devem ser capazes de minimizar, ou até mesmo sanar, os principais problemas energéticos existentes. A energia não é apenas uma questão binária “estamos fornecendo ou não estamos fornecendo”. Os equipamentos de análise de falhas devem ser complexos e capazes de se adaptar a constantes mudanças. Os *sags*, como mostrado na figura 1, são quedas de tensão que podem passar despercebidas pelo usuário residencial ou até mesmo industrial. Sua principal consequência é a queda da vida útil de vários equipamentos, pois eles passam a operar (durante alguns instantes) com uma tensão abaixo daquela para a qual fora projetado. Da mesma forma que as quedas de tensão ocorrem, as sobretensões são frequentes e comumente chamadas de *swell*. Com a quebra precoce de equipamentos e reclamações de clientes, surgem novos padrões que colocam em cheque a qualidade da energia elétrica fornecida aos consumidores. O dispositivo proposto no trabalho pode ser adaptado para atuar em sistemas de baixa tensão. Com este novo enfoque, atenderia à demanda dos consumidores finais, monitorando a qualidade do serviço prestado pela concessionária. Várias adaptações devem ser feitas (melhorias futuras), porém o desafio é o mesmo: mobilidade no setor elétrico.

As consequências do *swell* também são drásticas e podem impactar diretamente em controladores industriais, cabos, dispositivos de chaveamento, etc. A vida útil dos citados equipamentos pode sofrer uma brusca queda caso sejam constantes as ocorrências de sobretensões. As quedas rápidas de tensão não são detectadas por vários instrumentos, porém pode, até mesmo, tornar inoperantes as placas eletrônicas que realizam controle ou aquisição de dados na indústria.

Os problemas citados anteriormente ocorrem em sistemas de uma forma geral. Porém, há uma gama de empecilhos encontrados especificamente em sistemas trifásicos. Segundo Edgard Franco (2012), os desequilíbrios de tensão, por exemplo, podem ser causados pela própria concessionária de energia (falhas na distribuição) ou pelo próprio cliente ao possuir cargas mal distribuídas entre as três fases. Os problemas gerados pelo

cliente não se limitam a ele, ou seja, seus efeitos são sentidos também pelas concessionárias. Devido ao fenômeno citado, os motores de indução sofrerão com temperaturas acima do projetado pelo fabricante, alterando o comportamento dos isolantes do equipamento. Novamente, destaca-se a responsabilidade da concessionária, pois é importante tratar os seus próprios problemas e também aqueles inseridos na rede pelo cliente. Os equipamentos de detecção e tratamento de falha devem ser capazes de agir nessas duas frentes citadas. Os exemplos citados deixam clara a necessidade de tornar a rede elétrica “inteligente”. Seja para as concessionárias, seja para os consumidores finais, inúmeros ganhos podem ser trazidos com o emprego de sistemas computacionais aplicados à energia elétrica. A antecipação de falhas, a simulação de equipamentos (como o uso de RNA ao invés de um relé de distância) e o tratamento de informações de gestão são apenas alguns dos ganhos possíveis. Um terceiro participante deste processo é o governo, o qual toma decisões baseadas em estatísticas nem sempre seguras. A Aneel mantém uma equipe de engenheiros especialistas que se baseiam em experimentações e normas internacionais para analisar as melhores saídas ao sistema nacional de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

Segundo Baltazar (2007), a preocupação com a qualidade da energia é antiga no Brasil:

*Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934 - Código de Águas:*

*Art. 178. No desempenho das atribuições que lhe são conferidas, a Divisão de Águas do Departamento Nacional da Produção Mineral fiscalizará a produção, a transmissão, a transformação e a distribuição de energia hidroelétrica, com o triplice objetivo de:*

*a) assegurar serviço adequado;*

*Art. 179. Quanto ao serviço adequado a que se refere a alínea "a" do artigo precedente, resolverá a administração, sobre:*

*a) qualidade e quantidade do serviço;*

*Decreto nº 41.019, de 26 de fevereiro de 1957 - Regulamento dos Serviços de Energia Elétrica:*

*Art 119. O regime legal e regulamentar da exploração dos serviços de energia elétrica tem por objetivo:*

*a) assegurar um serviço tecnicamente adequado às necessidades do país e dos consumidores;*

*Art. 120. Compete à Administração Pública resolver sobre:*

*a) as condições técnicas, a qualidade e quantidade do serviço;*

*Art. 132. A operação e a conservação deverão ser aparelhadas e organizadas de modo a assegurar a continuidade e a eficiência dos fornecimentos, além da segurança das pessoas e a conservação dos bens e instalações nelas empregados.*

A energia elétrica, então gerada pelo Estado, tinha como objetivo suprir uma necessidade do país. A partir do momento em que é feita uma concessão, ou seja, uma empresa privada assume as funções, além de atender a demanda dos consumidores é



necessário trazer lucro aos acionistas. Neste contexto, é extremamente importante o papel da agência reguladora, pois ela não permitirá que a busca exacerbada do lucro possa impedir investimentos e melhorias no fornecimento do serviço, como já foi citado. Alguns problemas são extremamente imprevisíveis, o que dificulta a ação da equipe governamental de engenheiros (na criação de normas) e das concessionárias (na prestação do serviço). As variações instantâneas de tensão, por exemplo, são provocadas principalmente por descargas atmosféricas e chaveamentos de equipamentos de potência. Ao receber a descarga, os dispositivos de proteção entram em ação e desligam parte do sistema (tentativa de isolar o problema). Ao agir, os próprios dispositivos inserem ruídos no sistema, comprometendo a qualidade final da energia.

A Aneel utiliza sistemas qualitativos para avaliar os trabalhos das concessionárias, ou seja, realiza um levantamento de dados e busca anomalias no mesmo através de métodos estatísticos, comparando-os com padrões pré-estabelecidos. Caso as empresas privadas que possuem a concessão para operar não realizem o trabalho, deverão ser multadas. A ARSESP auxilia o trabalho da Aneel e, juntas, fixam várias faixas que se tornam referência no mercado elétrico. As tabelas 1,2,3,4,5,6,7,8 e 9 mostram alguns critérios utilizados como metas.

**Tabela 1: Metas de DEC, FEC, DIC e FIC para a faixa 69KV a 230KV.**

Faixa de Variação das Metas Anuais de Indicadores de Continuidade dos Conjuntos (DEC ou FEC)	Padrão de Continuidade por Unidade Consumidora Unidades Consumidoras com Faixa de Tensão Nominal: $69\text{kV} \leq \text{Tensão} < 230\text{kV}$					
	DIC (horas)			FIC (interrupções)		
	Anual	Trim.	Mensal	Anual	Trim.	Mensal
0 - 20	12	6	4	12	6	4
>20 - 40	16	8	6	16	8	6
>40	22	11	8	22	11	8

Fonte: Resolução nº24 da Aneel, de 27 de janeiro de 2000.

**Tabela 2: Metas de DEC, FEC, DIC e FIC para a faixa 1KV a 69KV – áreas urbanas.**

Faixa de Variação das Metas Anuais de Indicadores de Continuidade dos Conjuntos (DEC ou FEC)	Padrão de Continuidade por Unidade Consumidora Unidades Consumidoras situadas em áreas urbanas com Faixa de Tensão Nominal: $1\text{kV} < \text{Tensão} < 69\text{kV}$					
	DIC (horas)			FIC (interrupções)		
	Anual	Trim.	Mensal	Anual	Trim.	Mensal
0 - 10	25	13	8	18	9	6
> 10 - 20	30	15	10	20	10	7
> 20 - 30	35	18	12	25	13	8
> 30 - 45	40	20	13	30	15	10
> 45	45	23	15	35	18	12

Fonte: Resolução nº24 da Aneel, de 27 de janeiro de 2000.

Tabela 3: Metas de DEC, FEC, DIC e FIC para a faixa 69KV a 230KV – áreas isoladas.

Faixa de Variação das Metas Anuais de Indicadores de Continuidade dos Conjuntos (DEC ou FEC)	Padrão de Continuidade por Unidade Consumidora Unidades Consumidoras atendidas por sistemas isolados ou situadas em áreas não-urbanas com Faixa de Tensão Nominal: 1 kV < Tensão < 69 kV					
	DIC (horas)			FIC (interrupções)		
	Anual	Trim.	Mensal	Anual	Trim.	Mensal
0 - 10	50	25	11	30	15	10
> 10 - 20	55	28	19	35	18	12
> 20 - 30	65	33	22	40	20	14
> 30 - 45	72	36	24	50	25	17
> 45	90	45	30	72	36	24

Fonte: Resolução nº24 da Aneel, de 27 de janeiro de 2000.

Tabela 4: Metas de DEC, FEC, DIC e FIC para locais com tensão menor que 1 KV.

Faixa de Variação das Metas Anuais de Indicadores de Continuidade dos Conjuntos (DEC ou FEC)	Padrão de Continuidade por Unidade Consumidora Unidades Consumidoras com Tensão Nominal $\leq$ 1 kV situadas em áreas urbanas					
	DIC (horas)			FIC (interrupções)		
	Anual	Trim.	Mensal	Anual	Trim.	Mensal
0 - 10	40	20	13	25	13	8
> 10 - 20	50	25	17	30	15	10
> 20 - 30	55	28	19	35	18	12
> 30 - 45	65	32	22	40	20	13
> 45	72	36	24	58	29	20

Fonte: Resolução nº24 da Aneel, de 27 de janeiro de 2000.

Tabela 5: Metas de DEC, FEC, DIC e FIC para tensão menor que 1 KV - área não urbana.

Faixa de Variação das Metas Anuais de Indicadores de Continuidade dos Conjuntos (DEC ou FEC)	Padrão de Continuidade por Unidade Consumidora Unidades Consumidoras com Tensão Nominal $\leq$ 1 kV situadas em áreas não urbanas					
	DIC (horas)			FIC (interrupções)		
	Anual	Trim.	Mensal	Anual	Trim.	Mensal
0 - 10	80	40	27	40	20	13
> 10 - 20	85	43	29	50	25	17
> 20 - 30	90	45	30	60	30	20
> 30 - 45	100	48	33	75	38	25
> 45	108	54	36	87	44	29

Fonte: Resolução nº24 da Aneel, de 27 de janeiro de 2000.

Além dos índices que mostram a interrupção do fornecimento de energia, é importante analisar as variações de tensão ocorridas em determinando período. O valor de tensão disponibilizado pela concessionária é chamado de tensão de atendimento. Os consumidores são classificados de acordo com os seguintes critérios:

- consumidor de baixa tensão: opera em tensão igual ou inferior a 1000v;
- consumidor de média tensão: opera em tensão superior a 1000v e menor que 69KV e
- consumidor de alta tensão: opera em tensão superior a 69KV.

Tabela 6: Meta de atendimento para pontos com tensão igual ou superior a 230KV.

Classificação da Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de variação da Tensão de Leitura (TL) em relação à Tensão Contratada (TC)
Adequada	$0,95 TC \leq TL \leq 1,05 TC$
Precária	$0,93 TC \leq TL < 0,95 TC$ ou $1,05 TC < TL \leq 1,07 TC$
Crítica	$TL < 0,93 TC$ ou $TL > 1,07 TC$

Fonte: Resolução nº24 da Aneel, de 27 de janeiro de 2000.

Tabela 7: Meta de atendimento para pontos com tensão superior a 69KV e menor que 230KV.

Classificação da Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de variação da Tensão de Leitura (TL) em relação à Tensão Contratada (TC)
Adequada	$0,95 TC \leq TL \leq 1,05 TC$
Precária	$0,90 TC \leq TL < 0,95 TC$ ou $1,05 TC < TL \leq 1,07 TC$
Crítica	$TL < 0,90 TC$ ou $TL > 1,07 TC$

Fonte: Resolução nº24 da Aneel, de 27 de janeiro de 2000.

Tabela 8: Meta de atendimento para pontos com tensão superior a 1KV e menor que 69KV.

Classificação da Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de variação da Tensão de Leitura (TL) em relação à Tensão Contratada (TC)
Adequada	$0,93 TC \leq TL \leq 1,05 TC$
Precária	$0,90 TC \leq TL < 0,93 TC$
Crítica	$TL < 0,90 TC$ ou $TL > 1,05 TC$

Fonte: Resolução nº24 da Aneel, de 27 de janeiro de 2000.

Tabela 9: Meta de atendimento para pontos com tensão inferior a 1KV.

TENSÕES NOMINAIS – PADRONIZADAS				
Tensão Nominal (TN)		Faixa de valores ADEQUADOS das Tensões de Leitura (TL) em relação à TN (Volts)	Faixa de valores PRECÁRIOS das Tensões de Leitura (TL) em relação à TN (Volts)	Faixa de valores CRÍTICOS das Tensões de Leitura (TL) em relação à TN (Volts)
Ligação	Volts			
Trifásica	220	$201 \leq TL \leq 231$	$189 \leq TL \leq 201$ ou $231 \leq TL \leq 233$	$TL < 189$ ou $TL > 233$
	127	$116 \leq TL \leq 133$	$109 \leq TL \leq 116$ ou $133 \leq TL \leq 140$	$TL < 109$ ou $TL > 140$
	380	$348 \leq TL \leq 396$	$327 \leq TL \leq 348$ ou $396 \leq TL \leq 403$	$TL < 327$ ou $TL > 403$
	220	$201 \leq TL \leq 231$	$189 \leq TL \leq 201$ ou $231 \leq TL \leq 233$	$TL < 189$ ou $TL > 233$
Monofásica	254	$232 \leq TL \leq 264$	$220 \leq TL \leq 232$ ou $264 \leq TL \leq 269$	$TL < 220$ ou $TL > 269$
	127	$116 \leq TL \leq 132$	$109 \leq TL \leq 116$ ou $132 \leq TL \leq 140$	$TL < 109$ ou $TL > 140$
	440	$402 \leq TL \leq 458$	$380 \leq TL \leq 402$ ou $458 \leq TL \leq 466$	$TL < 380$ ou $TL > 466$
	220	$201 \leq TL \leq 229$	$189 \leq TL \leq 201$ ou $229 \leq TL \leq 233$	$TL < 189$ ou $TL > 233$
TENSÕES NOMINAIS – NÃO PADRONIZADAS				
Trifásica 4 fios	208	$196 \leq TL \leq 229$	$189 \leq TL \leq 196$ ou $229 \leq TL \leq 233$	$TL < 189$ ou $TL > 233$
	120	$113 \leq TL \leq 132$	$109 \leq TL \leq 113$ ou $132 \leq TL \leq 135$	$TL < 109$ ou $TL > 135$
	230	$216 \leq TL \leq 241$	$212 \leq TL \leq 216$ ou $241 \leq TL \leq 253$	$TL < 212$ ou $TL > 253$
Monofásica	115	$108 \leq TL \leq 127$	$105 \leq TL \leq 108$ ou $127 \leq TL \leq 129$	$TL < 105$ ou $TL > 129$
	240	$216 \leq TL \leq 254$	$212 \leq TL \leq 216$ ou $254 \leq TL \leq 260$	$TL < 212$ ou $TL > 260$
	120	$108 \leq TL \leq 127$	$106 \leq TL \leq 108$ ou $127 \leq TL \leq 130$	$TL < 106$ ou $TL > 130$

Fonte: Resolução nº24 da Aneel, de 27 de janeiro de 2000.

Além da compreensão das metas anuais e perfis de consumidores, segundo Baltazar (2007), alguns termos técnicos são importantes quando se classificam os problemas encontrados na rede. Dentre eles, podemos citar:

- DRC (Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica): Indica a duração dos níveis de tensão em não conformidade com o padrão estabelecido;
- ICC (Índice de Unidades Consumidoras com Tensão Crítica): Coletado mensalmente através de amostras e mostra quais unidades estão recebendo níveis de tensão em não conformidade com o padrão estabelecido;
- Indicadores Relativos às Ocorrências Emergenciais: em 17 de setembro de 2002 a Aneel publicou a Resolução nº 520, que formaliza o conceito de emergencial como sendo fatos que causem prejuízos ou provoquem o deslocamento de uma equipe para solucionar o problema;
- Indicadores de Qualidade do Atendimento Comercial: a qualidade do atendimento deve ser medida, principalmente, através do tempo que o usuário leva para ser atendido e ter o seu problema resolvido;
- TML (Tempo Médio de Ligação Nova em Tensão Secundária de Distribuição): tempo gasto para ligar a energia em uma nova residência, por exemplo;
- TMR (Tempo Médio de Religação em Tensão Secundária de Distribuição): tempo gasto para religar uma instalação após a resolução do motivo que gerou a interrupção (exemplo: não pagamento de uma conta de energia) e
- TMS (Tempo Médio de Execução de Serviços na Rede de Distribuição): tempo que a concessionária leva para executar serviços na rede de distribuição que garantam a entrega correta de energia ao consumidor final.

Segundo o Prodist – Módulo 8 (2010) –, os consumidores devem atuar como fiscais da qualidade da energia elétrica, buscando na própria concessionária e nos órgãos competentes os seus direitos. A necessidade de prestação de serviço de qualidade é prevista no artigo 22 do código do consumidor. Através dos registros de reclamação, o cidadão tem a oportunidade de contribuir para a qualidade do serviço prestado e impedir que seus direitos sejam apropriados pelo interesse privado.

Para que os interesses do consumidor sejam respeitados, a concessionária deve manter, segundo a Lei nº 8.631, de 4 de março de 1993, regulamentada pelo Decreto nº 774, de 18 de março de 1993, um conselho formado por representantes dos consumidores. O

conselho deve ter consumidores residenciais, comerciais, industriais, rurais, poder público e um representante de uma entidade que proteja o consumidor (como o PROCON ou Ministério Público). Tal conselho possui caráter apenas consultivo, porém reflete a direta fiscalização do cidadão na prestação de serviços de energia elétrica. As decisões tomadas pelo conselho são, normalmente, baseadas em dados empíricos, o que faz com que as decisões sejam suscetíveis a erros, sendo fortemente influenciadas pela limitada percepção humana de qualidade de energia.

Segundo Baltazar (2007), no ano 2000, a Aneel instituiu um índice de satisfação do consumidor. O índice é gerado através de pesquisas feitas com os consumidores residenciais. Os dados obtidos são armazenados e são comparados ano a ano, formando uma base de dados que avalia a evolução da satisfação dos clientes quanto aos serviços de energia. A pesquisa gera parâmetros para que a própria Aneel crie novas regras para a concessão e melhore a imagem da própria agência na visão do consumidor. Os impactos da pesquisa são utilizados para compor a revisão tarifária, ou seja, os resultados são levados em consideração no momento de compor a nova tarifa vigente.

Diante de tantos fatores fica claro que não se pode estipular a qualidade da energia elétrica apenas através de fatores quantitativos, pois uma concessionária pode disponibilizar ótimos índices de DEC e FEC ao consumidor; porém, pode não atendê-lo da maneira necessária. Além disso, os fatores qualitativos podem ser fortemente influenciados pela percepção humana. Com a busca de novas funções apresentadas pelo dispositivo em questão, torna-se possível auxiliar a concessionária (mobilidade para reportar falhas) e a Agência Reguladora-Aneel, pois os dados podem facilmente ser transmitidos para todos os envolvidos neste processo. A transparência passaria a ser um elemento presente em todas as relações, sendo fator predeterminante no aumento ou redução de tarifas cobradas ao consumidor final. Os consumidores poderiam acompanhar, em seu celular, os fatos que ocorrem na sua rede elétrica e são enviados à concessionária e à agência reguladora. O tratamento de dados disponibilizaria informações a todos os lados eliminando as dúvidas e mútuas desconfianças.