

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
ELÉTRICA**

ALAN HENRIQUE RIBEIRO DOS SANTOS

**SENSOR DE DETECÇÃO DE VARIAÇÃO DE
TENSÃO PARA REDES DE BAIXA TENSÃO
UTILIZANDO REDES SEM FIO IEEE 802.11**

PUC-CAMPINAS
2016

ALAN HENRIQUE RIBEIRO DOS SANTOS

**SENSOR PARA DETECÇÃO DE VARIAÇÃO DE
TENSÃO PARA REDES DE BAIXA TENSÃO
UTILIZANDO REDES SEM FIO IEEE 802.11**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientadora: Prof(a). Dr(a) Lia Toledo
Moreira Mota

PUC-CAMPINAS
2016

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas e
Informação - SBI - PUC-Campinas

t621.3851
S237s

Santos, Alan Henrique Ribeiro dos.

Sensor para detecção de variação de tensão para redes de baixa tensão utilizando redes sem fio IEEE 802.11 / Alan Henrique Ribeiro dos Santos. - Campinas: PUC-Campinas, 2016.
111p.

Orientadora: Lia Toledo Moreira Mota.

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

Inclui bibliografia.

1. Redes de sensores sem fio. 2. Detectores. 3. SMART (Sistemas de recuperação da informação. 4. Tecnologia da informação. 5. Redes de computação. I. Mota, Lia Toledo Moreira. II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias. Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

22.ed. CDD – t621.3851

ALAN HENRIQUE RIBEIRO DOS SANTOS

**SENSOR DE DETECÇÃO DE VARIAÇÃO DE TENSÃO
PARA REDES DE BAIXA TENSÃO UTILIZANDO REDES
SEM FIO IEEE 802.11**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão de Redes de Telecomunicações.

Área de Concentração: Gerência de Redes de Teleinformática. Orientadora: Profa. Dra. Lia Toledo Moreira Mota

Dissertação defendida e aprovada em 24 de junho de 2016 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:



Profa. Dra. Lia Toledo Moreira Mota
Orientadora da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Prof. Dr. Marcius Fabius Henriques de Carvalho
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Prof. Dr. Geraldo Peres Caixeta
Universidade São Francisco

Ao meu querido pai, José Antônio dos Santos e a minha querida mãe
Maria das Graças Ribeiro dos Santos, pelo incentivo e pelo apoio
em todas as minhas escolhas e decisões.

AGRADECIMENTOS

A DEUS por estar presente em todos os dias da minha vida me dando forças para nunca desistir de meus propósitos.

A minha orientadora, Professora. Dra. Lia Toledo Moreira Mota, pelo imensurável apoio, pela sua dedicação, pelo compartilhamento de conhecimento, pela amizade e pelas grandiosas e valiosas sugestões, que foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Aos meus colegas de turma que contribuíram com a troca de experiências e por proporcionar momentos ímpares de confraternização que serão eternos em minha memória.

A todos os professores do curso de mestrado que de alguma forma contribuíram para a minha formação.

Aos amigos Carol Frangeto, Ivan Pedrotti, Leandro Filiagi, Samuel Giussepe e Walter Barbosa, pelo companheirismo e pelas diversas contribuições no desenvolvimento deste projeto.

Ao meu pai José Antônio, a minha mãe Maria das Graças e a minha noiva Amanda Gaspari, pelo incentivo e pelos conselhos ao longo da realização da dura jornada do curso de mestrado.

Por último, porém não menos importante, *"in memoriam"* de Alexandre de Assis Mota, grande incentivador e eterno amigo, por quem fico envolvido por um enorme e eterno sentimento de gratidão, meu muitíssimo obrigado.

EPÍGRAFE

“Só um sentido de invenção e uma necessidade intensa de criar
levam o homem a revoltar-se, a descobrir e a descobrir-se
com lucidez”.
(Pablo Picasso)

RESUMO

O crescente avanço tecnológico permitirá uma transformação no setor elétrico, até então pouco modificado desde a sua implantação, no entanto, este cenário tem se modificado principalmente pelo crescimento da geração de energia através de matrizes renováveis. O conceito Smart Grid tem propiciado grandes modificações principalmente nas redes de distribuição básica com a inserção de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), possibilitando monitoramento e controle mais efetivos da rede elétrica, e até mesmo possibilitando a integração entre a Geração, Transmissão e Distribuição de energia. A utilização de sensores inteligentes e dispositivos de automação e controle ainda permitirá a redução de erros em tomadas de decisão causadas por falhas humanas, ainda muito comuns no setor. A qualidade do fornecimento de energia elétrica é tópico atualmente bastante explorado e de grande importância para as concessionárias que estão preocupadas em melhorar a qualidade do produto entregue a seus consumidores. Este trabalho tem como objetivo desenvolver um sensor de variação de tensão para redes de baixa tensão utilizando redes sem fio *Wi-Fi* 802.11, estes, são fenômenos que estão presentes nas redes elétricas e afetam o fornecimento de energia tanto a consumidores industriais como a consumidores residenciais, contudo é de grande importância que dispositivos inteligentes sejam desenvolvidos de forma a integrar-se à rede de distribuição para a coleta de dados. O principal objetivo é desenvolver um sensor de baixo custo para identificação e registros destes fenômenos. Para comunicar-se com o sistema supervisor, os sensores utilizarão uma estrutura de telecomunicações sem fio, IEEE 802.11, baseado em tecnologia *Wi-Fi* urbana, desta forma os dados serão enviados a uma Central de Monitoramento informando eventuais falhas captadas pelos sensores.

PALAVRAS-CHAVE: Smart Grid, Qualidade da Energia, Sensores, Variação de Tensão e IEEE 802.11.

ABSTRACT

The increasing technological advances will allow a transformation in the electricity sector, until then, little changed since its implementation, however, this scenario has changed mainly by power generation growth through renewable matrices. The concept Smart Grid has provided significant changes mainly in the basic distribution networks with the inclusion of Information and Communication Technology (ICT), enabling monitoring and control of the grid, but effective and even allowing for the integration of Generation, Transmission and Distribution Power. The utilization of intelligent sensors and automation and control devices will also enable reduction of errors in decision making caused by human error, yet very common in the industry. The quality of electricity supply is currently topic extensively explored and of great importance to the utilities that are concerned with improving the quality of the product delivered to their consumers. This work aims to develop a sensor of long and short duration voltage variation, these are phenomena that are present in the electricity networks and affect the power supply to both industrial customers and to residential consumers, yet it is of great importance that devices intelligent be developed to integrate the distribution network for the generation of data, the main objective is to develop a low-cost sensor for identification and records of these phenomena. To communicate with the supervisory system, the sensors use a wireless telecommunications infrastructure, IEEE 802.11, based on urban Wi-Fi technology, this way the data is sent to a monitoring station reporting any faults captured by the sensors.

Key words: Smart Grid, Energy Quality, Sensors, voltage variation and IEEE 802.11.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo Convencional da Infraestrutura Elétrica Utilizada no Brasil.....	22
Figura 2 – Representação de um Sistema de Smart Grid.....	26
Figura 3 – Variações de Tensão	34
Figura 4 – Inteligencia Analítica para Smart Grid.....	37
Figura 5 – Circuito Integrado ADE7753	42
Figura 6 – Diagrama de Bloco do CI ADE7753	43
Figura 7 – Circuito Elétrico ADE 7753.....	44
Figura 8 – Diagrama de Bloco do Protótipo	45
Figura 9 – Placa de Desenvolvimento Computacional Arduino UNO	46
Figura 10 – Roteador Wireless TL-MR3020.....	47
Figura 11 – Detecção de Afundamentos	48
Figura 12 – Detecção de Elevação de Tensão.....	49
Figura 13 – Circuito Divisor de Tensão.....	50
Figura 14 – Processamento de Sinal Canal 2 do ADE7753.....	51
Figura 15 – Esquema Elétrico do Sensor de detecção de VTCD.....	52
Figura 16 – Vista Inferior do Layout da Placa do Sensor.....	53
Figura 17 – Vista Superior do Layout da Placa do Sensor	53
Figura 18 – Vista Superior da Placa com Componentes	54
Figura 19 – Vista Inferior da Placa com Componentes	54
Figura 20 – Sensor Ligado ao Proxy IP	55

Figura 21 – Ambiente de Desenvolvimento Arduino.....	57
Figura 22 – Caixa de Testes Conprove CE-6006.....	61
Figura 23 – Tela de Apresentação Software Conprove Test Center	62
Figura 24 – Tela de Configuração de Testes do Software Conprove Test Center	63
Figura 25 – Banca de Testes.....	64
Figura 26 – Tela da Configuração do Software para Calibração do Sensor.....	65
Figura 27 – Gráfico de calibração da Tensão.....	66
Figura 28 – Gráfico da Diferença entre Medidas.....	68
Figura 29 – Gráfico do Erro Relativo	69
Figura 30 – <i>Calibração de Medição de Tensão</i>	70
Figura 31 – Calibração de Afundamento Momentâneo de Tensão.....	71
Figura 32 – Calibração de Afundamento Temporário de Tensão.....	72
Figura 33 – Calibração de Elevação Momentânea de Tensão	73
Figura 34 – Calibração de Elevação Temporária de Tensão	74
Figura 35 – Calibração de Interrupção Momentânea de Tensão	75
Figura 36 – Calibração de Interrupção Temporária de Tensão	75
Figura 37 – Bancada de Testes	77
Figura 38 – Painel de Leitura de Tensão e Visualizador de Eventos.....	77
Figura 39 – Resultado do Afundamento Momentâneo de Tensão do FLUKE 435.....	78
Figura 40 – Resultado do Afundamento Momentâneo de Tensão do Sensor.....	79
Figura 41 – Resultado do Afundamento Temporário de Tensão do FLUKE 435.....	80
Figura 42 – Resultado do Afundamento Temporário de Tensão do Sensor.....	80

Figura 43 – Resultado do Elevação Momentânea de Tensão do FLUKE 435	81
Figura 44 – Resultado da Elevação Momentânea de Tensão do Sensor	82
Figura 45 – Resultado da Elevação Temporária de Tensão do Fluke 435	83
Figura 46 – Resultado da Elevação Temporária de Tensão do Sensor	83
Figura 47 – Resultado da Interrupção Momentânea de Tensão do FLUKE 435	84
Figura 48 – Resultado da Interrupção Momentânea de Tensão do Sensor	85
Figura 49 – Resultado da Interrupção Temporária de Tensão do FLUKE 435	86
Figura 50 – Resultado da Interrupção Temporária de Tensão do FLUKE 435	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das Variações de Tensão de Curta Duração.....	30
Tabela 2 – Terminologia.....	31
Tabela 3 - Lista de Componentes	55
Tabela 4 - Faixa de Classificação de Tensões	60
Tabela 5 – Tabela de Comparação de Valores Medidos	67
Tabela 6 - Tabela de Resultados da Simulação	87

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

3GPP	=	<i>3rd Generation Partnership Project</i>
ADC	=	<i>Analog-to-digital Converters</i>
AMR	=	<i>Automated Meter Reading</i>
AMI	=	<i>Advanced Metering Infrastructure</i>
ANEEL	=	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANSI	=	<i>American National Standards Institute</i>
AP	=	<i>Access Point</i>
ARSESP São Paulo	=	Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo
CI	=	Circuito Integrado
DC	=	<i>Direct Current</i>
DEC	=	Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
DI	=	<i>Distributed Intelligence</i>
DM	=	<i>Demand Management</i>
DMS	=	<i>Distribution Management System</i>
FEC Consumidora	=	Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
IDE	=	<i>Integrated Development Environment</i>
IED	=	<i>Intelligent Electronic Devices</i>
IEEE	=	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>

IoT	=	<i>Internet of Things</i>
ISSO	=	<i>International Organizations for Standardisation</i>
ITU	=	<i>International Telecommunications Union</i>
LPF	=	<i>Low Pass Filter</i>
ONS	=	Operador Nacional do Sistema Elétrico
OSIN	=	Sistema Interligado Nacional
PCB	=	<i>Printed Circuit Board</i>
PL	=	Projetos de Lei
PLC	=	<i>Power Line Communications</i>
PLS	=	Projetos de Lei do Senado
PRODIST	=	Procedimentos da Distribuição da ANEEL-Brasil
QEE	=	Qualidade da Energia Elétrica
QoS	=	<i>Quality of Service</i>
RI	=	Redes Inteligentes
RMS	=	Root Mean Square
RSSF	=	Redes de Sensores Sem Fio
RTI	=	<i>Real-Time Pricing</i>
SCADA	=	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SG	=	<i>Smart Grids</i>
SPI	=	<i>Serial Peripheral Interface</i>
TA	=	Tensão de Atendimento

TIC	=	Tecnologia da Informação e Comunicação
TL	=	Tensão de Leitura
ToU	=	<i>Time of Use</i>
VTCD	=	Variações de Tensão de Curta Duração
Wi-Fi	=	<i>Wireless Fidelity</i>
WiMax	=	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>
WLANs	=	<i>Wireless Local Area Networks</i>
WSN	=	<i>Wireless Sensor Networks</i>

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	19
2.	O SISTEMA ELÉTRICO.....	21
2.1.	Smart Grids.....	23
2.2.	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional.....	28
2.3.	Distúrbios Elétricos.....	31
2.4.	O Problema da Qualidade de Energia.....	34
2.5.	Redes de Sensores.....	36
2.6.	Redes IEEE 802.11.....	37
2.7.	Internet das Coisas.....	39
3.	DESENVOLVIMENTO DO SENSOR DE DISTÚRBIOS.....	41
3.1.	Requisitos para Desenvolvimento do Sensor.....	41
3.2.	Medidor de Energia ADE7753.....	42
3.3.	Descrição do sistema de detecção de VTCD.....	44
3.4.	Detecção dos Distúrbios de VTCD como CI ADE7753.....	47
3.5.	Sensor de Tensão.....	50
3.6.	Construção do Medidor.....	51
3.7.	Lista de Componentes e Custo do Sensor.....	55
3.8.	Desenvolvimento do <i>Firmware</i> do Sensor.....	56
4.	EXPERIMENTOS.....	58
4.1.	Procedimentos de testes baseados no PRODIST MÓDULO 8.....	58
4.1.1.	Tensão em Regime Permanente.....	58
4.1.2.	Instrumentação e Metodologia de Medição.....	59
4.1.3.	Variação de Tensão de Curta Duração VTCD.....	59
4.2.	Materiais utilizados nos Experimentos.....	60
4.3.	Montagem do Experimento.....	60

4.4. Processo de Calibração.....	64
4.5. Procedimento de Testes.....	69
4.5.1. Execução dos Testes de VTCD	70
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	76
6. CONCLUSÃO	89
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91
8. APÊNDICE	96

1. INTRODUÇÃO

As redes elétricas desde a sua criação até o momento atual sofreram poucas mudanças desde o seu surgimento há pouco mais de cem anos, entretanto com o surgimento do conceito *Smart Grid* abre-se a oportunidade de se estabelecer redes mais modernas e confiáveis, por meio do uso de tecnologias de controle e automação, que começaram a surgir a partir da década de oitenta, através de chaves motorizadas, supervisão e automação de subestações de energia etc. [1]. A partir daí, dá-se a importância de se desenvolver sensores para o monitoramento das redes de distribuição existentes, com o objetivo não somente de inserir mais tecnologias às redes elétricas, mas também de possibilitar torná-las mais eficientes e possibilitar a implantação de amplas redes de micro geração e de geração distribuída de energia.

O atual modelo de fornecimento de energia, que é baseado em uma estrutura centralizada de geração onde grandes usinas geram energia para ser transmitidas aos grandes centros consumidores não atende mais as necessidades da demanda exigida pela sociedade do século XXI. Este é um modelo que está prestes a sofrer consideráveis modificações em sua estrutura, pois o conceito *Smart Grid*, não somente irá introduzir tecnologia na rede elétrica como ele também irá atuar na falta de eficiência destas redes, incentivando o surgimento dos micro geradores, dando origem então a geração distribuída de energia [2].

Com relação à qualidade, é importante ressaltar que a falta de qualidade no fornecimento de energia elétrica pode causar danos a equipamentos elétricos e eletrônicos, podendo até mesmo parar uma linha de produção de uma indústria, ou reduzir a vida útil dos equipamentos, gerando danos irreversíveis e prejuízos aos consumidores e às concessionárias.

As redes de distribuição elétrica são compostas por circuitos em Média Tensão e Baixa Tensão, conhecidas respectivamente por redes primárias e redes secundárias.

A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) é a entidade responsável por regulamentar o setor elétrico no Brasil, fiscalizando a qualidade do fornecimento de energia provida pelas concessionárias. Entre os itens fiscalizados estão Qualidade do Serviço, Qualidade do Atendimento e a Qualidade do Produto [3].

Uma das principais características do *Smart Grid* é a busca do fornecimento de energia com qualidade [2]. Propondo como solução, para evitar os problemas no fornecimento de energia é supervisionar a energia fornecida aos consumidores. Portanto é de grande relevância o desenvolvimento de sensores inteligentes capazes de identificar fenômenos associados à qualidade da energia elétrica, permitindo a identificação de problemas, avisando os profissionais atuantes nos Centros de Operações das Distribuidoras de Energia Elétrica sobre eventuais inconformidades.

O surgimento de novas tecnologias será o principal impulsionador transformador para a constituição das redes inteligentes, como ocorrido no setor das telecomunicações, as alterações que estão por vir no setor elétrico influenciará diretamente na sociedade, modificando seus hábitos e comportamento [4]. Pode-se citar como benefícios o fornecimento de energia com melhor qualidade, redução de interrupções no fornecimento, redução do desperdício, aumento da confiabilidade e muitos outros.

Outro aspecto muito relevante com esta grande evolução do setor elétrico é a grande demanda por telecomunicações, desta forma, não somente as empresas de energia, mas também as operadoras de telecomunicações terão que investir em seus sistemas para prover capacidade de absorver toda a informação que será gerada pelos diversos dispositivos espalhados ao longo da rede.

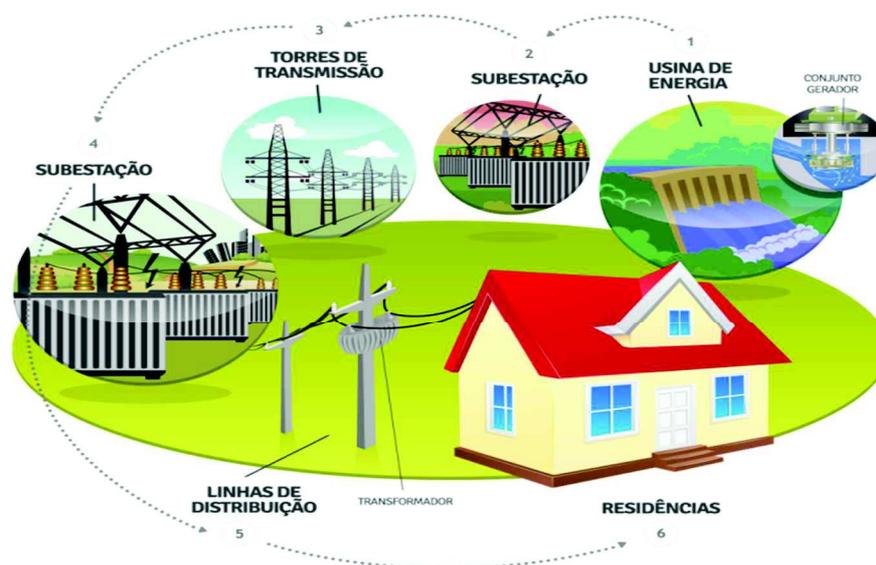
2. O SISTEMA ELÉTRICO

O SIN (Sistema Interligado Nacional) é composto pelas usinas de geração de energia espalhadas pelo país, pelo sistema de transmissão e pelas redes de distribuição [5].

As usinas geradoras cumprem a função de produzir a energia elétrica, podendo a mesma energia ser produzida através de fontes renováveis, baseadas em combustíveis fósseis e em tecnologia nuclear. O sistema de transmissão é responsável por transportar a energia produzida nas usinas até os grandes centros consumidores (cidades e indústrias). Já o sistema de distribuição se encarrega de disponibilizar a energia aos consumidores finais, sejam estes residenciais, comerciais ou industriais [6].

O modelo de sistemas de energia elétrica tradicional mundialmente empregado na Geração, Transmissão e Distribuição vem sofrendo sensíveis modificações a partir da implantação dos sistemas de supervisão, controle e automação desde a década de 1980 [1]. A Figura 1 apresenta o modelo convencional da infraestrutura elétrica utilizada no Brasil.

Figura 1 – Modelo Convencional da Infraestrutura Elétrica Utilizada no Brasil



Fonte: Energisa, 2016.

As redes de distribuição de energia elétrica são compostas por circuitos de Média e Baixa Tensão, conhecidas, respectivamente, por redes de distribuição primárias e redes de distribuição secundárias. As redes de Média Tensão operam com classes de tensão de 15 kV, 23 kV ou 34,5 kV. Dentro dessas classes de tensão, tem-se os valores nominais de 11,9kV, 13,8 kV e 34,5 kV como níveis de tensão aderentes à legislação vigente e em uso pelas distribuidoras de energia. Na Baixa Tensão, ou redes de distribuição secundárias, onde encontram-se ligados os consumidores residenciais, comerciais, repartições públicas, iluminação pública, etc., os níveis de tensão entregues pelas concessionárias são de 220V/127V e 380V/220V [3]. Há, ainda, uma categoria de fornecimento para atendimento a clientes, que devido ao elevado consumo, necessitam receber tensão da rede em valores superiores a 1 kV, onde é necessário o uso de transformadores individuais.

A crescente demanda por energia elétrica motivada, principalmente, pelo desenvolvimento econômico e também pelo crescimento populacional mundial, tem provocado mudanças na infraestrutura elétrica. Estas modificações se refletem nas empresas de distribuição de energia elétrica, que são, cada vez mais motivadas pelo conceito de *SmartGrids* (Redes Inteligentes), a inserirem Tecnologia da

Informação e Comunicação (TICs) em suas redes de distribuição. A inserção dessas TICs tem como objetivo tornar os sistemas de distribuição de energia mais eficientes e mais sustentáveis e, assim, prover energia confiável e de qualidade a seus consumidores [2].

As redes inteligentes intensificam a possibilidade do emprego de um sistema de geração de energia distribuída, permitindo o fluxo de energia bidirecional e, portanto, quebrando um forte paradigma do setor energético, e propiciando ainda, o gerenciamento da demanda por parte das concessionárias de energia elétrica, através de ações de incentivo para influenciar os consumidores ao consumo inteligente e por sua vez promovendo mudanças desejadas na curva de carga da energia elétrica [2].

No Brasil, o assunto *Smart Grid*, vem sendo amplamente discutido pelo governo através de seus ministérios, pela ANEEL, pelas empresas de energia e também pelas diversas entidades ligadas ao setor e ao tema. Alguns Projetos de Lei (PL) e Projetos de Lei do Senado (PLS) como os: PLS 608/2011; PLS 84/2012; e PL 3337/2012, aguardam aprovação e, caso esta venha a ser obtida, esses projetos podem ser convertidos em lei e, conseqüentemente, as redes inteligentes deverão, por obrigatoriedade, ser aplicadas em grande escala [7].

Caso a obrigatoriedade da implantação de redes inteligentes não venha por meio de aprovação de uma lei, poderá ainda vir por determinação governamental [8,9]. É nesse contexto que Lamin (2013), destaca a importância de se fazer uma análise do impacto regulatório com o objetivo de subsidiar decisões sobre o nível de intervenção de uma política pública ou dos órgãos regulamentadores sobre a implantação das redes inteligentes, considerando que, muitas vezes, estes não detêm o conhecimento necessário para tomar tais decisões. Desta forma, os órgãos regulamentadores devem conhecer as evidências e os dados existentes sob posse dos agentes regulados para se maximizar os benefícios a sociedade brasileira provenientes da implantação das redes inteligentes [8,9].

2.1. Smart Grids

O surgimento de novas tecnologias deve ser o principal elemento impulsionador para a constituição das redes inteligentes (*Smart Grids*). Analogamente ao ocorrido no setor das telecomunicações, as alterações que estão por vir no setor elétrico devem influenciar diretamente a sociedade, modificando seus hábitos e comportamentos [4].

O conceito de *Smart Grids* (SG) refere-se à forma de operar o sistema elétrico de energia utilizando-se de sistemas de tecnologia da informação e comunicação, adicionando mais inteligência e permitindo um melhor gerenciamento da rede elétrica. Desta forma o conceito de SG é bastante amplo e não está somente relacionado ao desenvolvimento de medidores inteligentes ou automação residencial. Há muito mais a considerar, como por exemplo, a redução dos picos de consumo de energia, a redução de desperdício de energia, a prevenção de interrupções no fornecimento de energia ou de *blackouts* provocados por distúrbios elétricos, o aumento da confiabilidade da rede e novos conceitos como *Time of Use* (ToU), *Real-Time Pricing* (RTP), Geração Distribuída, Gerenciamento da Demanda (DM - *Demand Management*), etc.[10].

Em termos gerais, são três os principais pilares do conceito de SG: Inteligência Distribuída (*DI – Distributed Intelligence*), Tecnologia da Informação e Comunicação e Sistemas de Controle e Automação [2]. O conceito de *Smart Grids*, é uma nova ideia para as redes elétricas, tornando-as interativas e totalmente integradas de forma a aumentar sua eficiência e confiabilidade, proporcionando maior conforto aos usuários.

Não restam dúvidas de que o desenvolvimento de tecnologias para gerenciamento das redes de distribuição, é um importante direcionador para a evolução dessas redes. Nesse sentido, tem-se um grande desafio que é o de permitir que a operação do sistema suporte a introdução de micro geradores autônomos, fontes de geração distribuída e o novo perfil de consumo inteligente dos consumidores. Desta forma, é extremamente importante que novos sistemas de Gerenciamento do Sistema de Distribuição (DMS – *Distribution Management System*) sejam desenvolvidos, sendo que o ponto inicial para esta evolução deve ser uma reformulação dos Sistemas de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados (SCADA – *Supervisory Control and Data Acquisition*) [2].

Um das grandes oportunidades oferecidas pelas Redes Inteligentes (RI), é permitir que o sistema elétrico seja dividido em pequenas células, conhecidas como *microgrids*. Uma *microgrid* é composta por células de geração distribuída de energia elétrica, que podem operar em paralelo com a rede ou até mesmo de forma isolada. Essas unidades geradoras distribuídas podem, através dos sistemas avançados de TIC e automação, ser conectadas ou desconectadas à rede de distribuição [11].

As unidades de geração distribuída (micro geração), são fontes de energia importantes, principalmente, para se levar energia às comunidades das regiões mais afastadas e também para otimizar o uso da infraestrutura existente, através da alteração da curva de carga e redução do pico de demanda, uma vez que estas unidades de micro geração podem ser conectadas ou desconectadas da rede de forma intencional para manter a performance do sistema elétrico nos horários de pico. Como essas fontes de geração operam em forma de cluster e podem ser gerenciadas à distância, elas proporcionam maior confiabilidade ao sistema de distribuição, podendo assim evitar faltas de energia e até mesmo colapsos de sobrecarga do sistema [12].

A medição do consumo de energia, através da utilização de medidores inteligentes tem ocupado um cenário de grande destaque dentro das aplicações e desenvolvimento relacionados ao conceito de SG [2], acrescentando novas funcionalidades aos antigos medidores eletromecânicos. Dentro desta vertente, tem-se dois conceitos associados ao desenvolvimento de medidores inteligentes:

- *AMR (Automated Meter Reading)*: sistema de medidores inteligentes que, integrado a um sistema de processamento de dados, transfere, de forma automatizada, os dados de medição armazenados pelos medidores eletrônicos. Desta forma, elimina-se a necessidade de intervenção humana para a coleta da leitura de medição.
- *AMI (Advanced Metering Infrastructure)*: pode-se considerar um avanço do AMR pois, além de fornecer os dados de medição, este sistema também é capaz de fazer a análise da demanda. Este sistema requer processamento de dados mais elaborados, pois tem a capacidade de atuar nos dispositivos

das instalações dos consumidores, permitindo planejar o seu consumo mensal.

A Figura 2, permite visualizar a integração e o alto nível de comunicação necessário para conexão dos elementos que podem constituir as redes elétricas do futuro. Manter a integração entre todos estes elementos exigirá elevado grau de investimento em pesquisas em tecnologia de *hardware*, *software* e comunicação. As redes elétricas mais inteligentes possuirão tecnologias avançadas, sendo capazes, por exemplo, de otimizar a integração da geração de energia proveniente de unidades geradoras de fonte renovável, reduzindo, assim, as emissões de carbono das fontes mais poluentes [13, 14].

Figura 2 – Representação de um Sistema de Smart Grid.



Fonte: whatgreenhome, 2016.

No contexto de SG, os consumidores estão interessados em obter informações em tempo real referentes ao seu consumo de energia, de forma a permitir que possam programar-se, evitando, assim, os horários de pico, onde a energia elétrica torna-se mais cara.

Pode-se, ainda, citar como outros benefícios da implantação do conceito de *Smart Grids*, o fornecimento de energia com melhor qualidade, redução de interrupções, auto reconfiguração da rede, redução do desperdício de energia elétrica, aumento

da confiabilidade da rede de distribuição, maior interação e compatibilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes, dentre muitos outros.

Apesar do setor energético estar passando por todo este processo de reestruturação, com uma forte mudança de paradigmas, pela introdução de tecnologias para supervisão e controle da rede e pela introdução de novas fontes de energia, como eólica, solar, biomassa, etc., o setor elétrico ainda não conseguiu tornar aparente as vantagens de segurança do sistema, pois ainda são registrados apagões ou blecautes em todo o mundo, mesmo nos países mais desenvolvidos, evidenciando que o sistema atual ainda é muito vulnerável a esse tipo de falha [15].

O tema *Smart Grids* tem, atualmente, grande relevância em todo o mundo e tem demandado muito investimento não somente das empresas do setor energético, mas também por parte das parceiras de pesquisa e desenvolvimento como empresas, governo e instituições educacionais. Apesar de todo o trabalho desenvolvido em vários países [16, 17, 18], ainda será necessário desenvolver soluções para atendimento das necessidades internas do mercado nacional, e não depender apenas da adaptação de equipamentos e/ou soluções que venham de fora do país.

Outro aspecto muito relevante com esta evolução do setor elétrico é a grande demanda por serviços de telecomunicações. Desta forma, não somente as empresas de energia, mas também as operadoras de telecomunicações terão que investir em seus sistemas para prover capacidade e absorver toda a informação que será gerada pelos diversos dispositivos inteligentes espalhados ao longo da rede. Nesse sentido, os serviços de telecomunicações serão essenciais para o sucesso da implantação das redes inteligentes. Contudo, há muitas discussões entre os especialistas e nenhuma definição sobre qual seria o meio de comunicação ideal para se obter comunicação bidirecional de forma segura e eficiente ao longo de toda a rede. É possível tanto o emprego de PLC (*Power Line Communications*) quanto a utilização de redes Wi-Fi (*Wireless Fidelity*), por exemplo. Outro ponto, ainda em aberto, é quanto à utilização de um protocolo de comunicação padrão, uma vez que as implementações ainda tendem a utilizar protocolos fechados ou proprietários [19].

Uma infraestrutura de telecomunicações robusta é essencial para o desenvolvimento de aplicações em *Smart Grids*, sendo que estas redes serão responsáveis por conectar todos os dispositivos inteligentes, pela transmissão dos dados adquiridos, pela interação com os sistemas de monitoramento e gerenciamento da rede e com centros de controle em tempo real. As soluções de comunicação *Wireless* têm um elevado potencial de aplicabilidade para *Smart Grids*, sendo a escalabilidade da rede, facilidade de implementação, alcance e baixo custo as principais vantagens em comparação às redes cabeadas, por exemplo [20].

Por sua vez, as principais preocupações associadas com a aplicação de sistemas baseados em radiofrequência (*wireless*) para prover comunicação nas *Smart Grids* são as interferências eletromagnéticas, a segurança da informação e a regulamentação do setor [19].

Há disponível muitas tecnologias e soluções para aplicações *Smart Grid*, porém a falta de padronização é um grande problema para que haja interoperabilidade entre os dispositivos inteligentes e sistemas. Tornar as soluções para *Smart Grids* integráveis é essencial para, de fato, tornar os sistemas inteligentes que irão integrar a geração, a transmissão e a distribuição de energia. Há grandes esforços para definir a padronização das *Smart Grids*, destacando-se as entidades como IEEE, ANSI, ISSO, 3GPP, ITU, entre outras [1].

2.2. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

É atribuição da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) regular e fiscalizar a indústria da energia elétrica no Brasil, abrangendo a geração, transmissão, distribuição e comercialização da energia [21]. A principal função de uma agência reguladora é garantir que através de seus regulamentos e fiscalizações, os consumidores recebam das concessionárias, energia de qualidade e também que as tarifas praticadas sejam justas.

Os parâmetros associados à qualidade da energia elétrica (QEE) estão definidos no Módulo 8 do PRODIST – Procedimentos da Distribuição da ANEEL-Brasil [3]. Desta forma, todas as concessionárias de energia estão obrigadas a gerenciar seus indicadores relacionados, de forma a permitir o monitoramento da qualidade da energia elétrica, ao longo da rede de distribuição e até mesmo nos pontos de entrega às unidades consumidoras [22].

Três conceitos estão associados à qualidade do fornecimento de energia, sendo eles:

- **Qualidade do Atendimento:** trata das questões relacionadas ao atendimento comercial entre a empresa e o cliente, como, por exemplo, o atendimento à reclamação dos consumidores;
- **Qualidade do Serviço:** trata das questões relacionadas à continuidade do fornecimento, lidando com indicadores de continuidade do serviço de distribuição de energia;
- **Qualidade do Produto:** trata das questões relacionadas aos critérios de amostragem e valores de referência da tensão de fornecimento contratada.

Quanto aos aspectos considerados que fazem parte do conceito de Qualidade do Produto em regime permanente ou transitório, estão:

- tensão em regime permanente;
- fator de potência;
- harmônicos;
- desequilíbrio de tensão;
- flutuação de tensão;
- variações de tensão de curta duração (VTCDs); e
- variação de frequência.

Com base no objetivo deste trabalho, serão tratados apenas os aspectos relacionados à variação de tensão de curta duração.

As VTCDs podem ser classificadas de diferentes formas. Em relação à variação da magnitude da tensão nominal, podem ser definidas como afundamento, elevação ou interrupção. Esta classificação é apresentada a seguir na tabela 1. Já em relação

à duração do fenômeno, elas podem ser classificadas como instantânea, momentânea ou temporária [21].

Tabela 1 - Classificação das Variações de Tensão de Curta Duração.

Classificação	Denominação	Duração	Amplitude da tensão (valor eficaz) em relação à tensão de referência
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 0,1p.u. 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 Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Temporário 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 Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior a 1,1 p.u

Fonte: PRODIST Módulo 8 - Analog Devices, 2016.

Tabela 2 – Terminologia.

Identificação do Distúrbio	Sigla
Varição de Tensão de Curta Duração	VTCD
Interrupção Momentânea de Tensão	IMT
Afundamento Momentâneo de Tensão	AMT
Elevação Momentânea de Tensão	EMT
Interrupção Temporária de Tensão	ITT
Afundamento Temporário de Tensão	ATT
Elevação Temporária de Tensão	ETT

Fonte: PRODIST Módulo 8 Analog Devices, 2016.

Tratando-se da qualidade do fornecimento de energia, dentre todos os distúrbios que afetam as redes de distribuição, as variações de tensão representam o conjunto de maior gravidade, principalmente em relação aos equipamentos elétricos e eletrônicos conectados à rede elétrica [22].

2.3. Distúrbios Elétricos

Os sistemas de distribuição de energia são vulneráveis a falhas operacionais, sejam elas causadas por falhas de equipamentos e componentes da rede ou por fenômenos naturais. O fato é que estes eventos podem causar interrupções no fornecimento de energia e podem também afetar a qualidade da energia entregue aos consumidores.

Os distúrbios de tensão caracterizam-se por anomalias no nível da tensão nominal, que deve ser entregue às unidades consumidoras. Normalmente, estes distúrbios causam variações de curta duração nos valores nominais da tensão [22].

Já o conceito de Qualidade de Energia, de acordo com o IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers), está relacionado à alimentação e ao aterramento de

sistemas elétricos de modo a manter a integridade da energia fornecida para o funcionamento adequado dos equipamentos eletroeletrônicos [23].

Para uma operação em condições ideais, um sistema de distribuição de energia elétrica deve satisfazer as condições apresentadas a seguir [24]:

- tensões e correntes alternadas, com formas senoidais;
- amplitudes constantes, nos valores nominais;
- frequência constante, no valor síncrono;
- tensões trifásicas equilibradas;
- fator de potência unitário nas cargas;
- perdas mínimas na transmissão e distribuição.

Tendo como referências as condições apresentadas anteriormente, pode-se afirmar que um fornecimento adequado de energia está diretamente relacionado à forma de onda de tensão, uma vez que esta deve ser senoidal, com magnitude e frequência constantes.

Satisfazer essas condições para se ter um fornecimento de energia adequado é praticamente impossível nos sistemas reais, pois as redes elétricas estão expostas, o que as torna susceptíveis a falhas ou perturbações que, de alguma forma, podem degradar a sua condição ideal de funcionamento. Neste sentido, pode-se atribuir, em grande parte, aos dispositivos de controle, automação e sistemas de supervisão a responsabilidade de garantir a redução das falhas do sistema elétrico, na tentativa de assegurar condições ideais de fornecimento de energia [24].

Os critérios de avaliação da qualidade do fornecimento de energia consideram [21]:

- a) a continuidade do fornecimento, quantificada através da duração e da frequência das interrupções do fornecimento de energia (índices DEC - Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora e FEC - Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora);
- b) o nível de tensão adequado, obtido através do controle dos limites mínimos e máximos de tensão dos consumidores, bem como de índice que avalie a frequência de violação dos mesmos limites para as unidades consumidoras;

- c) a distorção da forma de onda através da avaliação da presença de frequências harmônicas e de inter-harmônicas;
- d) a regulação da tensão em torno dos valores nominais, mesmo com cargas variáveis, quantificando a amplitude e frequência das flutuações de tensão;
- e) a frequência nominal da rede, que atualmente é estabelecida através do balanço de energia entre geração e carga;
- f) o fator de potência, cujo valor mínimo atual (0.92) é regulamentado através de legislação específica [25];
- g) o desequilíbrio entre fases, dado como valor percentual dos componentes de sequência negativa, medidos em relação à sequência positiva.

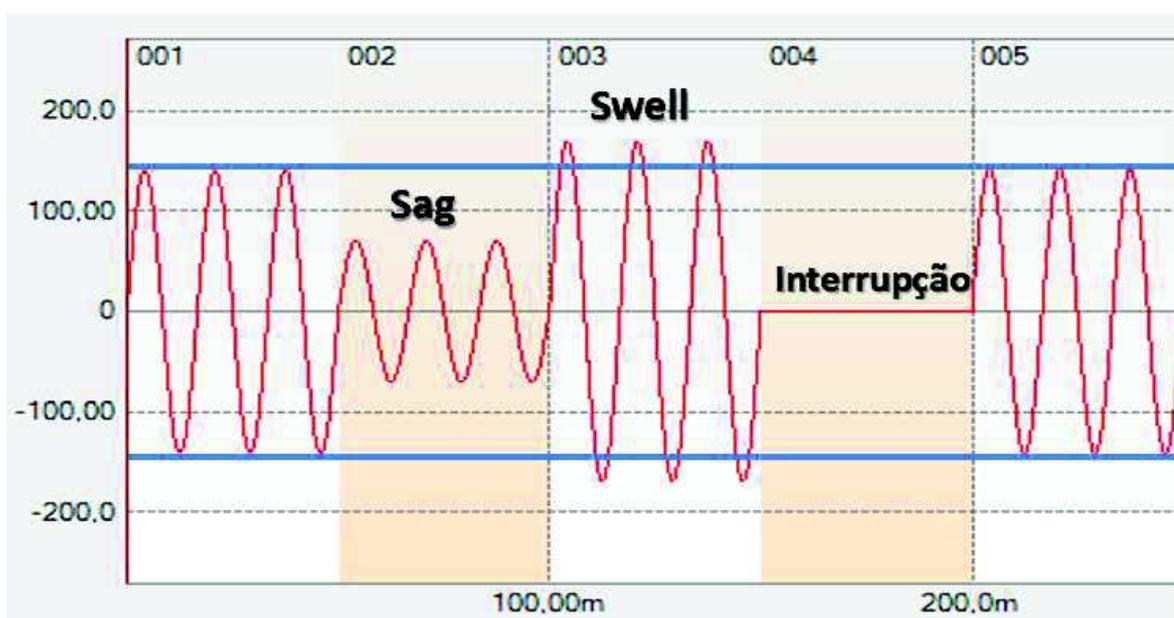
Distúrbios elétricos são basicamente identificados por alterações ou deformações na forma de onda em comparação com a curva nominal do fornecimento de energia. Este trabalho foca em identificar os desequilíbrios de tensão de “*afundamento de tensão*” (*voltage sag*) e “*elevação de tensão*” (*voltage swell*).

Os eventos de *sag* são caracterizados pela diminuição do valor *rms* (*root mean square*) de tensão com relação ao valor nominal por um curto período de tempo. A figura 4 apresenta a forma de onda de um evento de *sag*. Pode-se citar como um exemplo de causa deste tipo de distúrbio, uma conexão inadequada entre o padrão de entrada da unidade consumidora e a rede elétrica da distribuidora. Outro exemplo de causa deste tipo de distúrbio corresponde à inserção de cargas não lineares, que por sua vez, prejudicam não somente o consumidor responsável pelo distúrbio, mas também a outros consumidores conectados à mesma rede elétrica, essas cargas também são conhecidas como cargas perturbadoras. Normalmente esses tipos de cargas não são declaradas pelos consumidores, é comum que as redes elétricas não estejam preparadas para receber esse tipo de carga. Ao serem ligadas elas provocam uma queda de tensão, causando o desequilíbrio entre as fases provocado pelo consumo desequilibrado de corrente.

Já os eventos de *swell* são caracterizados pela elevação do valor de tensão *rms* com relação ao valor nominal por um curto período de tempo. Um evento de *swell* é apresentado na figura 3. Um evento deste tipo pode ser gerado por uma falta fase-terra, que provoca a circulação de correntes desequilibradas nos circuitos causando curto-circuito. Outro tipo de evento que pode causar o *swell* é a

energização de um grande banco de capacitores. Em indústrias, é comum a instalação de bancos de capacitores para corrigir o fator de potência. Contudo, quando os motores industriais são desligados, a compensação capacitiva deste banco irá causar uma elevação da tensão na entrada de energia desse consumidor.

Figura 3 – Variações de Tensão



2.4. O Problema da Qualidade de Energia

No cenário mundial, o tema qualidade de energia elétrica (QEE), sempre foi de interesse das empresas do setor elétrico. No cenário brasileiro, este assunto passou a ter mais destaque e mais atenção por parte das concessionárias de energia elétrica, principalmente devido às regras e normas impostas pela ANEEL e também por algumas entidades estaduais, como é o caso da ARSESP (Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo). O desempenho das concessionárias ou a “qualidade do setor elétrico”, de acordo com [26], está estreitamente vinculado à qualidade da energia fornecida por elas a seus consumidores.

Parte da preocupação com a QEE é decorrente da reestruturação pela qual o setor elétrico tem passado, acrescida, ainda, pelo maior interesse dos consumidores em receber um produto de melhor qualidade nas suas unidades consumidoras, ou seja, sofrendo menos interrupções e falhas de fornecimento. As distribuidoras são obrigadas (pela ANEEL) a disponibilizar as informações de operação e fornecer os índices que afetaram os seus consumidores. Faz-se necessária, então, a presença de sistemas de monitoramento e de atuadores que possam auxiliar e ajudar a melhorar os índices e a qualidade do produto [4].

Diante de um sistema elétrico próximo de seus limites operacionais, as empresas de distribuição de energia elétrica estão sofrendo com as constantes reclamações por parte de seus consumidores devido à má qualidade da energia entregue em suas residências, comércios ou indústrias, sendo que essas reclamações são fortemente motivadas pelas interrupções e quedas de energia. As agências reguladoras também têm sido rígidas e severas, aplicando rigorosas punições a estas empresas, objetivando que invistam na modernização da rede elétrica. Clientes industriais têm seus faturamentos diretamente impactados, pois a falta de uma energia de qualidade pode ocasionar a paralização em suas linhas de produção, já que seus maquinários são automatizados e equipados com circuitos eletrônicos sensíveis. Outro aspecto que deve ser considerado é que, devido aos complexos processos de uma linha de produção, muitas vezes, para reiniciar a cadeia produtiva pode-se levar horas, ocasionando assim, prejuízos com impactos econômicos relevantes [4].

Não é fácil definir o que é uma “boa qualidade de energia”, uma vez que os diversos equipamentos elétricos e eletroeletrônicos possuem características diferentes. Isso significa que a energia que é boa para alimentar um motor de uma geladeira, por exemplo, pode não ser boa o suficiente para um microcomputador ou qualquer outro tipo de carga sensível. Uma falha de curta duração pode não ser visivelmente prejudicial a um motor ou a uma lâmpada, mas pode ser extremamente danosa a equipamentos como computadores e gravadores digitais de vídeo.

Muitos governos através de suas agências regulamentadoras, estão revisando suas leis, porém a desregulamentação do setor ainda é uma grande barreira a ser ultrapassada. As agências regulamentadoras, para garantir a qualidade do

fornecimento de energia e evitar o sucateamento das redes de distribuição, terão que, além de analisar, os atuais índices impostos para garantir a confiabilidade, incentivar e remunerar melhorias nas empresas de transmissão e distribuição de energia que impactem em melhorias na QEE [27].

Neste sentido, este trabalho visa propor o desenvolvimento de um dispositivo para detecção de variação de tensão, atribuindo uma maior inteligência as redes de distribuição e conseqüente melhoria da qualidade do fornecimento de energia.

2.5. Redes de Sensores

Os problemas relacionados a QEE, como por exemplo as VTCDs, podem ser monitorados a partir da implantação de sensores na rede elétrica. A implantação destes dispositivos permitirá um monitoramento mais eficiente das redes elétricas, ainda muito pouco assistidas por dispositivos deste tipo.

A evolução das comunicações sem fio, tudo isso associada ao baixo custo de desenvolvimento e ao baixo consumo de energia, fizeram com que as WSN (*Wireless Sensor Networks*) fossem amplamente utilizadas nas mais diversas aplicações [28].

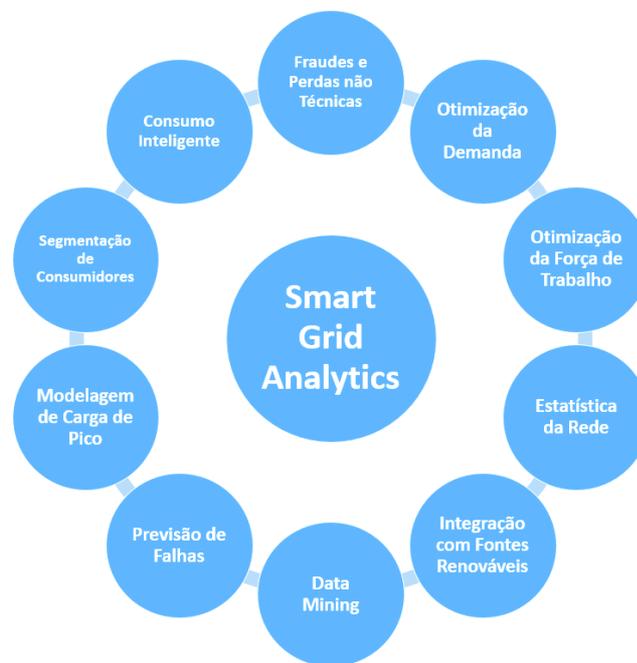
Normalmente, as Redes de Sensores sem Fio (RSSF) são constituídas de diversos nós sensores espalhados pelo ambiente que se deseja monitorar, afim de permitir uma monitoração confiável e eficiente, disponibilizando informações íntegras de forma que uma ação possa ser tomada de forma assertiva [28]. Normalmente, os nós sensores não enviam dados brutos, usualmente é aproveitada a sua própria capacidade computacional para realizar um tratamento dos dados observados e/ou coletados.

A aplicação de sensores, que também podem ser chamados de Dispositivos Eletrônicos Inteligentes – IEDs (*Intelligent Electronic Devices*), permiti a coleta de dados para análises e estudos futuros. Uma das preocupações atuais está relacionada com as perdas do sistema elétrico provocadas por causas diversas,

como a inserção de cargas não declaradas pelos consumidores ou até mesmo por fadiga dos componentes elétricos da rede de distribuição.

O processo de inserir sensores e dispositivos inteligentes, certamente, irá fornecer uma grande quantidade de informações sobre padrões de consumo e eficiência operacional. A Figura 4, ilustra alguns dos processos que podem ser melhorados ou introduzidos com a ampla utilização de objetos inteligentes na rede elétrica.

Figura 4 – Inteligencia Analítica para Smart Grid



2.6. Redes IEEE 802.11

As redes wireless, terão uma importante participação na implantação do monitoramento da rede elétrica utilizando-se sensores, através delas será possível acessar esses sensores. A utilização deste tipo de comunicação permite uma fácil integração aos centros de supervisão e controle devido a sua fácil implementação. A comunicação, ao lado de monitoramento/sensoriamento e controle, compõe os blocos responsáveis por transformar as redes elétricas atuais nas futuras redes inteligentes.

O IEEE (*Institute of Electrical and Eletronics Engineers*) é responsável pela criação do padrão de comunicação sem fio IEEE 802. Este padrão, basicamente, define a arquitetura das WLANs (*Wireless Local Area Networks*), o controle de acesso ao meio, taxas de transmissão, privacidade, métodos de transmissão, e outros aspectos de transferência de dados sem fio, permitindo a interoperabilidade entre os diversos produtos WLAN.

As soluções sem fio, tem tido enorme aceitação dentro das aplicações de *smart grids* e, neste trabalho, utilizou-se um roteador wireless 802.11n, como método de acesso ao sensor de detecção de VTCD.

A coleta de dados em tempo real é extremamente importante para o conceito de *smart grids*, neste âmbito, soluções de comunicação wireless são extremamente importante, este tipo de solução oferece rápida instalação e não depende de cabeamento, permitindo que sejam utilizadas em áreas remotas, pobres em infraestrutura de redes de telecomunicações, como áreas rurais e regiões montanhosas.

As soluções *wireless* oferecem grande flexibilidade, contudo, nem sempre será a melhor solução a ser adotada, assim, deve ser escolhido o método mais adequado para cada ambiente. Ao mesmo tempo, não há uma forma única de comunicação que seja capaz de atender todos os sensores e consumidores, assim, os diversos métodos de comunicação devem ser aplicados, *power line*, fibra ótica, par metálico e soluções de rádio frequência [29].

Apesar das facilidades encontradas em se implantar uma rede wireless, essas redes são heterogêneas, ou seja, existem inúmeras tecnologias sem fio sendo empregas simultaneamente para prover soluções aplicadas *smart grids*. Um exemplo disso, são os medidores de energia, onde estes trocam dados com os equipamentos do consumidor através de *Zigbee* e se conectam ao Sistema de Medição através de *WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access)*. Outros aspectos também são discutidos como Segurança, Interoperabilidade e Capacidade, Qualidade do Serviço (QoS – *Quality of Sevice*) e Controle e Gerenciamento das Comunicações Sem Fios, desta forma, as redes sem fio apesar

da ampla aceitação, ainda irão demandar um grande esforço por parte dos pesquisadores [30].

As soluções 802.11, para alguns pesquisadores, apresenta-se ainda como a melhor alternativa para comunicações *wireless* aplicadas a *smart grids*, oferecendo maior largura de banda, maior cobertura de sinal, fácil expansão, boa relação custo benefício, maior robustez e segurança, além do nível de maturidade da tecnologia [31].

2.7. Internet das Coisas

A Internet das Coisas (*IoT - Internet of Things*) fundamenta-se no conceito de que toda coisa física que possa portar pequenos computadores, pode tornar-se algo conectado à Internet, e esses dispositivos são chamados de *smart things*.

A *IoT* tem aberto a possibilidade para aplicações diversas, uma vez que este objeto, pode ser, por exemplo, um sensor, que ligado a uma rede, pode, de forma autônoma, capturar e transmitir dados à uma central de processamento de dados e é neste contexto que o sensor desenvolvido neste trabalho pode vir a contribuir para uma melhora dos serviços prestados pelas distribuidoras de energia elétrica, pois permitirá um maior controle e também uma melhor confiabilidade.

A tendência é que a informação possa ser acessada de qualquer local, independentemente de sua localização geográfica, desta forma a internet torna-se uma importante ferramenta para se obter informação em tempo real.

O uso de informação do mundo real em sistemas de informação pode ser bastante benéfico para as mais variadas áreas, e em 2005, a *ITU (International Telecommunication Union)* avançou nas pesquisas sobre o conceito *IoT* e apresentou em seu relatório um *blueprint* para a era da internet das coisas. Um dos resultados esperados no futuro, com a padronização de protocolos, é construir uma super rede global, incluindo todas as coisas que podem provocar mudanças em todo o mundo [32].

Desde 2006, a IBM tem desenvolvido diversos trabalhos, juntamente com órgãos regulamentadores do setor elétrico e diversas empresas de energia, buscando desenvolver um “*sistema nervoso central*” para controle do sistema elétrico. Esse sistema inclui o uso de sensores, medidores inteligentes, controles digitais e ferramentas de análises [30].

A associação, IoT e SG, deu início à um novo conceito de inteligência para o sistema elétrico, este novo conceito promoverá melhorias significantes no processo de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, reduzindo impactos ambientais, aumento da segurança e da confiabilidade das fontes geradoras de eletricidade.

A IoT voltada para a aplicação de *smart grids*, está dividida dentro das aplicações de geração inteligente de energia (*smart power generation*), transmissão inteligente e subestações (*intelligent transmission and substation*) e uso inteligente de energia (*inteligente power use*), não restam dúvidas de que o desenvolvimento de aplicações para smart grid promoverá a otimização e melhorará a performance da rede, prevenindo falhas e permitindo restabelecimentos mais rápidos, e a chave primordial para isso é a coleta de dados, por esse motivo dá-se a importância de desenvolver soluções de IoT e SG [33].

O sucesso de qualquer projeto de *smart grid*, está diretamente associado a capacidade de escoar grande volume de dados, os sistemas dotados desta capacidade, que permitam o rápido acesso a informação por parte dos sistemas analíticos, possibilitarão as redes de distribuição tornarem-se, preditivas, responsiva, ágeis e autoconfiguráveis, trazendo, assim, o retorno do investimento feito.

3. DESENVOLVIMENTO DO SENSOR DE DISTÚRBIOS

Nesta seção, objetiva-se apresentar os requerimentos necessários para a elaboração do sensor. Além disso, descreve-se o desenvolvimento do *hardware*, as características de funcionamento, as interligações e a apresentação do diagrama de blocos de modo a dar uma visão macro do processo de detecção dos eventos de VTCD.

3.1. Requisitos para Desenvolvimento do Sensor

O sensor desenvolvido neste trabalho, além de ter como premissa o baixo custo de construção, tem, ainda como características desejáveis a precisão das medições e também o respeito aos requisitos descritos no PRODIST de que possa se comunicar através de uma interface de comunicação *Wi-Fi* para envio das medições e registros dos eventos de VTCD, de forma a permitir que as informações das leituras sejam disponibilizadas de forma a serem visualizadas em uma interface *Web*.

Durante o desenvolvimento deste projeto, avaliou-se a possibilidade de construção de um medidor próprio, contudo, após análise construtiva e funcional, optou-se pela utilização de um *CI* (circuito integrado), com a capacidade de concentrar em um único dispositivo, tecnologia *onchip*. Desta forma, optou-se pelo uso do Medidor de Energia ADE7753 [34].

Em aplicações remotas para monitoramento da qualidade da energia, não se deve perder muito tempo para se fazer a transmissão de dados. Então, a tecnologia adotada não deve interferir de forma a comprometer o funcionamento do sensor. Desta forma, está claro que a transmissão de dados crus, mesmo que se utilizando de técnicas avançadas de compressão poderia ainda comprometer o funcionamento do sistema, então, o tratamento dos dados crus deve ocorrer localmente no próprio sensor e somente os dados de interesse são transmitidos através da rede.

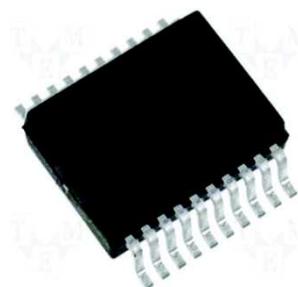
3.2. Medidor de Energia ADE7753

O sensor construído foi baseado em um circuito medidor de energia da *Analog Devices* [34], ADE7753, sendo este o elemento que recebe a informação adquirida pela entrada analógica de 16 bits. Os dados coletados pelo circuito integrado são armazenados em registradores internos e o acesso a esses dados e também a configuração do *CI* é feita através de uma porta de comunicação *SPI* (*Serial Peripheral Interface*).

O *CI* ADE7753 corresponde a um medidor monofásico de energia produzido pela empresa *Analog Devices* e é caracterizado por apresentar um baixo custo e baixo consumo de energia. Este *CI* possui dois *ADCs* (*Analog-to-digital converters*) de 16 bits, um integrador digital, circuitos de referência, sensor de temperatura, e todo o processamento de sinal necessário para calcular a frequência da rede e o valor da tensão eficaz. Este *CI* pode, ainda, calcular o valor da corrente eficaz, potência ativa, reativa e aparente.

A tensão de alimentação do *CI* medidor de energia ADE7753 é de 5V DC. Este dispositivo recebe na entrada da porta ADC um sinal elétrico com valor máximo de amplitude de $\pm 0,5V$, sendo que este possui um amplificador de ganho programável, onde são admitidos os seguintes valores de ganho: 1, 2, 4, 8 e 16. Os dados coletados pela entrada analógica são armazenados em registradores, estes registradores são acessados através da interface de comunicação serial SPI. A Figura 5 apresenta o *CI* ADE7753.

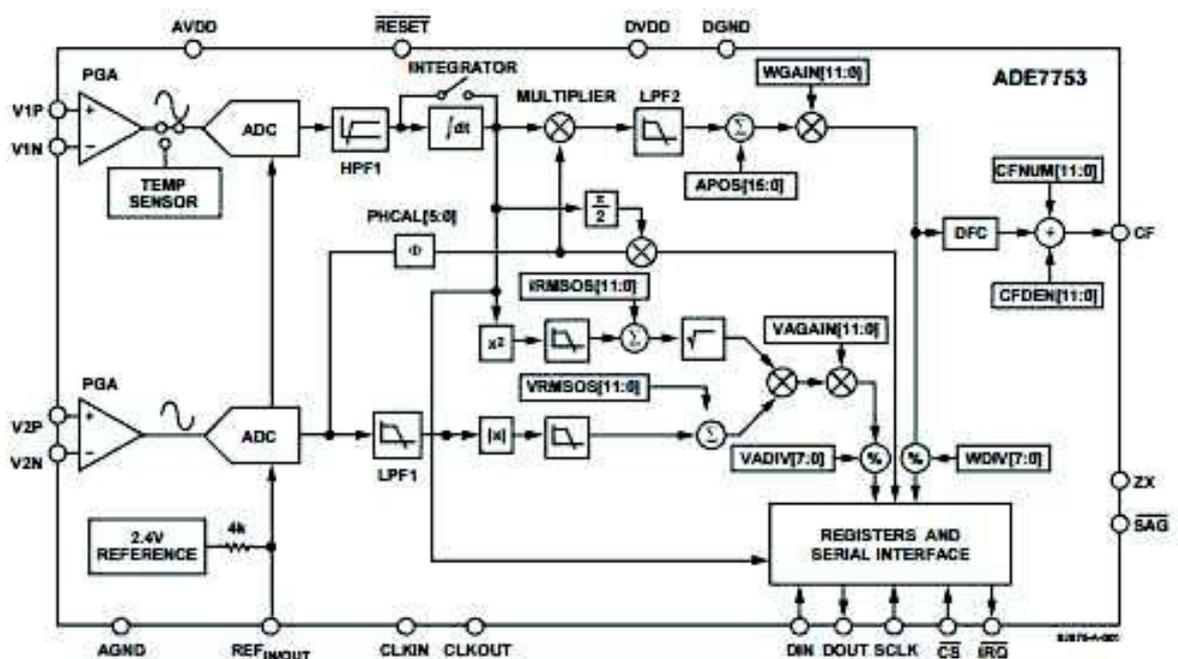
Figura 5– Circuito Integrado ADE7753



Fonte: Analog Devices, 2016.

A interface serial do CI ADE7753 além de ser utilizada para a troca de informação que pode ser usada para leitura dos registros, ou para fins de calibração. A calibração do sistema de medição de energia permite correções no *offset* do canal de leitura analógica do medidor, o que assegura alta precisão nos resultados. Por fim, este é capaz de detectar variações na tensão, *sags* (afundamentos de tensão) e *swells* (elevação da tensão) e, ainda, contabilizar o tempo de duração de falhas no fornecimento de energia. A Figura 6, representa o diagrama de blocos do circuito integrado ADE7753.

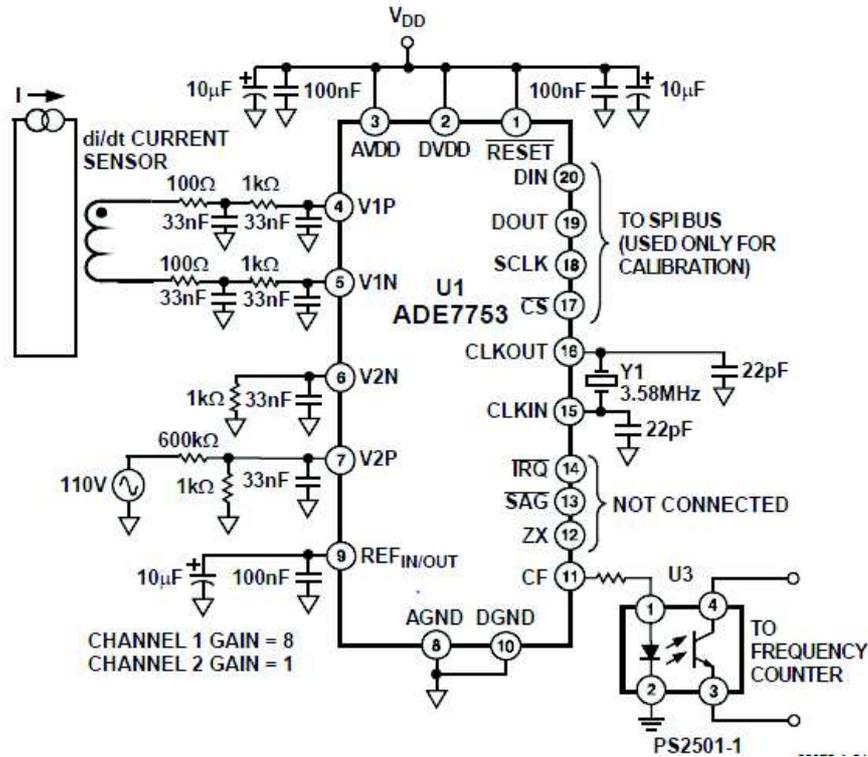
Figura 6 – Diagrama de Bloco do CI ADE7753



Fonte: Analog Devices, 2016.

A Figura 7 ilustra o circuito elétrico sugerido pelo fabricante que foi utilizado neste trabalho para montagem do medidor de energia.

Figura 7 – Circuito Elétrico ADE 7753



Fonte: Analog Devices, 2016.

3.3. Descrição do sistema de detecção de VTCD

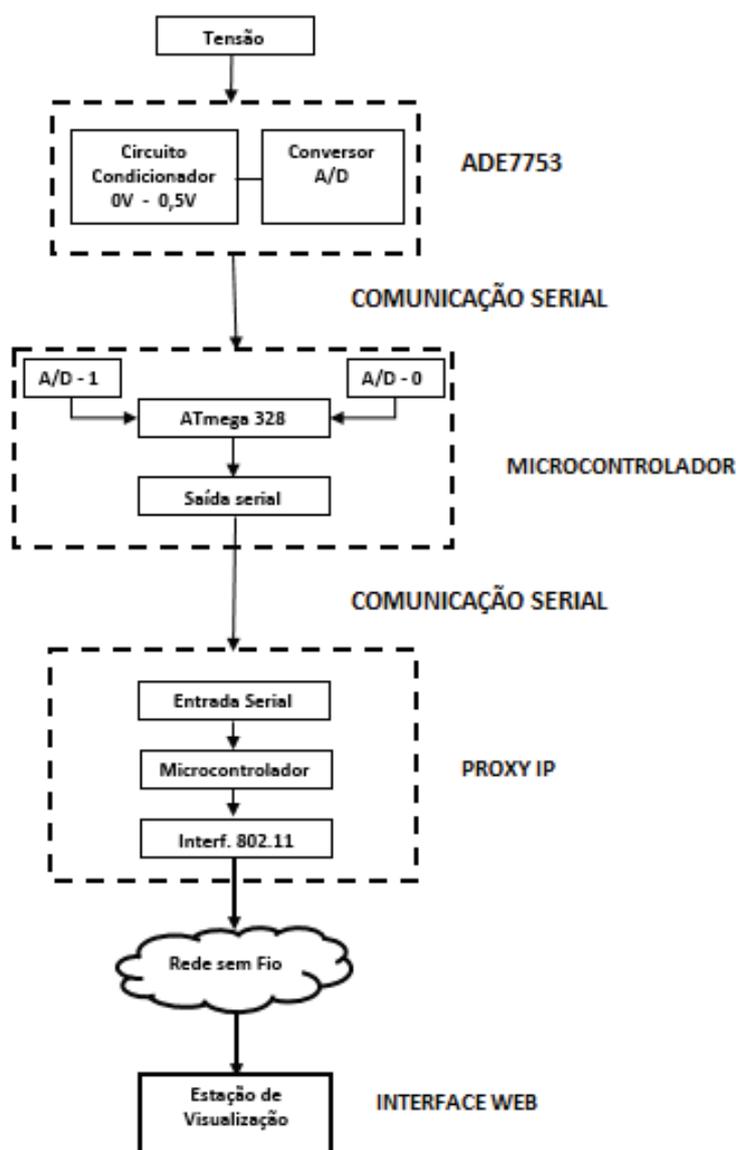
O sensor para a detecção dos distúrbios de VTCD é constituído por uma placa para a aquisição das grandezas elétricas provenientes da rede elétrica de distribuição, pela placa de prototipagem ARDUINO UNO equipado com o microcontrolador *ATmega328* [35] e por um módulo de comunicação baseado em um roteador *Wireless TL-MR3020* [36] do fabricante TP-LINK para retransmitir os dados obtidos para uma central de monitoramento, através do padrão IEEE 802.11 e visualizada através de uma interface Web.

O CI ADE7753 é responsável por fazer a aquisição dos dados de leitura dos sinais analógicos através do sensor de tensão, passando por um circuito que fará o condicionamento de sinal. Este circuito nada mais é que um circuito divisor de tensão, que realiza a redução dos sinais para os níveis aceitáveis impostos pelo

medidor de energia. Contudo, o *CI* medidor de energia interpreta os dados adquiridos relativos ao valor eficaz e de pico da tensão para, então, realizar os cálculos dos valores dos parâmetros de tensão. Os valores medidos são comparados aos valores de referência associados à qualidade de energia definidos pelo PRODIST módulo 8 da ANEEL [3].

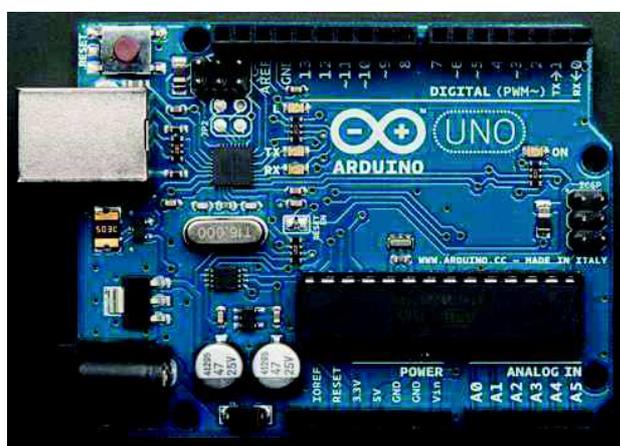
A Figura 8 apresenta o diagrama de blocos do sensor de detecção de distúrbios VTCDs.

Figura 8 – Diagrama de Bloco do Protótipo



O *Arduino* [37] é responsável por fazer a interface do fluxo de informação, entre o medidor de qualidade de energia e a interface de comunicação *wireless*. O microcontrolador também é responsável por executar outras tarefas como, por exemplo, enviar as configurações necessárias para que o medidor de qualidade de energia inicialize as suas funções e, ainda, recebe do medidor os dados referentes às leituras de tensão e registro de distúrbios para encaminhá-los ao transmissor *wireless*. A Figura 9 apresenta a placa de desenvolvimento computacional *Arduino UNO* com o Microcontrolador *ATmega328*.

Figura 9 – Placa de Desenvolvimento Computacional *Arduino UNO*



Como módulo de comunicação para a transmissão dos dados associados à variação de tensão detectada pelo sensor, foi utilizada a plataforma *Proxy IP*, que utiliza um *Access Point* (AP - *Ponto de Acesso*) TPLINK TL-MR3020, padrão IEEE 802.11n, desenvolvido de acordo com a referência [38]. Neste arranjo, foi feita a remoção do *firmware* original e feita a instalação da distribuição *Open WRT* do *Linux* [39], desenvolvida para dispositivos embarcados. Este dispositivo ainda é responsável por ler a porta serial do *Arduino* e salvar a coleta de dados das leituras dos sensores em formato *.CSV*, através de um botão de download no painel dashboard do sensor é possível fazer uma cópia do arquivo de dados para um computador. A capacidade de armazenamento do *Access Point* (originalmente de 4MBytes) foi ampliada com a instalação de um *Pen Drive* de 8 *Giga Bytes*. A utilização deste equipamento permite, ainda, a montagem de uma rede *Wi-Fi* do

tipo *mesh*, com vários sensores distribuídos em diversos pontos de uma rede de distribuição de energia. A Figura 10 apresenta o *Roteador Wireless TL-MR3020*.

Figura 10 – Roteador Wireless TL-MR3020



Fonte: TP Link, 2016.

3.4. Detecção dos Distúrbios de VTCD como CI ADE7753

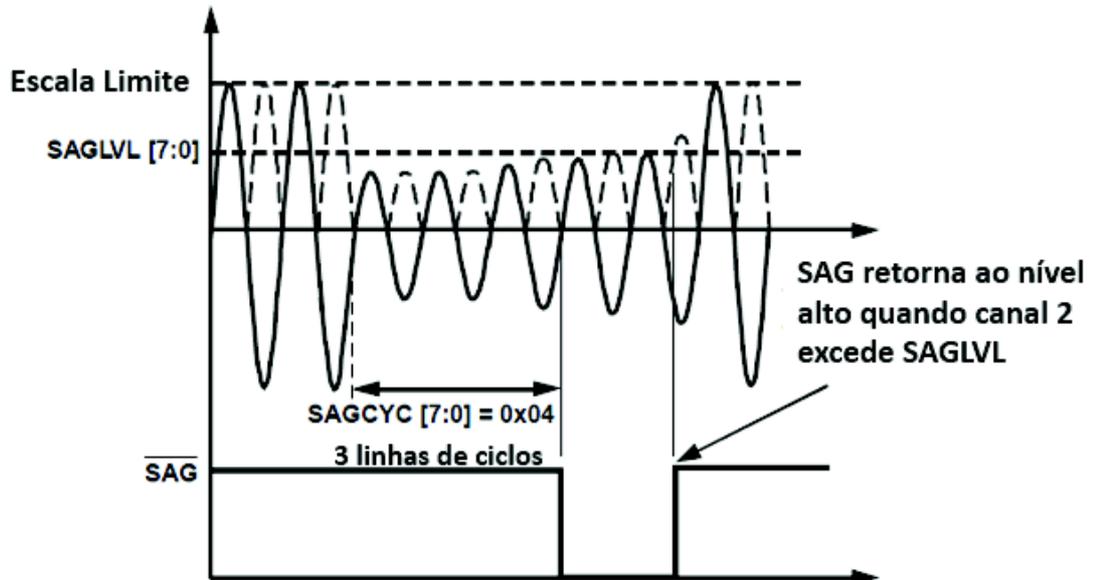
O CI ADE7753 permite que sejam configurados parâmetros de limites, estes valores são utilizados para definir os limites máximos e mínimos para a detecção de eventos de afundamento (*sag*) e de elevação (*swell*) da tensão, em comparação aos valores nominais de referência para o fornecimento de energia em regime permanente, contratada pelo consumidor junto a sua concessionária.

A medição de tensão, é feita através do canal 2 do medidor. O CI foi programado para detectar determinados valores de picos. Então, quando este registra valores absolutos de pico abaixo da referência e um determinado número de ciclos, então, este detecta que ocorreu um evento.

Esses valores de pico são gravados no registrador responsável por armazenar o valor de *threshold* ou valor limite para registro do evento, o registrador definido para armazenar a informação do valor limite de referência é o *SAGLVL*. Da mesma forma, o número de ciclos que deve ser considerado também é gravado em um registrador *SAGCYC*, e então quando a tensão está abaixo do valor de referência e quando o número de ciclos é excedido, o evento é registrado. A Figura 11 ilustra

o nível de tensão caindo abaixo do valor limite definido para registro do evento de afundamento.

Figura 11 – Detecção de Afundamentos



Fonte: Analog Devices, 2016.

O registrador de nível de SAG é comparado com o *byte* mais significativo de uma amostra da forma de onda após o deslocamento à esquerda, e então a detecção é feita quando o conteúdo do registrador de nível SAG é superior.

Os ciclos negativos são retificados de forma a ficarem positivos para que o conversor AD possa registrar os valores lidos pela entrada analógica do *CI ADE7753*.

A contabilização do tempo de duração do evento é iniciada a partir do terceiro ciclo, que é quando foi excedido o número de ciclos definido como limite. O sensor é capaz de detectar o afundamento desde o primeiro ciclo, porém como a duração de um ciclo é muito curta, da ordem de aproximadamente de 16 milissegundos, definiu-se para este trabalho que o registro do evento ocorreria somente após o terceiro ciclo. A contagem da duração do evento é encerrada quando o nível da tensão nominal é restabelecido, e então desta forma é determinado o tempo de duração do evento. Apesar de o evento não ser registrado nos dois primeiros ciclos,

para fim de contabilização total do tempo de duração do evento esses dois ciclos são considerados.

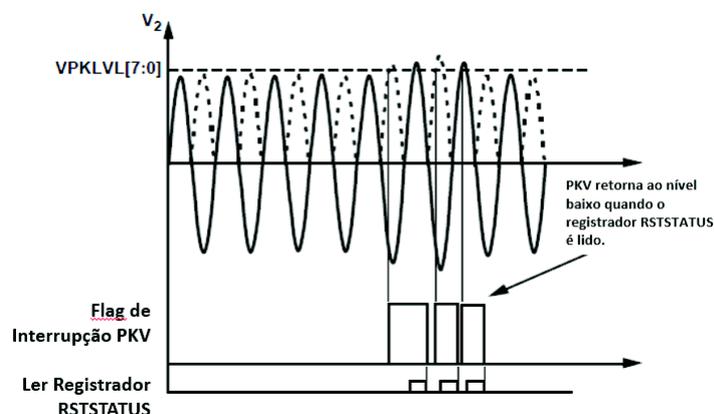
Tratando-se também de um afundamento de tensão, as interrupções momentâneas e temporárias também são registradas durante o processo de detecção de *sag*, para isso, foi inserido no firmware do sensor uma rotina de comparação com um valor mínimo, que quando violado passa a registrar a interrupção.

De forma análoga, o *CI ADE7753* também é capaz de detectar eventos de *swell* ou sobre tensão. O registro do evento é feito quando o valor da tensão excede o valor que foi designado como valor de pico. O *threshold* para registro dos valores de elevação da tensão são fixados no registrador de pico *VPKLVL*.

Para registro do evento de *swell*, não há um pino dedicado para requisição de interrupção, então, foi utilizado o pino *IRQ*. O *IRQ* é um registrador de 16 bits, cada um dos bits associados ao registrador aciona a *flag PKV*, o *bit 8* deste registrador corresponde a *flag* de violação do valor limite definido no registrador *VPKLVL*.

No processo de detecção de *swell* é mantida uma rotina de leitura do valor da tensão, os valores lidos são armazenados no registrador *VPEAK*, o valor é comparado com o valor limite associado ao registrador *VPKLVL*. Quando o valor limite é excedido, é acionada a *flag PKV* referente a violação de elevação de tensão, caso a violação permaneça nas próximas três leituras de tensão, o microcontrolador registra o evento de *swell*. A Figura 12 ilustra a detecção da elevação da tensão.

Figura 12 – Detecção de Elevação de Tensão

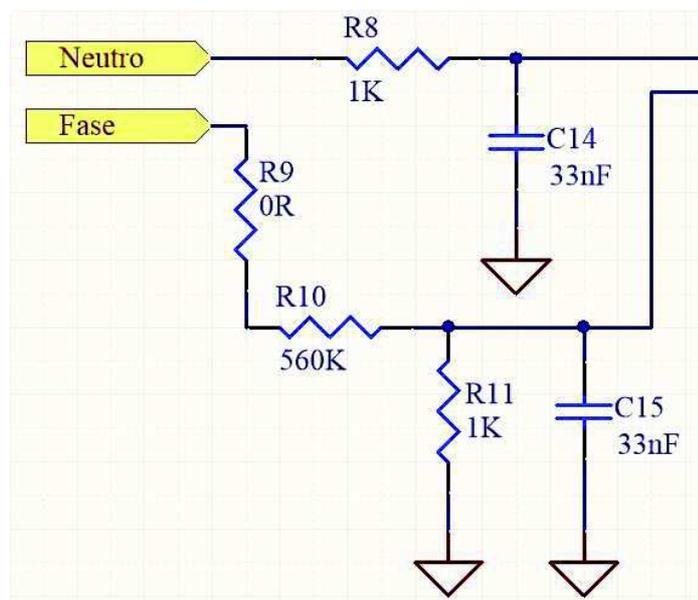


Fonte: Analog Devices, 2016.

3.5. Sensor de Tensão

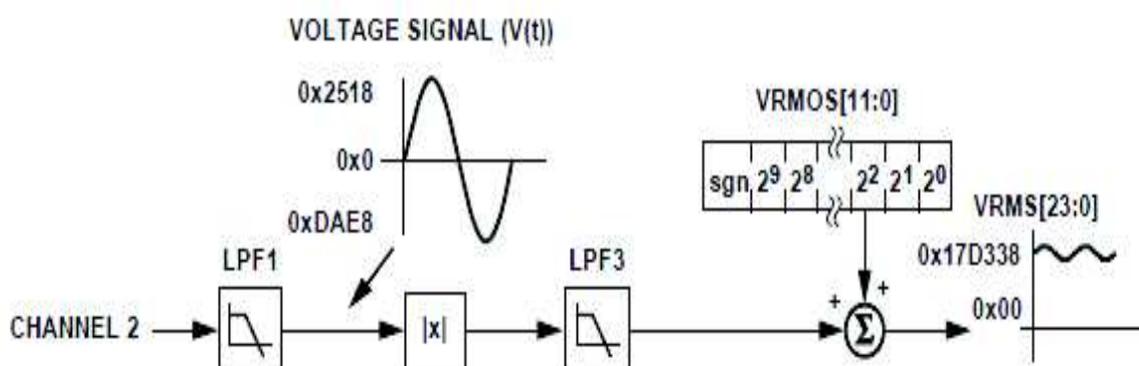
Devido à entrada analógica do Canal 2 do *CI ADE7753* somente admitir valores entre $\pm 0,5$ Volts, foi necessário condicionar o sinal recebido da rede elétrica por este canal. Então, para adequar os sinais de tensão provenientes da rede, foi necessário utilizar um circuito simples, porém eficiente. Este circuito está fundamentado em um divisor de tensão que atende as características da entrada analógica do *CI*. A Figura 13 ilustra o circuito divisor de tensão a ser utilizado na entrada do *CI*.

Figura 13 – Circuito Divisor de Tensão



O valor da tensão *RMS* obtida através do canal 2 é determinado a partir das amostras obtidas pelo processo de amostragem da forma de onda deste canal, e não deve exceder 0.5V. O valor eficaz é ligeiramente atenuado pelo *LPF1* (*low pass filter*) e é associado a um registrador de 24 bits, *VRMS*. O *CI ADE7753* incorpora um registrador de compensação de deslocamento (*offset compensation*), *VRMSOS*. Os deslocamentos podem existir devido a ruídos na entrada do canal 2. A Figura 14 ilustra o processamento de sinal no canal 2.

Figura 14 – Processamento de Sinal Canal 2 do ADE7753



Fonte: Analog Devices, 2016.

3.6. Construção do Medidor

Para desenvolver o desenho da placa de circuito impresso, utilizou-se o software *ALTIUM DESIGNER 15* [40], da empresa *Altium*, especializada no desenvolvimento de ferramentas de engenharia voltadas para *PCB Design* (*PCB – Printed Circuit Board*).

A *PCB* deste projeto foi construída respeitando todos os critérios e requisitos para construção do circuito impresso, observando as restrições de largura mínima de trilhas, espaçamento entre trilhas, diâmetros de furos e outros detalhes construtivos. A mesma foi construída em formato de *Shield*, para ser encaixada diretamente na placa de prototipagem e de desenvolvimento computacional *Arduino*. Os componentes foram escolhidos conforme recomendação do fabricante do circuito medidor de energia *ADE7753*.

As dimensões reduzidas da placa resultaram em um processo de soldagem dos componentes na *PCB*, tomando-se os devidos cuidados para não provocar contatos indesejados entre os componentes.

O processo de fabricação do medidor passou pelas seguintes etapas:

As Figuras 16 e 17 a seguir, apresentam o Layout do sensor de detecção de VTCD desenvolvido.

Figura 16 – Vista Inferior do Layout da Placa do Sensor

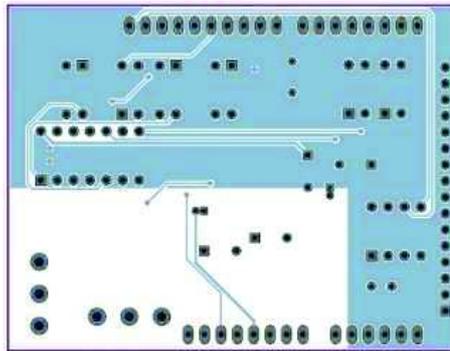
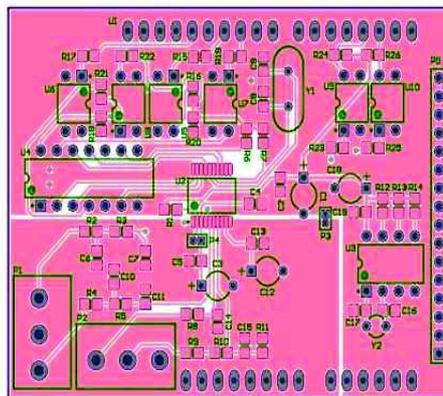


Figura 17 – Vista Superior do Layout da Placa do Sensor



As Figuras 18 e 19 ilustram a placa do detector de VTCD, após a montagem dos componentes.

Figura 18 – Vista Superior da Placa com Componentes

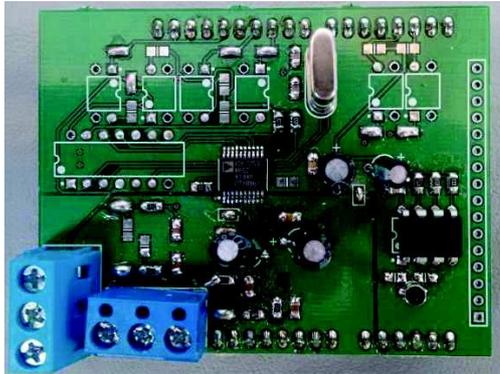
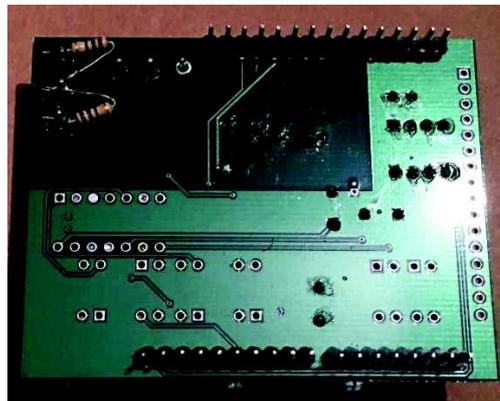
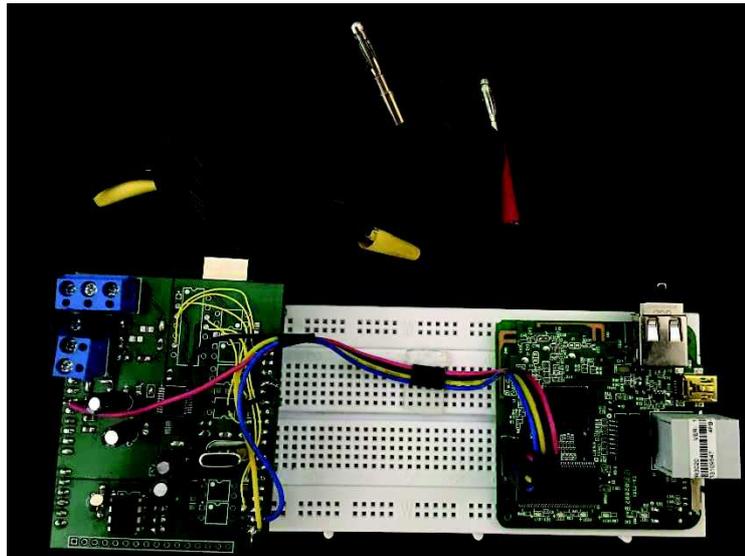


Figura 19 – Vista Inferior da Placa com Componentes



A Figura 20, apresenta o sensor ligado ao proxy IP através da interface de comunicação serial.

Figura 20 – Sensor Ligado ao Proxy IP



3.7. Lista de Componentes e Custo do Sensor

A Tabela 3, apresenta a lista de componentes utilizados para a montagem do sensor detector de VTCD.

Tabela 3 - Lista de Componentes

QUANTIDADE	COMPONENTE	VALOR US\$
1	PLACA ARDUINO	22.65
1	CI ADE7753	4.06
4	CAPACITOR 100nF	0.12
3	CAPACITOR 10 μ F	0.12
2	CAPACITOR 22pF	0.12
6	CAPACITOR 33nF	0.12
3	RESISTOR 100 Ω	0.08
1	RESISTOR 560 K Ω	0.08
5	RESISTOR 1K Ω	0.08
2	RESISTOR 10K Ω	0.08
1	CRISTAL 3,579545MHz	0.329
1	ROTEADOR WIRELESS TL-MR3020	27.79

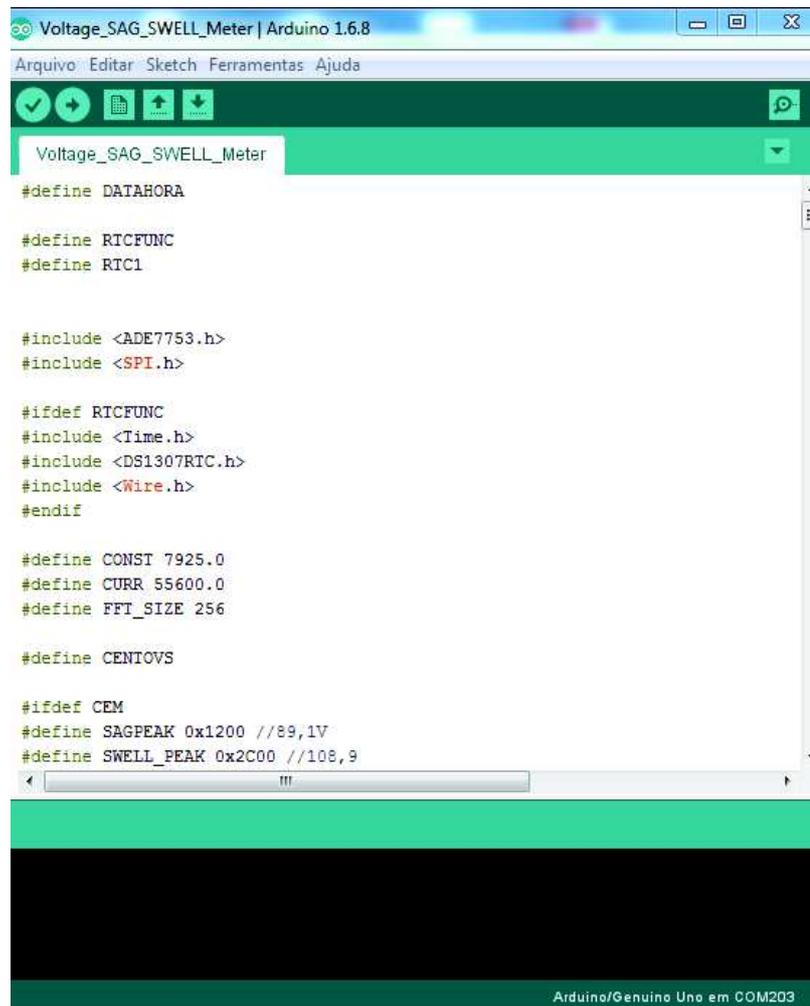
3.8. Desenvolvimento do *Firmware* do Sensor

Após concluir a etapa de construção da placa do circuito sensor, iniciou-se o processo de desenvolvimento do *firmware* do microcontrolador para que este realize as tarefas relacionadas às etapas de medição energia e de detecção dos distúrbios de tensão e ainda de encaminhamento dos dados ao módulo de comunicação *Wi-Fi*.

A linguagem utilizada para desenvolvimento do *firmware* foi a linguagem de programação *Arduino*, que é baseada em *Wiring*, essencialmente *C/C++* e seu ambiente de desenvolvimento é baseado no *Processing*, ambiente de desenvolvimento integrado (*IDE – Integrated Development Environment*) desenvolvido para não programadores e reúne características e ferramentas de apoio para desenvolvimento de *softwares*.

Apesar da ferramenta de desenvolvimento ser de fácil utilização, ela apresenta algumas limitações, como: a ausência de ferramentas de suporte para a depuração, a falta de um simulador, que a torna limitada. Apesar das limitações, esta é uma ferramenta bastante funcional e cumpre seu propósito, os testes rápidos são facilitados pela possibilidade de se utilizar o *Serial Monitor*, para visualização dos resultados que são enviados a interface serial. A Figura 21, mostra o ambiente de desenvolvimento do *firmware* para o microcontrolador *Arduino*.

Figura 21 – Ambiente de Desenvolvimento *Arduino*



```
Voltage_SAG_SWELL_Meter | Arduino 1.6.8
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
Voltage_SAG_SWELL_Meter
#define DATAHORA

#define RTCFUNC
#define RIC1

#include <ADE7753.h>
#include <SPI.h>

#ifdef RTCFUNC
#include <Time.h>
#include <DS1307RTC.h>
#include <Wire.h>
#endif

#define CONST 7925.0
#define CURR 55600.0
#define FFT_SIZE 256

#define CENIOVS

#ifdef CEM
#define SAGPEAK 0x1200 //89,1V
#define SWELL_PEAK 0x2C00 //108,9

Arduino/Genuino Uno em COM203
```

4. EXPERIMENTOS

Os testes experimentais realizados com o sensor de detecção de variação de tensão desenvolvido neste trabalho, tiveram seus valores comparados aos valores de instrumentos de medições comerciais, a fim de validá-lo, na detecção dos eventos.

A realização dos testes deu-se em laboratório, através de simulações utilizando uma caixa de ensaios elétricos da fabricante Conprove modelo CE-6006 [41], Testador Universal Hexafásico e Analisador de Energia Microprocessado.

4.1. Procedimentos de testes baseados no PRODIST MÓDULO 8

O módulo 8 do PRODIST [21] documento da ANEEL, caracteriza os fenômenos, parâmetros e valores de referência relativos à conformidade da tensão em regime permanente e às perturbações na forma de onda de tensão. Desta forma, os testes realizados seguiram os parâmetros definidos neste documento, conforme descrito no decorrer desta seção.

4.1.1. Tensão em Regime Permanente

De acordo com o PRODIST [21], a tensão em regime permanente deve ser avaliada por meio de um conjunto de leituras obtidas por medição em acordo com os indicadores e nas seguintes modalidades:

- a) eventual, por reclamação do consumidor ou por determinação da ANEEL;
- b) amostral, por determinação da ANEEL;
- c) ininterrupta, por meio de sistema de medição, de acordo com a Resolução Normativa nº502/2012 da ANEEL.

Caracterização com relação aos valores de referência:

- a) os valores obtidos por medições devem ser comparados à tensão de referência, que deverá ser a tensão nominal ou contratada.
- b) os valores nominais devem ser fixados em função dos níveis de planejamento do sistema de distribuição e compatíveis com os níveis de projeto dos equipamentos elétricos de uso final.
- c) as leituras associadas à tensão de referência, classificam-se em três categorias (adequadas, precárias ou críticas), baseando-se no valor da tensão de leitura em relação à tensão de referência.

4.1.2. Instrumentação e Metodologia de Medição

Segundo o PRODIST [21], as leituras devem ser obtidas por meio de equipamentos que operem segundo o princípio da amostragem digital.

- a) Taxa amostral: 16 amostras por ciclo;
- b) Conversor A/D de sinal de tensão: 12 bits;
- c) Precisão: até 1 % da leitura.

A medição de tensão deve corresponder ao tipo de ligação da unidade consumidora, abrangendo medições entre todas as fases e o neutro.

4.1.3. Variação de Tensão de Curta Duração VTCD

As variações de Tensão de Curta Duração são desvios significativos no valor eficaz da tensão em curtos intervalos de tempo.

O PRODIST classifica as Variações de Tensão de Curta Duração de acordo com a Tabela 1 apresentada na seção 2.2 Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional.

A tabela 3 a seguir apresenta as Faixas de Classificação de Tensões.

Tabela 4 - Faixa de Classificação de Tensões

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL em Volts)
Adequada	$117 \leq TL \leq 133$
Precária	$110 \leq TL < 117$ ou $133 < TL \leq 135$
Crítica	$TL < 110$ ou $TL > 135$

Fonte: PRODIST Módulo 8 – Aneel, (2016)

4.2. Materiais utilizados nos Experimentos

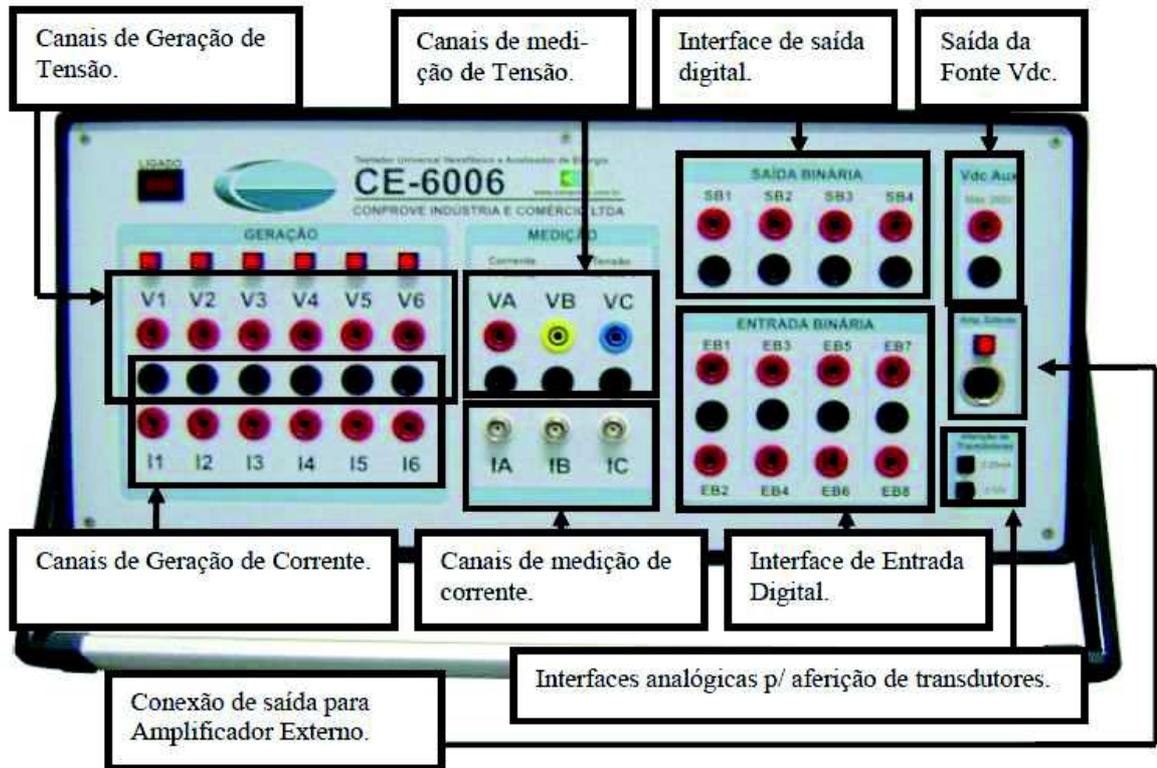
A seguir são apresentados os materiais utilizados nos experimentos:

- Microcontrolador Arduino
- ADE 7753 – Single Phase Multifunction Metering IC
- CE-6006: Testador Compacto Trifásico e Analisador de Energia Microprocessado
- Multímetro Fluke115 *TRUE RMS*
- Analisador de Qualidade de Energia FLUKE 435
- Software Conprove Test Center
- Software de desenvolvimento Arduino
- Microcomputador Lenovo

4.3. Montagem do Experimento

Para a geração dos eventos de VTCD, foi utilizada a caixa de testes elétricos Conprove CE-6006 [41]. Este é um equipamento indicado para realização de testes em laboratório e em campo. Esta caixa é capaz de testar, calibrar e aferir os mais diversos tipos de relés, medidores, transdutores e qualímetros. A caixa de teste Conprove com suas interfaces é apresentada na Figura 22.

Figura 22 – Caixa de Testes Conprove CE-6006



Fonte: Conprove, (2016).

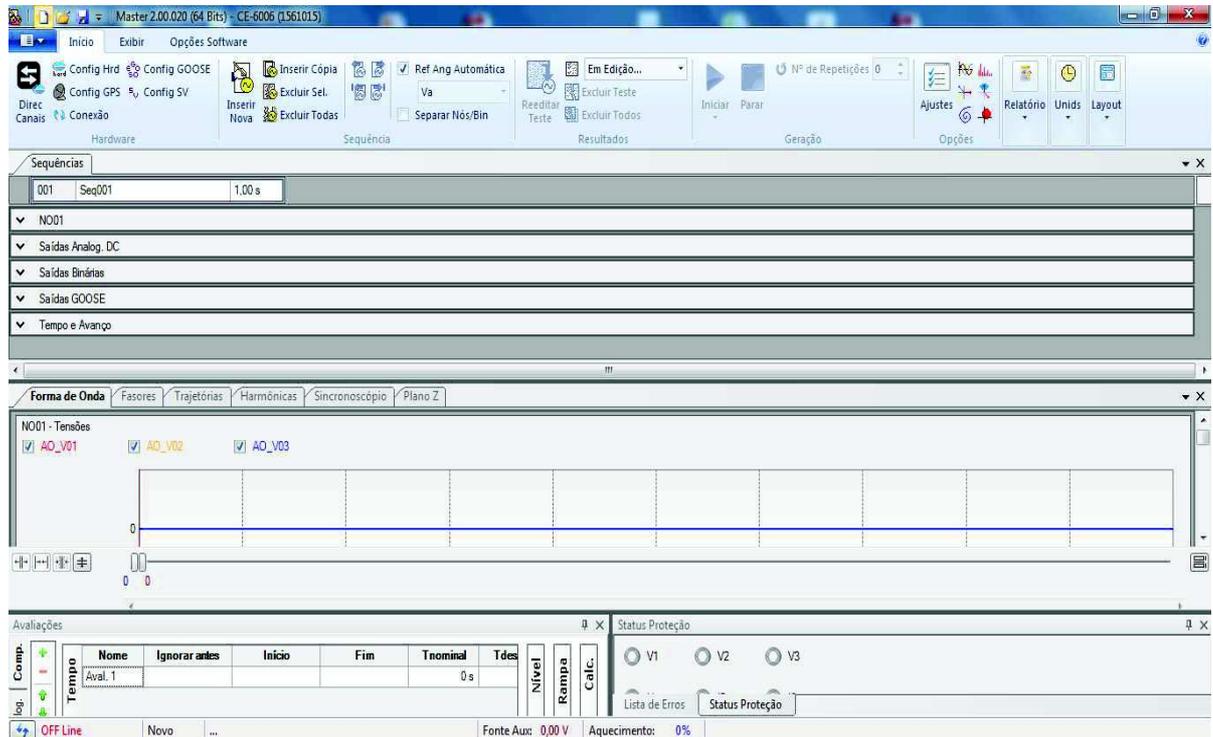
Uma Suíte de *Software* acompanha este equipamento para a realização dos mais diversos testes. O *software* foi utilizado para realizar os testes de forma automática, ou seja, criou-se uma sequência de testes e a caixa foi programada utilizando o módulo SEQUENC, que permitiu criar uma grande sequência de variação de tensão e corrente de modo direto. A figura 23 mostra a tela principal do Software Conprove Test Center 2.00.020.

Figura 23 – Tela de Apresentação Software Conprove Test Center



Após acessar a Suíte de ferramentas da caixa de testes, foi configurada a sequência de testes a ser realizada pelo módulo SEQUENC da Suíte. A Figura 24 apresenta a tela de configuração da sequência de testes que se deseja executar.

Figura 24 – Tela de Configuração de Testes do Software Conprove Test Center



Como o sensor de detecção de VTCD montado neste trabalho é monofásico, foram utilizados somente os canais V1 para a geração de tensão.

A ligação do sensor à caixa de testes deu-se da seguinte forma: o canal 2 do circuito integrado ADE7753 foi ligada ao canal gerador de tensão V1; foi adicionado em paralelo ao sensor, um multímetro para a medição da tensão, afim de comparar o valor obtido, com o sensor e o valor obtido com o multímetro. A Figura 25 apresenta a imagem da bancada de teste com a ligação do sensor à caixa de testes Conprove CE-6006.

Figura 25 – Banca de Testes



4.4. Processo de Calibração

Após a montagem do setup de testes, o passo seguinte foi efetuar a calibração do circuito medidor de tensão do sensor de detecção de VTCD.

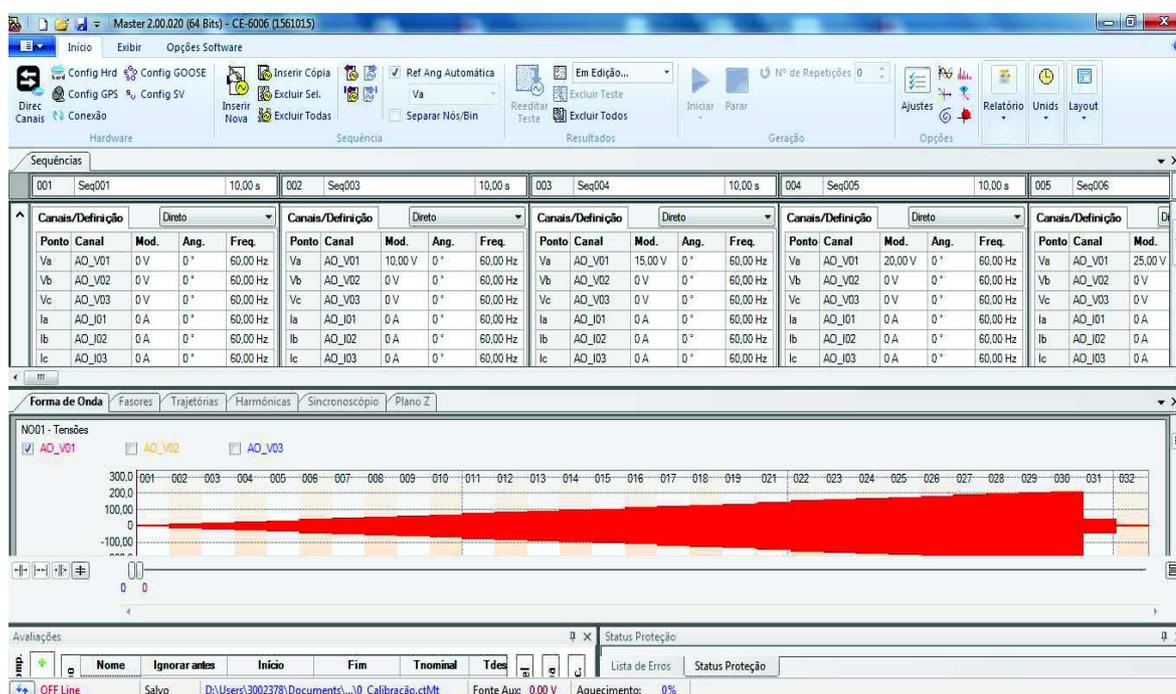
O procedimento de calibração é necessário para aferir os valores medidos pelo medidor de tensão e corrente do CI ADE7753. Este método consiste no ajuste dos coeficientes de calibração dos valores eficazes da corrente e da tensão. A calibração foi feita através da execução de ensaios a partir da variação dos valores aplicados as entradas do CI ADE7753.

As calibrações para medição de tensão, foram feitas através do levantamento de uma curva variando os valores aplicados na entrada do sensor de VTCD.

A calibração deu-se da seguinte maneira, através da caixa de testes Conprove CE-6006 aplicou-se 10 Volts a entrada do CI ADE7753 por um período de 30 segundos, a cada um segundo o valor medido foi registrado, cada registro gerou um valor em decimal correspondente a medição para este valor de tensão, efetuado os 30 registros, tirou-se a média dos registros em decimal para se obter um valor médio correspondente a leitura de 10 Volts.

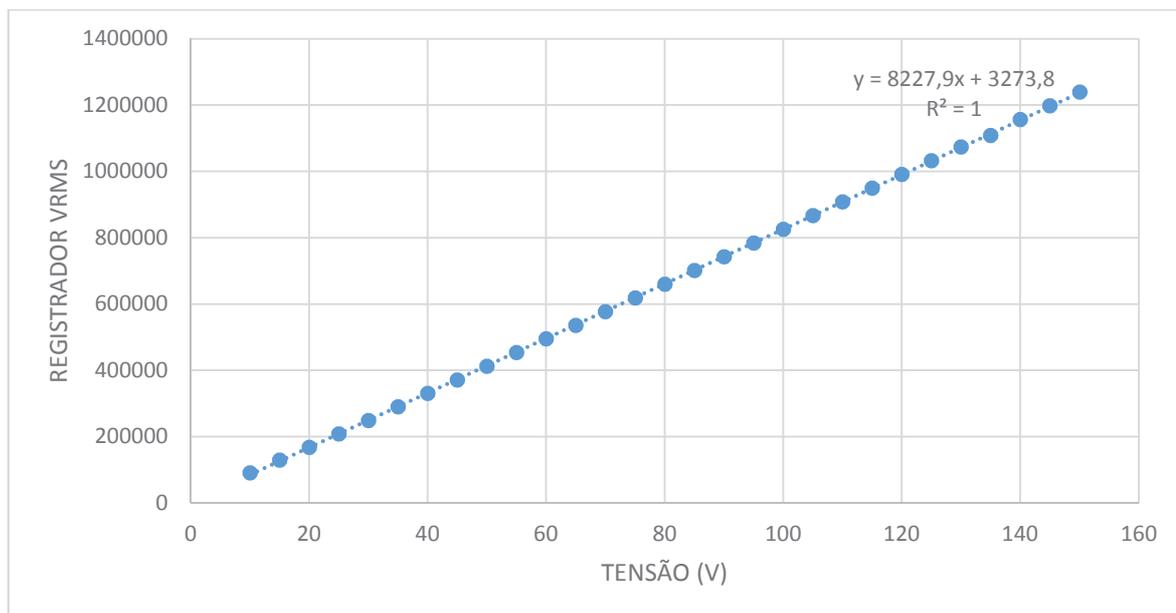
O processo de calibração iniciou-se aplicando uma tensão 10 Volts aos terminais do sensor, então, a tensão foi sendo elevada a cada 30 segundos de 5 em 5 Volts até atingir o valor de 150 Volts. A Figura 26, apresentada a tela do software da caixa de testes Conprove com a configuração para calibração da leitura de tensão pelo sensor de VTCD onde é possível ver a rampa da elevação da tensão utilizada na calibração.

Figura 26 – Tela da Configuração do Software para Calibração do Sensor



A partir dos dados coletados durante a calibração do sensor, foi obtida a equação da reta que relaciona os valores em decimal correspondentes a cada valor de tensão que devem ser armazenados no registrador VRMS, a Figura 27 ilustra o gráfico do processo de calibração do sensor de VTCD.

Figura 27 – Gráfico de calibração da Tensão



No eixo vertical do gráfico apresentado na figura acima, são amostrados os valores em decimal para cada leitura de tensão efetuada pelo sensor, sendo essas leituras de tensão no gráfico apresentadas no eixo horizontal.

É possível observar na Figura 27 que o coeficiente de determinação R^2 tem valor 1, o que representa uma relação muito forte entre os valores estimados e os valores observados das leituras de tensão do sensor.

O máximo valor admitido na entrada analógica do canal 2 do medidor é de $\pm 0,5$ V, isso produzirá um código de saída em Hexadecimal que poderá variar entre 0x2852 e 0xD7AE ou o correspondente em valores decimais ± 10.322 , sendo que o valor obtido é armazenado no registrador VRMS [34].

A equação 1 apresenta a fórmula utilizada para cálculo do VRMS:

$$VRMS = VRMS_0 + VRMSOS \quad (1)$$

Onde:

$VRMSOS$: corresponde ao valor de *offset* do registrador de compensação;

V_{RMS_0} : corresponde ao valor medido sem a correção de *offset*.

Os resultados obtidos com o sensor foram comparados com os valores eficazes de tensão medidos através do sensor construído e do multímetro FLUKE 115.

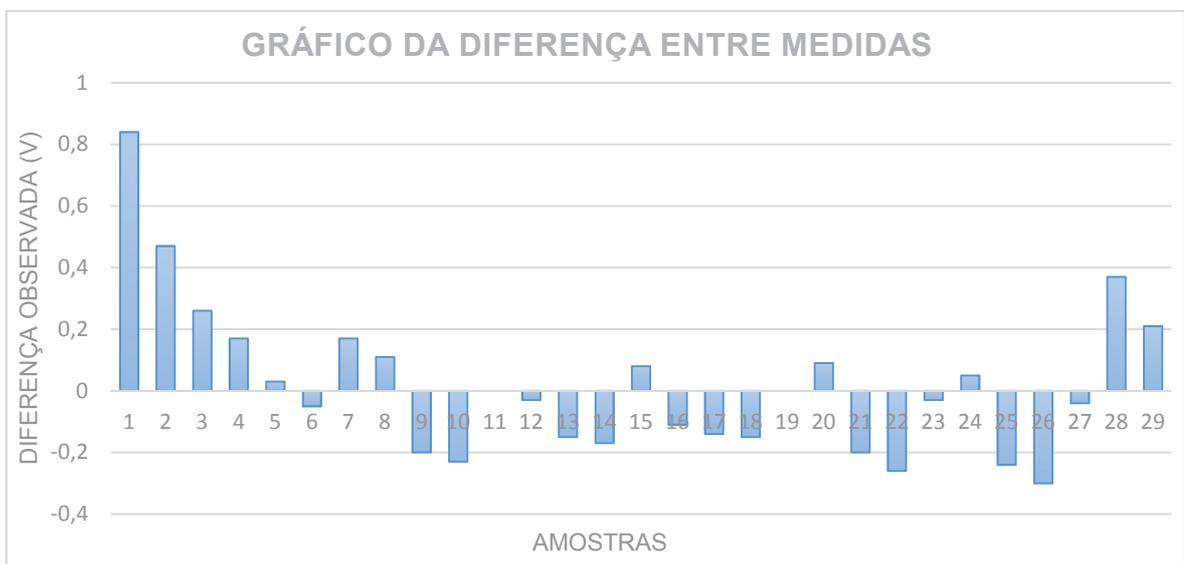
Ainda durante a etapa de calibração, foi construída a Tabela 5 que é apresentada a seguir, afim de comparar os valores medidos pelo protótipo desenvolvido neste trabalho e um instrumento comercial. Foram efetuadas 29 leituras variando a tensão de 5 Volts na caixa de testes Conprove CE-6006 até atingir o valor de 150 Volts.

Tabela 5 – Tabela de Comparação de Valores Medidos

TESTE	CAIXA CONPROVE (V)	PROTÓTIPO (V)	MULTÍMETRO (V)	ERRO %
1	10	10,8	9,96	8,43%
2	15	15,42	14,95	3,14%
3	20	20,21	19,95	1,30%
4	25	25,11	24,94	0,68%
5	30	29,96	29,93	0,10%
6	35	34,88	34,93	-0,14%
7	40	40,09	39,92	0,43%
8	45	45,03	44,92	0,24%
9	50	49,71	49,91	-0,40%
10	55	54,67	54,9	-0,42%
11	60	59,9	59,9	0,00%
12	65	64,86	64,89	-0,05%
13	70	69,55	69,7	-0,22%
14	75	74,53	74,7	-0,23%
15	80	79,78	79,7	0,10%
16	85	84,49	84,6	-0,13%
17	90	89,46	89,6	-0,16%
18	95	94,45	94,6	-0,16%
19	100	99,7	99,7	0,00%
20	105	104,69	104,6	0,09%
21	110	109,4	109,6	-0,18%
22	115	114,34	114,6	-0,23%
23	120	119,57	119,6	-0,03%
24	125	124,65	124,6	0,04%
25	130	129,36	129,6	-0,19%
26	135	134,3	134,6	-0,22%
27	140	139,56	139,6	-0,03%
28	145	144,87	144,5	0,26%
29	150	149,71	149,5	0,14%

A Figura 28, mostra de forma gráfica a diferença das leituras entre o instrumento comercial e o protótipo do sensor de detecção de VTCD. É possível notar que, a maior diferença observada é menos que 0,85 Volts. No eixo vertical estão amostrados os valores da diferença obtida e no eixo horizontal a amostra comparada.

Figura 28 – Gráfico da Diferença entre Medidas



A figura 29, mostra o erro relativo percentual entre o valor esperado, obtido através do multímetro FLUKE 115 e o valor medido através do protótipo para as 29 leituras utilizadas para validação do processo de calibração. Para valores baixos, até 20 Volts, o protótipo apresentou um erro relativo máximo de aproximadamente 8%, já para valores acima de 20 Volts o erro relativo ficou abaixo de 1%. Apesar de o protótipo ter apresentado um erro aparentemente elevado para as medições até 20 volts, pode-se considera-los não relevantes para o propósito deste trabalho, uma vez que os eventos de afundamento de tensão são registrados a partir de amplitudes inferiores a 114,3 Volts, e nesta faixa onde é detectado o afundamento o erro é bem baixo.

Para cálculo do erro relativo percentual foi utilizada a seguinte equação:

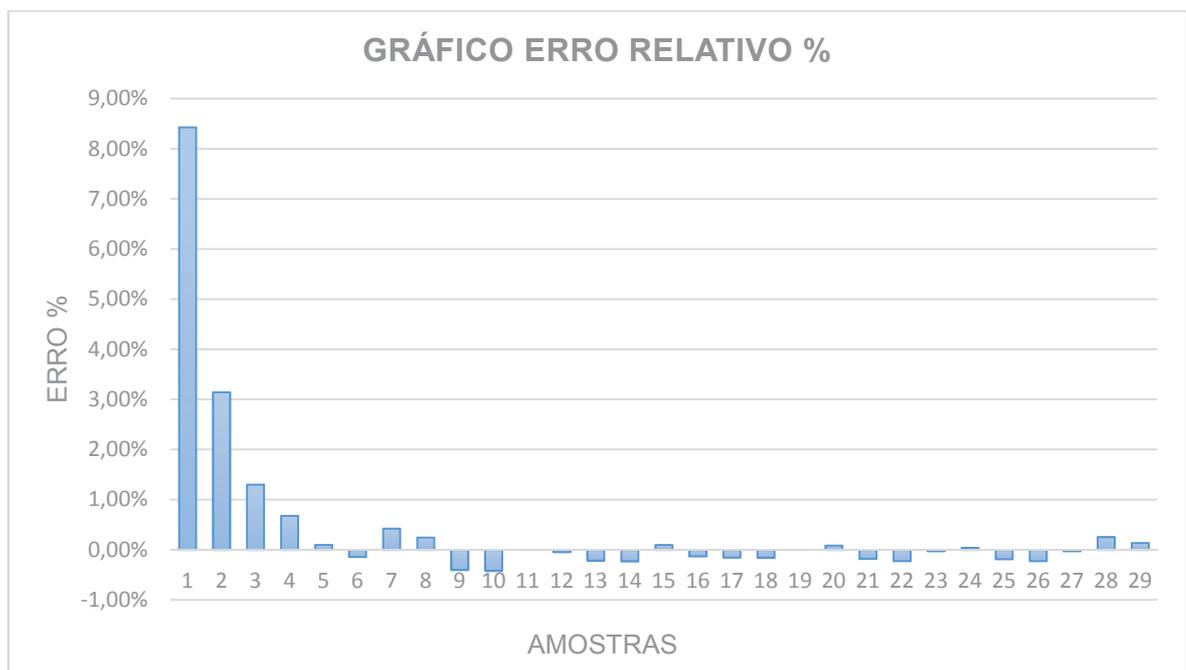
$$\text{erro relativo \%} = \frac{\text{Valor medido} - \text{Valor Referência}}{\text{Valor Referência}} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

Valor medido, corresponde à leitura obtida através do protótipo;

Valor Referência, corresponde à leitura obtida com o instrumento comercial.

Figura 29 – Gráfico do Erro Relativo



4.5. Procedimento de Testes

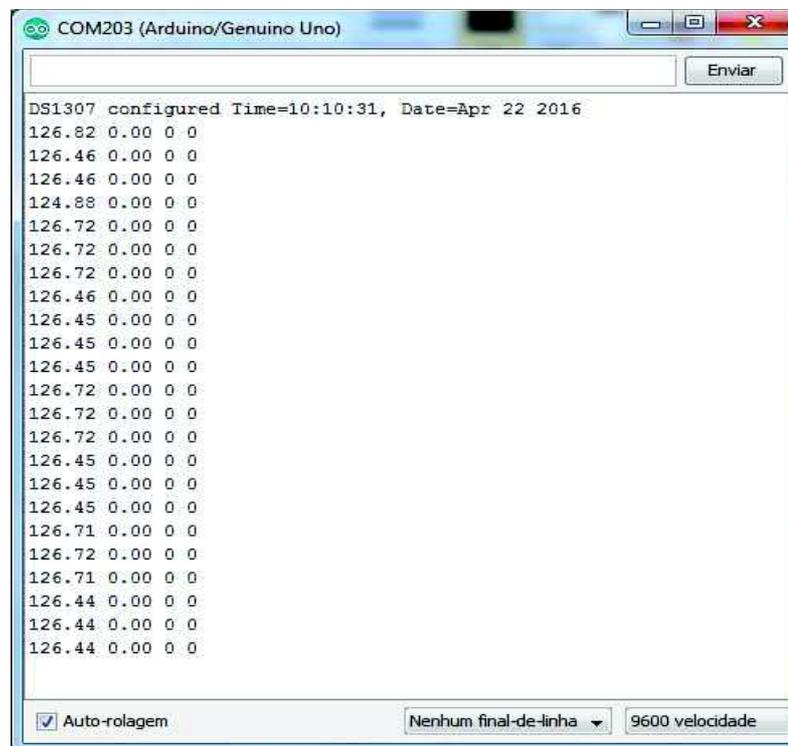
Nesta seção, objetiva-se apresentar a seqüência de testes que foi realizada para comprovação do funcionamento do sensor de detecção de VTCD. Os testes foram

efetuados em laboratório, onde buscou-se provocar eventos de VTCDs semelhantes aos encontrados em situações reais, para que então, estes fossem detectados pelo sensor. Os testes foram baseados no PRODIST, conforme segue.

4.5.1. Execução dos Testes de VTCD

O primeiro teste realizado, foi a medição da tensão nominal de 127 V, ou seja, tensão de fornecimento das concessionárias de energia, definiu-se para este experimento um período de 60 segundos para medição da tensão, sendo que a cada 1 segundo a informação de leitura foi apresentada no próprio monitor nativo do software da placa de desenvolvimento *Arduino*. A Figura 30 apresenta o resultado desta medição.

Figura 30 – Calibração de Medição de Tensão

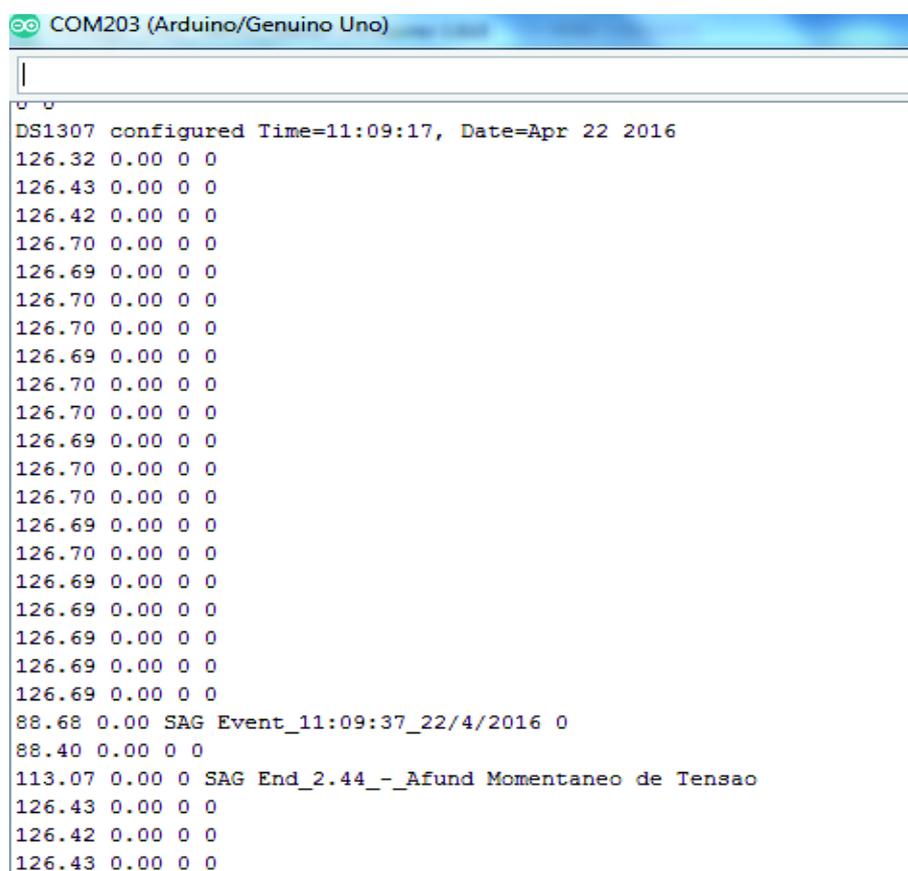


Após medir a tensão nominal, o passo seguinte foi realizar o teste para detectar o afundamento momentâneo da tensão em regime permanente. Para isso, foi

provocada uma redução no valor da tensão nominal, no caso desse teste a tensão foi reduzida para 88,9 Volts por 2,5 segundos. De acordo com a Tabela 1 da seção 2.2 deste trabalho, o afundamento momentâneo de tensão tem duração superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos e a amplitude da tensão em relação a tensão de referência deve ser superior ou igual a 0,1p.u. e inferior a 0,9p.u., por isso foram adotados estes valores para a realização destes testes. Após este intervalo, voltou-se ao regime de fornecimento nominal.

No monitor do software de desenvolvido é apresentado o registro do evento ocorrido e o tempo de sua duração, para este caso foi detectado um evento de afundamento momentâneo de tensão (*sag*) em um intervalo de 2,44 segundos. Para todos os testes de detecção de eventos que foram realizados os resultados foram apresentados desta mesma forma. A Figura 31 apresenta o resultado obtido.

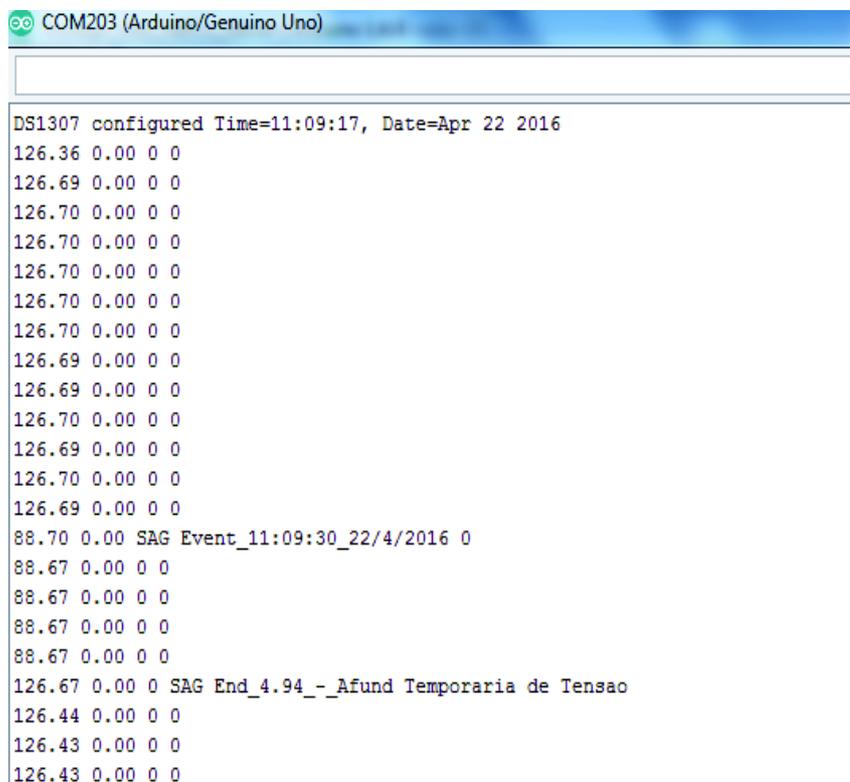
Figura 31 – Calibração de Afundamento Momentâneo de Tensão



```
COM203 (Arduino/Genuino Uno)
DS1307 configured Time=11:09:17, Date=Apr 22 2016
126.32 0.00 0 0
126.43 0.00 0 0
126.42 0.00 0 0
126.70 0.00 0 0
126.69 0.00 0 0
126.70 0.00 0 0
126.70 0.00 0 0
126.69 0.00 0 0
126.70 0.00 0 0
126.70 0.00 0 0
126.69 0.00 0 0
126.70 0.00 0 0
126.70 0.00 0 0
126.69 0.00 0 0
126.70 0.00 0 0
126.69 0.00 0 0
126.69 0.00 0 0
126.69 0.00 0 0
126.69 0.00 0 0
126.69 0.00 0 0
126.69 0.00 0 0
126.69 0.00 0 0
88.68 0.00 SAG Event_11:09:37_22/4/2016 0
88.40 0.00 0 0
113.07 0.00 0 SAG End_2.44_-_Afund Momentaneo de Tensao
126.43 0.00 0 0
126.42 0.00 0 0
126.43 0.00 0 0
```

Foram, ainda, realizados testes para detecção de afundamentos temporários. Para a realização deste teste, provocou-se uma redução no valor da tensão nominal ao valor de 88,9 Volts por um período de 5 segundos, estes valores estão dentro dos parâmetros definidos na Tabela 1, valores estes que caracterizam o afundamento temporário de tensão. Após este período, a tensão fornecida voltou ao seu valor nominal. A figura 32 apresenta o resultado da calibração.

Figura 32 – Calibração de Afundamento Temporário de Tensão



```
COM203 (Arduino/Genuino Uno)
DS1307 configured Time=11:09:17, Date=Apr 22 2016
126.36 0.00 0 0
126.69 0.00 0 0
126.70 0.00 0 0
126.70 0.00 0 0
126.70 0.00 0 0
126.70 0.00 0 0
126.70 0.00 0 0
126.70 0.00 0 0
126.69 0.00 0 0
126.69 0.00 0 0
126.70 0.00 0 0
126.69 0.00 0 0
126.70 0.00 0 0
126.69 0.00 0 0
88.70 0.00 SAG Event_11:09:30_22/4/2016 0
88.67 0.00 0 0
88.67 0.00 0 0
88.67 0.00 0 0
88.67 0.00 0 0
126.67 0.00 0 SAG End_4.94_-_Afund Temporaria de Tensao
126.44 0.00 0 0
126.43 0.00 0 0
126.43 0.00 0 0
```

Os testes para a detecção da elevação momentânea de tensão foram realizados de forma análoga aos testes praticados no afundamento momentâneo, porém para este caso provocou-se uma elevação da tensão nominal para 145 Volts em um intervalo de 2,5 segundos, posteriormente foi novamente reduzido o valor a tensão de fornecimento padrão, estes valores obedecem aos parâmetros da Tabela 1 para caracterização deste tipo de evento. A figura 33 apresenta o resultado da calibração.

Figura 33 – Calibração de Elevação Momentânea de Tensão

```
COM203 (Arduino/Genuino Uno)
126.43 0.00 0 0
126.43 0.00 0 0
126.42 0.00 0 0
126.43 0.00 0 0
126.42 0.00 0 0
126.43 0.00 0 0
126.43 0.00 0 0
145.37 0.00 SWELL Event_12:44:55_22/4/2016 0
144.97 0.00 0 0
144.81 0.00 0 0
147.09 0.00 0 0
147.40 0.00 0 0
144.97 0.00 0 0
145.33 0.00 0 0
147.51 0.00 0 0
147.13 0.00 0 0
144.27 0.00 0 0
146.25 0.00 0 0
148.12 0.00 0 0
145.11 0.00 0 0
144.91 0.00 0 0
147.20 0.00 0 0
147.30 0.00 0 0
144.89 0.00 0 0
145.43 0.00 0 0
147.55 0.00 0 0
147.00 0.00 0 0
144.28 0.00 0 0
141.83 0.00 0 SWELL End_2.42_-_Elev Momentanea de Tensao
128.95 0.00 0 0
127.69 0.00 0 0
125.16 0.00 0 0
124.91 0.00 0 0
126.44 0.00 0 0
```

Para a detecção da elevação temporária da tensão, elevou-se a tensão de fornecimento à 145 Volts em um intervalo de tempo de 10 segundos, ao término dos 10 segundos a tensão nominal de fornecimento voltou a ser aplicada aos terminais do sensor, da mesma maneira seguiu-se os parâmetros da Tabela 1 para a caracterização do evento. A figura 34 apresenta o resultado da calibração.

Figura 34 – Calibração de Elevação Temporária de Tensão

```
COM203 (Arduino/Genuino Uno)
DS1307 configured Time=11:09:17, Date=Apr 22 2016
127.54 0.00 0 0
126.68 0.00 0 0
126.68 0.00 0 0
126.41 0.00 0 0
126.68 0.00 0 0
126.42 0.00 0 0
126.41 0.00 0 0
126.41 0.00 0 0
126.41 0.00 0 0
126.42 0.00 0 0
126.41 0.00 0 0
126.41 0.00 0 0
146.78 0.00 SWELL Event_11:09:29_22/4/2016 0
148.08 0.00 0 0
146.01 0.00 0 0
144.37 0.00 0 0
148.09 0.00 0 0
145.90 0.00 0 0
144.45 0.00 0 0
148.11 0.00 0 0
145.78 0.00 0 0
128.01 0.00 0 SWELL End_9.68_-_Elev Temporaria de Tensao
126.40 0.00 0 0
126.41 0.00 0 0
126.41 0.00 0 0
126.41 0.00 0 0
```

Os testes de aferição da interrupção momentânea e temporária obedeceram aos mesmos procedimentos executados para os ensaios de afundamento e elevação de tensão e aos critérios definidos na Tabela 1, contudo o valor da tensão foi reduzido a 0 Volts. As Figuras 35 e 36 apresentam os resultados obtidos nos testes de interrupção.

Figura 35 – Calibração de Interrupção Momentânea de Tensão

The screenshot shows a serial monitor window titled "COM203 (Arduino/Genuino Uno)". The window contains a list of data points, each consisting of four numbers separated by spaces. The first 18 lines show values like 126.78, 126.77, 6.74, and 6.65. The 19th line is "6.74 0.00 SAG Event_15:47:21_17/5/2016 0". The 20th line is "6.65 0.00 0 0". The 21st line is "126.78 0.00 0 SAG End_2.52_-_Interrup Momentanea de Tensao". The remaining lines show values like 126.78, 126.77, 126.76, and 126.77. At the bottom of the window, there are three controls: a checkbox for "Auto-rolagem" (unchecked), a dropdown menu for "Nenhum final-de-linha", and a dropdown menu for "9600 velocidade".

```
126.78 0.00 0 0
126.78 0.00 0 0
126.78 0.00 0 0
126.77 0.00 0 0
126.78 0.00 0 0
126.77 0.00 0 0
126.77 0.00 0 0
126.78 0.00 0 0
126.77 0.00 0 0
126.77 0.00 0 0
126.78 0.00 0 0
126.77 0.00 0 0
126.77 0.00 0 0
6.74 0.00 SAG Event_15:47:21_17/5/2016 0
6.65 0.00 0 0
126.78 0.00 0 SAG End_2.52_-_Interrup Momentanea de Tensao
126.78 0.00 0 0
126.77 0.00 0 0
126.77 0.00 0 0
126.77 0.00 0 0
126.77 0.00 0 0
126.77 0.00 0 0
126.77 0.00 0 0
126.77 0.00 0 0
126.77 0.00 0 0
126.76 0.00 0 0
126.77 0.00 0 0
```

Figura 36 – Calibração de Interrupção Temporária de Tensão

The screenshot shows a serial monitor window titled "COM203 (Arduino/Genuino Uno)". The window contains a list of data points, each consisting of four numbers separated by spaces. The first 18 lines show values like 126.72, 126.73, 125.14, 104.99, and 32.91. The 19th line is "32.91 0.00 SAG Event_18:29:22_10/5/2016 0". The 20th line is "59.83 0.00 0 SAG End_10.00_-_Interrup Temporaria de Tensao". The remaining lines show values like 109.51, 122.16, 125.39, 126.20, 126.41, 124.88, 124.89, 124.90, 124.89, and 124.89. At the bottom of the window, there are three controls: a checkbox for "Auto-rolagem" (unchecked), a dropdown menu for "Nenhum final-de-linha", and a dropdown menu for "9600 velocidade".

```
126.72 0.00 0 0
126.72 0.00 0 0
126.73 0.00 0 0
126.72 0.00 0 0
126.72 0.00 0 0
126.73 0.00 0 0
126.72 0.00 0 0
126.72 0.00 0 0
126.73 0.00 0 0
126.73 0.00 0 0
126.73 0.00 0 0
126.72 0.00 0 0
126.73 0.00 0 0
126.73 0.00 0 0
126.72 0.00 0 0
125.14 0.00 0 0
104.99 0.00 0 0
Unconnected
32.91 0.00 SAG Event_18:29:22_10/5/2016 0
59.83 0.00 0 SAG End_10.00_-_Interrup Temporaria de Tensao
109.51 0.00 0 0
122.16 0.00 0 0
125.39 0.00 0 0
126.20 0.00 0 0
126.41 0.00 0 0
124.88 0.00 0 0
124.89 0.00 0 0
124.90 0.00 0 0
124.89 0.00 0 0
124.89 0.00 0 0
```

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos com o protótipo desenvolvido para detecção dos distúrbios de VTCDs. Para comparação, foi utilizado o instrumento analisador de qualidade de energia FLUKE 435.

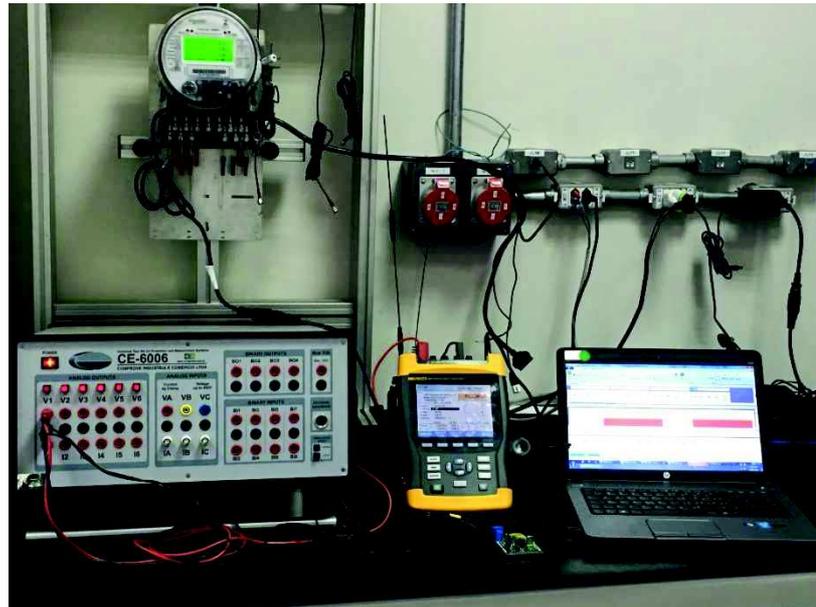
Da mesma forma que o protótipo desenvolvido, o FLUKE 435 teve seus parâmetros configurados de forma a atender os parâmetros definidos pelo PRODIST, para permitir a comparação entre os dois instrumentos utilizados no teste validação do sensor desenvolvido.

Os parâmetros de duração do evento e da amplitude da tensão em relação a tensão de referência utilizados para a caracterização dos eventos e obtenção dos resultados, seguiram os parâmetros definidos dentro da Tabela 1 apresentada na seção 2.2 deste trabalho.

A geração dos resultados deu-se de forma análoga, ao processo de testes para a detecção de eventos da seção 4.5.1, a diferença dá-se que para a geração de resultados, os dados foram enviados e apresentados no *dashboard*.

Para ter acesso ao painel *dashboard* é necessário conectar-se à rede wireless, criada pelo Proxy-IP e através do navegador do computador, deve-se inserir o endereço <http://192.168.1.1> e então serão apresentadas as informações que estão sendo observadas pelo sensor. Caso deseja-se acessar os dados históricos de leitura de tensão e registros de eventos armazenados na memória do sensor, o *dashboard* possui um botão de *download*, onde, ao clicar neste botão é gerado um arquivo de extensão .CSV que poderá ser aberto e trabalhado como uma planilha de *Excel*. A Figura 37 apresenta a bancada de testes montada em laboratório para obtenção dos resultados.

Figura 37 – Bancada de Testes



A Figura 38 apresenta o *dashboard* de visualização das leituras de tensão, do visualizador de eventos e do botão para *download* dos arquivos de *log* do sensor.

Figura 38 – Painel de Leitura de Tensão e Visualizador de Eventos

ProxyIP 2.0



ALARME:

CLIQUE NO BOTÃO PARA FAZER O DOWNLOAD DO ARQUIVO DE LOG DOS SENSORES: [Download](#)

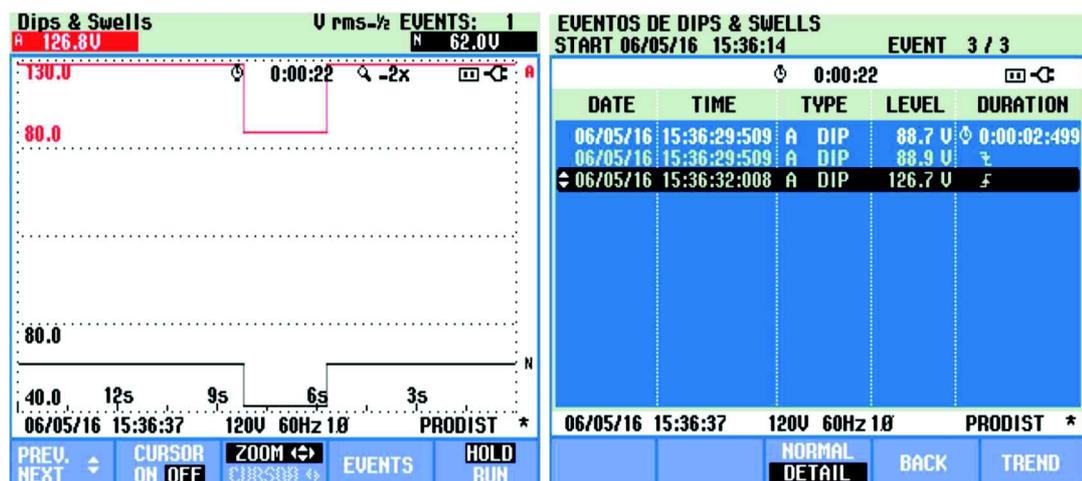
Para simular os eventos de VTCD, foi utilizada a caixa de testes elétricos Conprove CE-6006. O analisador de qualidade de energia elétrica foi ligado em paralelo com o protótipo desenvolvido neste na entrada V1 da caixa de testes.

A seguir, serão apresentados os testes realizados. Foram executados 6 testes, sendo dois testes de afundamento, dois testes de elevação e duas interrupções.

A primeira simulação efetuada foi para a detecção do afundamento momentâneo de tensão, onde por 2,5 segundos provocou-se um afundamento com o valor de 88,9 Volts e após este intervalo, voltou-se a aplicar à tensão de 127 Volts aos terminais do instrumento FLUKE 435.

A Figura 39 apresenta as medições do instrumento FLUKE 435. A imagem à esquerda é apresentada a curva com o degrau indicando o intervalo de duração do evento de VTCD, já na imagem à direita é apresentado o tipo do evento *DIP* ou *sag* (Redução de Tensão), na coluna *level* é mostrada o valor da tensão medida e a coluna *Duration* mostra o tempo de duração do evento detectado pelo analisador de qualidade de energia. Nesta simulação o analisador FLUKE obteve 88,7 Volts de leitura de tensão e 2,499 segundos de duração do evento.

Figura 39 – Resultado do Afundamento Momentâneo de Tensão do FLUKE 435



A Figura 40 apresenta os resultados obtidos com o protótipo do sensor de detecção de VTCD. Os ponteiros e o painel ao Centro do Medidor mostram o valor da leitura obtida e no campo alarme é apresentada o tipo de evento

detectado com sua duração. Nesta simulação o sensor efetuou a leitura de tensão de 88,68 Volts, durante o intervalo de tempo de 2,44 segundos.

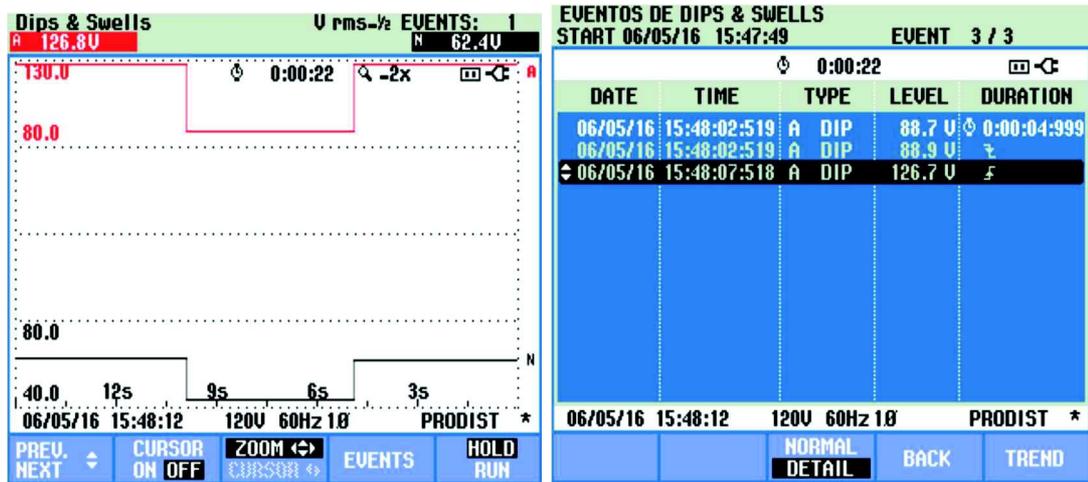
Figura 40 – Resultado do Afundamento Momentâneo de Tensão do Sensor



A segunda simulação efetuada foi para a detecção do afundamento temporário de tensão, onde por 5 segundos provocou-se um afundamento com o valor de 88,9 Volts e após este intervalo, voltou-se a aplicar à tensão de 127 Volts aos terminais do instrumento FLUKE 435.

A Figura 41 apresenta as medições do instrumento FLUKE 435. A imagem à esquerda é apresentada a curva com o degrau indicando o intervalo de duração do evento de VTCD, já na imagem à direita é apresentado o tipo do evento DIP, na coluna *level* é mostrada o valor da tensão medida e a coluna *Duration* mostra o tempo de duração do evento detectado pelo analisador de qualidade de energia. Nesta simulação o analisador FLUKE obteve 88,7 Volts de leitura de tensão e 4,999 segundos de duração do evento.

Figura 41 – Resultado do Afundamento Temporário de Tensão do FLUKE 435



A Figura 42, apresenta os resultados obtidos com o protótipo do sensor de detecção de VTCD para a simulação de Afundamento Momentâneo de Tensão. Nesta simulação o sensor efetuou a leitura de tensão de 88,70 Volts, durante o intervalo de tempo de 4,94 segundos.

Figura 42– Resultado do Afundamento Temporário de Tensão do Sensor



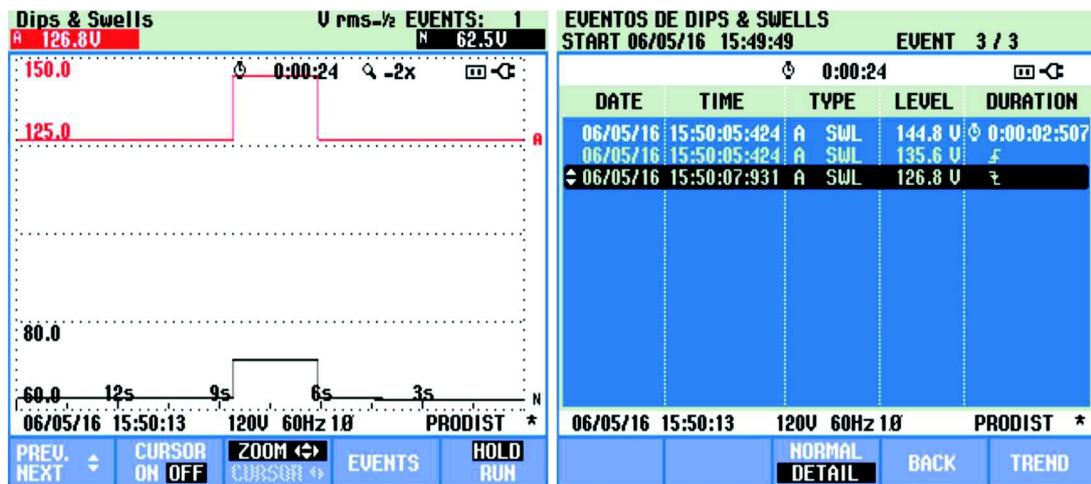
ALARME: Afundamento Temporario de Tensao
DURAÇÃO: 4.94 s

CLIQUE NO BOTÃO PARA FAZER O DOWNLOAD DO ARQUIVO DE LOG DOS SENSORES: [Download](#)

A terceira etapa de simulação efetuada foi para a detecção da Elevação Momentânea de Tensão, onde, por 2,5 segundos provocou-se uma elevação com o valor de 145 Volts e após este intervalo, voltou-se a aplicar à tensão de 127 Volts aos terminais do instrumento FLUKE 435.

A Figura 43 apresenta as medições do instrumento FLUKE 435. A imagem à esquerda é apresentada a curva com o degrau indicando o intervalo de duração do evento de VTCD, já na imagem à direita é apresentado o tipo do evento *swell* (SWL), na coluna *level* é mostrada o valor da tensão medida e a coluna *Duration* mostra o tempo de duração do evento detectado pelo analisador de qualidade de energia. Nesta simulação o analisador FLUKE obteve 144,8 Volts de leitura de tensão e 2,507 segundos de duração do evento.

Figura 43 – Resultado do Elevação Momentânea de Tensão do FLUKE 435



A Figura 44, apresenta os resultados obtidos com o protótipo do sensor de detecção de VTCD para a simulação de Elevação Momentânea de Tensão. Nesta simulação o sensor efetuou a leitura de tensão de 145,37 Volts, durante o intervalo de tempo de 2,42 segundos.

Figura 44 – Resultado da Elevação Momentânea de Tensão do Sensor

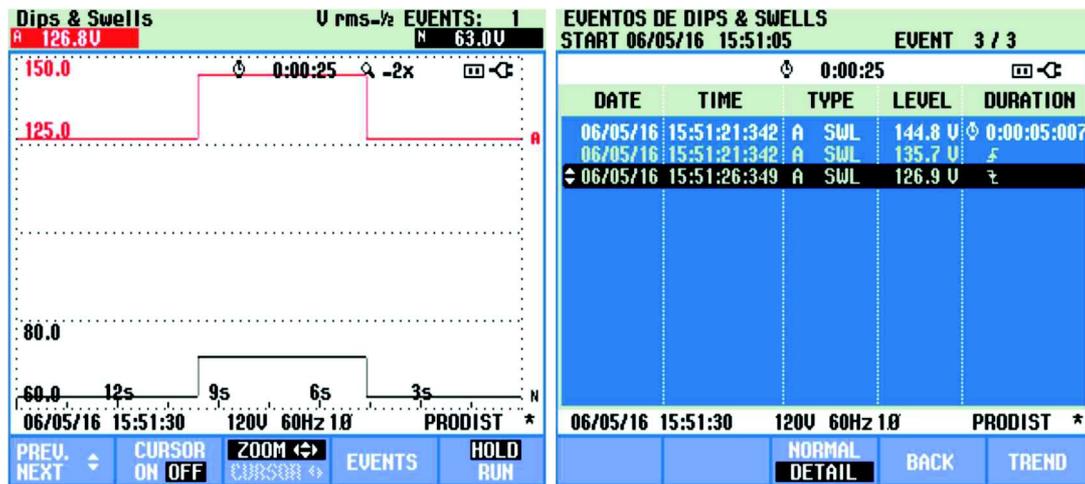


CLIQUE NO BOTÃO PARA FAZER O DOWNLOAD DO
ARQUIVO DE LOG DOS SENSORES: [Download](#)

A quarta etapa de simulação efetuada foi para a detecção da Elevação Temporária de Tensão, onde, por 5 segundos provocou-se uma elevação com o valor de 145 Volts e após este intervalo, voltou-se a aplicar à tensão de 127 Volts aos terminais do instrumento FLUKE 435.

A Figura 45 apresenta as medições do instrumento FLUKE 435. A imagem à esquerda é apresentada a curva com o degrau indicando o intervalo de duração do evento de VTCD, já na imagem à direita é apresentado o tipo do evento (*swell - SWL*), na coluna *level* é mostrada o valor da tensão medida e a coluna *Duration* mostra o tempo de duração do evento detectado pelo analisador de qualidade de energia. Nesta simulação o analisador FLUKE obteve 144,8 Volts de leitura de tensão e 5,007 segundos de duração do evento.

Figura 45 – Resultado da Elevação Temporária de Tensão do Fluke 435



A Figura 46, apresenta os resultados obtidos com o protótipo do sensor de detecção de VTCD para a simulação de Elevação Temporária de Tensão. Nesta simulação o sensor efetuou a leitura de tensão de 146,78 Volts, durante o intervalo de tempo de 9,68 segundos.

Figura 46 – Resultado da Elevação Temporária de Tensão do Sensor



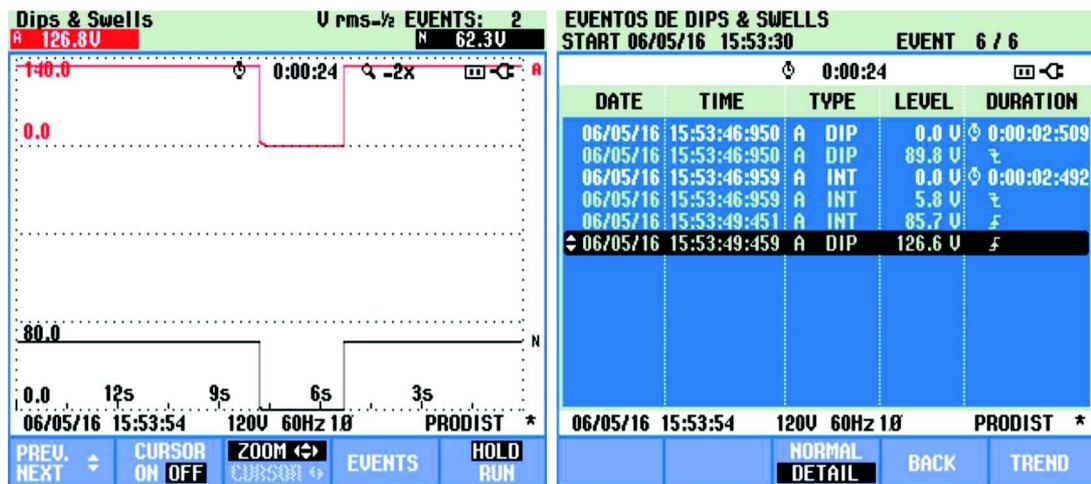
ALARME: Elevacao Temporaria de Tensao
DURAÇÃO: 4.94 s

CLIQUE NO BOTÃO PARA FAZER O DOWNLOAD DO ARQUIVO DE LOG DOS SENSORES: [Download](#)

Na quinta etapa de simulação, foi efetuada a detecção da Interrupção Momentânea de Tensão, onde, por 2,5 segundos levou-se o valor da tensão a 0 Volts e após este intervalo, voltou-se a aplicar a tensão de 127 Volts aos terminais do instrumento FLUKE 435.

A Figura 47 apresenta as medições do instrumento FLUKE 435. A imagem à esquerda é apresentada a curva com o degrau indicando o intervalo de duração do evento de VTCD, já na imagem à direita é apresentado o tipo do evento interrupção (*INT*), na coluna *level* é mostrada o valor da tensão medida e a coluna *Duration* mostra o tempo de duração do evento detectado pelo analisador de qualidade de energia. Nesta simulação o analisador FLUKE obteve 0 Volts de leitura de tensão e 2,492 segundos de duração do evento.

Figura 47– Resultado da Interrupção Momentânea de Tensão do FLUKE 435



A Figura 48 apresenta os resultados obtidos com o protótipo do sensor de detecção de VTCD para a simulação de Interrupção Momentânea de Tensão. Nesta simulação o sensor efetuou a leitura de tensão de 0 Volts, durante o intervalo de tempo de 2,51 segundos.

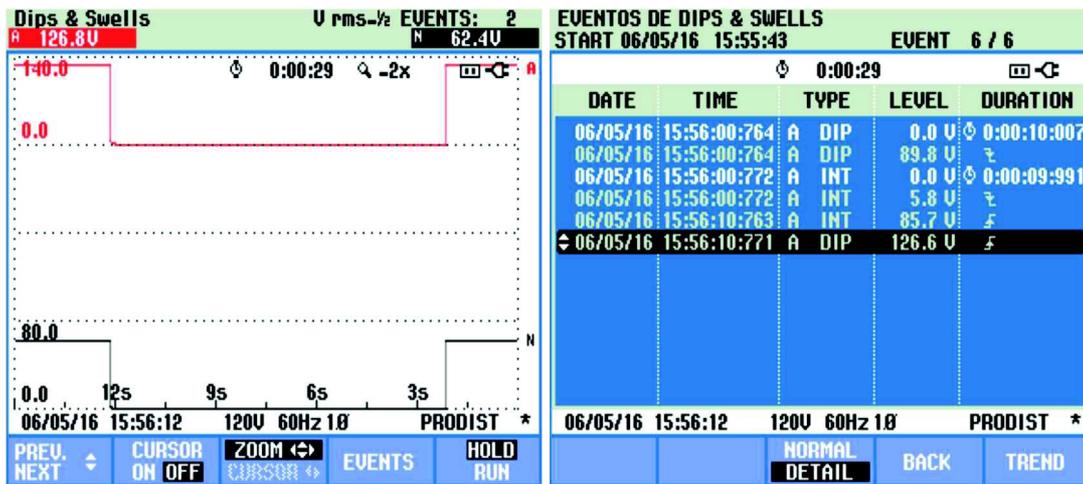
Figura 48 – Resultado da Interrupção Momentânea de Tensão do Sensor



Na sexta e última etapa de simulação, foi efetuada a detecção da Interrupção Temporária de Tensão, onde, por 10 segundos interrompeu-se a aplicação de tensão aos terminais do instrumento FLUKE 435.

A Figura 49 apresenta as medições do instrumento FLUKE 435. A imagem à esquerda é apresentada a curva com o degrau indicando o intervalo de duração do evento de VTCD, já na imagem à direita é apresentado o tipo do evento interrupção (*INT*), na coluna *level* é mostrada o valor da tensão medida e a coluna *Duration* mostra o tempo de duração do evento detectado pelo analisador de qualidade de energia. Nesta simulação o analisador FLUKE obteve 0 Volts de leitura de tensão e 9,991 segundos de duração do evento.

Figura 49 – Resultado da Interrupção Temporária de Tensão do FLUKE 435



A Figura 50, apresenta os resultados obtidos com o protótipo do sensor de detecção de VTCD para a simulação de Interrupção Temporária de Tensão. Nesta simulação o sensor efetuou a leitura de tensão de 0 Volts, durante o intervalo de tempo de 10 segundos.

Figura 50 – Resultado da Interrupção Temporária de Tensão do FLUKE 435



ALARME: Interrupcao Temporaria de Tensao
DURAÇÃO: 10 s

CLIQUE NO BOTÃO PARA FAZER O DOWNLOAD DO
 ARQUIVO DE LOG DOS SENSORES: [Download](#)

Para melhor entendimento do leitor e visualização dos resultados obtidos com o protótipo do sensor de detecção de eventos de VTCD, a Tabela 6 apresenta os valores obtidos pelo instrumento comercial e pelo protótipo desenvolvido neste trabalho de forma que se possa observar os valores e analisar a efetividade do protótipo do sensor de detecção de VTCD.

Tabela 6 - Tabela de Resultados da Simulação

SIMULAÇÃO	ANALISADOR FLUKE		SENSOR DE VTCD		ERRO RELATIVO %	
	LEITURA (V)	DURAÇÃO (s)	LEITURA (V)	DURAÇÃO (s)	LEITURA (V)	DURAÇÃO (s)
Afundamento Momentâneo	88,7	2,499	88,68	2,44	0%	-2%
Afundamento Temporário	88,7	4,999	88,7	4,94	0%	-1%
Elevação Momentânea	144,8	2,507	145,37	2,42	0%	-3%
Elevação Temporária	144,8	5,007	146,78	4,94	1%	-1%
Interrupção Momentânea	0	2,492	0	2,51	0%	1%
Interrupção Temporária	0	9,991	0	10	0%	0%

Para efetuar o cálculo do erro relativo foi utilizada a equação (2) já apresentada neste trabalho na seção 4.4 Processo de Calibração.

Comparando os valores obtidos nas simulações com o FLUKE e com o sensor, nota-se que os valores medidos são relativamente próximos. Os resultados obtidos nas simulações estão dentro do esperado, uma vez que os valores observados são extremamente próximos aos valores obtidos pelo instrumento comercial utilizado como objeto de referência para comparação e validação da eficácia do sensor.

Para as leituras dos valores de tensão observou-se que o maior erro obtido foi de 1%, já para os registros de duração do evento de VTCD o maior erro apresentado foi de 3%.

Pode-se considerar que o erro de 3% apresentado na simulação de Elevação Momentânea é um erro sistêmico, uma vez que este erro é um erro herdado da etapa de calibração do sensor e de seu processo construtivo.

Como os valores das medidas apresentam um certo grau de erro, a dimensão exata deste erro não pode ser detectada com precisão, uma vez que para encontra-lo seria necessário ter uma amostra de valor conhecido e certificado. Ainda que como

comparação utilizou-se um instrumento comercial e de elevada confiabilidade o grau de incerteza poderia ainda ser provocado pela capacidade manuseio deste instrumento.

Durante todo o processo de calibração e de simulação de eventos de VTCD foram efetuadas mais de 30 repetições para cada tipo de evento e o sensor foi capaz de registrar os eventos com a mesma precisão como a que foi apresentada na Tabela 5.

Conforme resultados apresentados nesta seção, pode-se considerar que o sensor é um instrumento que pode ser integrado as instalações elétricas monofásicas de clientes residências para monitoramento das oscilações padrões uma vez que sua eficácia foi comprovada através das simulações.

6. CONCLUSÃO

Com base em possíveis necessidades que possam surgir em utilizar-se dispositivos para monitoramentos de distúrbios de VTCD na rede elétrica de baixa tensão e na necessidade de monitoramento para tomada de ações preventivas, foi proposto, nesta dissertação, o desenvolvimento de um sensor de distúrbios de VTCD capaz de detectar esse tipo de evento, classificá-lo e enviá-lo a um Centro de Monitoramento e Controle do Sistema Elétrico.

Os fenômenos de VTCDs são muito presentes na rede elétrica e afetam diretamente os consumidores residenciais, comerciais e industriais. As distribuidoras de energia não adotam nenhuma prática abrangente de monitoramento da rede elétrica que seja capaz de identificar a ocorrência deste tipo de fenômeno.

Buscou-se, então, atingir resultados satisfatórios e um funcionamento eficiente do sensor, conseqüentemente obtendo-se as informações de ocorrências dos eventos de VTCD com a precisão desejada. Nos capítulos 4 e 5 pôde-se demonstrar a eficiência do funcionamento do sensor detector de VTCD.

A associação da placa de prototipagem Arduino com o Roteador Wireless potencializou o protótipo, uma vez que possibilitou instalar uma versão customizada do sistema operacional Linux, permitindo, conseqüentemente, a expansão da memória, ampliando a capacidade de armazenamento dos dados coletados e criando uma memória de massa.

Comparado com o custo da ordem de R\$ 35.000,00 do instrumento comercial utilizado neste trabalho, o sensor de detecção de variação de tensão desenvolvido apresenta um custo de desenvolvimento extremamente baixo de aproximadamente R\$ 200,00, principalmente se fabricado em escala industrial, permitindo seu uso aos milhares nas instalações elétricas.

O assunto abordado nesta dissertação tem uma grande relevância no setor elétrico, considerando este fato e a sua importância dentro do contexto abordado neste trabalho, pode-se sugerir como temas para trabalhos futuros:

- Explorar as diversas funcionalidades disponíveis no circuito integrado ADE7753;
- Explorar a capacidade de conectividade do roteador *wireless*, para se criar uma rede mesh;
- Melhorar a construção do sensor, permitindo sua instalação em uma unidade consumidora;
- Integrar o sensor a um software de supervisão e controle como o SCADA BR.

Contudo, como o propósito era o de construir um sensor capaz de detectar eventos de variação de tensão para redes elétricas de baixa tensão, com um baixo custo de desenvolvimento e considerando os resultados apresentados, o protótipo apresentou-se eficiente, detectando eventos com precisão similar à de um instrumento comercial referência de mercado, podendo este vir a ser futuramente utilizado nas redes elétricas para detecção de eventos de variação de tensão.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GÜNGÖR, Vehbi C. et al. Smart grid technologies: communication technologies and standards. *Industrial informatics, IEEE transactions on*, v. 7, n. 4, p. 529-539, 2011.
- [2] FAN, Jiyuan; BORLASE, Stuart. The evolution of distribution. *Power and Energy Magazine, IEEE*, v. 7, n. 2, p. 63-68, 2009.
- [3] Agencia Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, [online]. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acessado em janeiro 2016.
- [4] LAFRANQUE, Alexandre et al. *Visão 2030: Cenários, tendências e novos paradigmas do setor elétrico*. 1ª Edição. Rio de Janeiro, Babilonia Cultura Editorial, 2015.
- [5] Operador Nacional do Sistema Elétrico – NOS, [online]. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/home/>>. Acessado em janeiro de 2016.
- [6] PAIVA, J.P.S.. *Redes de Energia Elétrica: Uma Análise Sistêmica*. 4ª Edição. Lisboa, IST PRESS, 2015.
- [7] Senado Federal: Portal da Atividade Legislativa, [online]. Disponível em: <<https://www25.senado.leg.br/web/atividade>>. Acessado em: janeiro de 2016.
- [8] LAMIN, Hugo. *Análise de impacto regulatório da implantação de redes inteligentes no Brasil*. 2013. 322f. Tese Doutorado em Engenharia Elétrica - Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- [9] LAMIN, Hugo; DE TOLEDO CAMARGO, Ivan Marques. Smart grids deployment in Brazil: A study from the perspective of a regulatory impact analysis. In: *Innovative Smart Grid Technologies Latin America (ISGT LA), 2013 IEEE PES Conference On*. IEEE, 2013. p. 1-8.
- [10] HASHMI, M.; HÄNNINEN, S.; MÄKI, K. Survey of smart grid concepts, architectures, and technological demonstrations worldwide. In: *Innovative Smart*

Grid Technologies (ISGT Latin America), 2011 IEEE PES Conference on. IEEE, 2011. p. 1-7.

[11] LASSETER, Robert H. Smart distribution: Coupled microgrids. Proceedings of the IEEE, v. 99, n. 6, p. 1074-1082, 2011.

[12] HUANG, Jingfang; WANG, Honggang; QIAN, Yi. Smart grid communications in challenging environments. In: Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2012 IEEE Third International Conference on. IEEE, 2012. p. 552-557.

[13] Tang, Grace Q. "Smart grid management & visualization: Smart power management system." Emerging Technologies for a Smarter World (CEWIT), 2011 8th International Conference & Expo on. IEEE, 2011.

[14] LAU, E. T. et al. Optimization of carbon emissions in smart grids. In: Power Engineering Conference (UPEC), 2014 49th International Universities. IEEE, 2014. p. 1-4.

[15] POURBEIK, Pouyan; KUNDUR, Prabha S.; TAYLOR, Carson W. The anatomy of a power grid blackout. IEEE Power and Energy Magazine, v. 4, n. 5, p. 22-29, 2006.

[16] SINHA, Arup et al. Smart grid initiative for power distribution utility in India. In: Power and Energy Society General Meeting, 2011 IEEE. IEEE, 2011. p. 1-8.

[17] ENGLAND, ISO New. Overview of the Smart grid–Policies, Initiatives and Needs. 2009.02. [http://www, iso-ne, com/pubs/whtpprs/smart_grid report_O21709_final, pdf](http://www.iso-ne.com/pubs/whtpprs/smart_grid_report_O21709_final.pdf), 2009.

[18] MCDANIEL, Patrick; MCLAUGHLIN, Stephen. Security and privacy challenges in the smart grid. IEEE Security & Privacy, n. 3, p. 75-77, 2009.

[19] YU, Qin; JOHNSON, Raymond J. Integration of wireless communications with modernized power grids: EMI impacts and considerations. In: Electromagnetic Compatibility (EMC), 2011 IEEE International Symposium on. IEEE, 2011. p. 329-334.

- [20] KEZUNOVIC, M.; GEORGHIADES, C.; SHAPOURY, A. Wireless communications in substations; power system monitoring using wireless substation and system-wide communications. Power Systems Engineering Research Center (PSERC), publication, p. 02-46, 2002.
- [21] PRODIST – ANEEL, [on line]. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/modulo-8>>. Acessado em: janeiro de 2016.
- [22] KAGAN, Nelson; ROBBA, Ernesto João; SCHMIDT, H. P. Estimação de indicadores de qualidade da energia elétrica. 1ª Edição. São Paulo, Editora. São Paulo, Editora Blucher, 2009.
- [23] IEEE P 1159 WORKING GROUP et al. Recommended practice for monitoring electric power quality. Technical report, Draft 5, 1994.
- [24] KUSKO, Alexander; THOMPSON, Marc T. Power quality in electrical systems. McGraw-Hill, 2007.
- [25] Nota Técnica nº 0083/2012-SRD/ANEEL [online]. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2012/065/documento/nota_tecnica_0083_daniel_dir.pdf>. Acesso em: janeiro de 2016.
- [26] OLESKOVICZ, M. Qualidade da Energia Elétrica: conceitos e definições direcionadas a sistemas industriais. In: II Workshop de Proteção: Estudos Avançados de Proteção de Motores em Média Tensão Schweitzer Engineering Laboratories, Comercial Ltda e Departamento de Engenharia Elétrica-Eesc/Usp, São Carlos, SP. 2005.
- [27] DUGAN, Roger C.; MCGRANAGHAN, Mark F.; BEATY, H. Wayne. Electrical power systems quality. New York, NY: McGraw-Hill,| c1996, v. 1, 1996.
- [28] AKYILDIZ, Ian F.; VURAN, Mehmet Can. Wireless sensor networks. John Wiley & Sons, 2010.
- [29] LI, Li et al. The applications of WiFi-based wireless sensor network in internet of things and smart grid. In: Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2011 6th IEEE Conference on. IEEE, 2011. p. 789-793.

- [30] FANG, Xi; YANG, Dejun; XUE, Guoliang. Wireless communications and networking technologies for smart grid: Paradigms and challenges. arXiv preprint arXiv:1112.1158, 2011.
- [31] JIAN, HUANG, LI, LI e XIAOGUANG, HU. 2011. Design of new architecture of AMR system in Smart Grid. Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 6th IEEE Conference on. Agosto de 2011, pp. 2025-2029
- [32] SRIVASTAVA, Lara et al. The internet of things. International Telecommunication Union, Tech. Rep, v. 7, 2005.
- [33] RUN, M. A. The Application Analysis of Internet of Things in Smart Grid. Telecommunications for Electric Power System, v. 31, p. 50-52, 2010.
- [34] ANALOG DEVICES [ON LINE]. Disponível em: <<http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADE7753.pdf>>. Acesso em: maio de 2015.
- [35] ATmega328, [online]. Disponível em: <<http://www.atmel.com/pt/br/devices/ATMEGA328.aspx?tab=overview>>. Acesso em maio de 2015.
- [36] Roteador Wireless TL-MR3020, [online]. Disponível em: <http://www.tp-link.com/en/products/details/cat-4691_TL-MR3020.html>. Acessado em: maio de 2015.
- [37] Arduino, [online]. Disponível em: <<http://www.arduino.cc>>. Acesso em: maio de 2015.
- [38] Machado, L.; Mota, A.; Mota, L. - SNMP Management of Urban Areas Remote Monitoring via Open Platform Proxy-IP. 1st International Electronic Conference on Remote Sensing. 22 Junho–05 Julho 2015; Sciforum Electronic Conference Series, Vol. 1, 2015, a001; doi:10.3390/ecrs-1-a001.
- [39] OpenWrt Table of Hardware – TP-Link TL-MR3020, [on line]. Disponível em: <<http://wiki.openwrt.org/toh/tp-link/tl-mr3020>>. Acesso em março de 2015.

[40] Altium Designer [online]. Disponível em: <<http://www.altium.com/altium-designer/overview>>. Acesso em: agosto de 2015.

[41] Conprove, [online]. Disponível em: <<http://www.conprove.com.br/pub/produtos/ce6006.html>>. Acesso em: janeiro de 2016.

8. APÊNDICE

Código utilizado no Sensor para Detecção de Variação de Tensão em Redes de Baixa Tensão.

```
#define DATAHORA

#define RTCFUNC

#define RTC1

#include <ADE7753.h>

#include <SPI.h>

#ifndef RTCFUNC

#include <Time.h>

#include <DS1307RTC.h>

#include <Wire.h>

#endif

#define CONST 8280.0

#define CURR 55600.0

#define FFT_SIZE 256

#define CEM

#ifndef CEM

#define SAGPEAK 0x17A9

#define SWELL_PEAK 0x39DA
```

```

#define PEAK 14829

#endif

int stat, i;

long time_inicial, time_inicial2;

float swell_time_ini, swell_time_final, sag_time_inicial, sag_time_final;

float Volts, amperes;

boolean timerdone = false, sagenable = false, timertosample = false, isr_triggered
= false, print_voltage = false;

boolean flag_swell, var=true, interruption = false;

boolean Fall=false, Rise=false, irq=false, no_voltage=false;

boolean eventsag=false, eventswell=false, sagend=false, swellend=false;

boolean trava=true;

static boolean isLongFormat = true;

const char *monthName[12] = {

    "Jan", "Feb", "Mar", "Apr", "May", "Jun",

    "Jul", "Aug", "Sep", "Oct", "Nov", "Dec"

};

ADE7753 test;

void sagdetect();

void interrupt_1();

void sent();

```

```

#ifdef RTCFUNC

void digitalClockDisplay();

void printDigits(int digits);

bool getTime(const char *str);

bool getDate(const char *str);

tmElements_t tm;

#endif

void setup() {

    Serial.begin(9600);

#ifdef DATAHORA

    bool parse=false;

    bool config=false;

    if (getDate(__DATE__) && getTime(__TIME__)) {

        parse = true;

        if (RTC.write(tm)) {

            config = true;

        }

    }

    if (parse && config) {

        Serial.print("DS1307 configured Time=");

        Serial.print(__TIME__);

```

```

Serial.print(", Date=");

Serial.println(__DATE__);

} else if (parse) {

Serial.println("DS1307 Communication Error :-{");

Serial.println("Please check your circuitry");

} else {

Serial.print("Could not parse info from the compiler, Time=\");

Serial.print(__TIME__);

Serial.print("\", Date=\");

Serial.print(__DATE__);

Serial.println("\");

}

#endif

attachInterrupt(1, interrupt_1, FALLING);

attachInterrupt(0, sagdetect, CHANGE);

pinMode(CS,OUTPUT);

digitalWrite(CS, HIGH);

SPI.setDataMode(SPI_MODE2);

SPI.setClockDivider(SPI_CLOCK_DIV32);

SPI.setBitOrder(MSBFIRST);

SPI.begin();

```

```

delay(10);

int peakdet = SAGPEAK << 1;

int peak = peakdet & 0xFF00;

int regpeak = peak >> 8;

sagenable = true;

test.setSagVoltageLevel(regpeak);

test.setSagCycles(0x04);

int swell_peak = SWELL_PEAK >> 8;

test.setVPeakLevel(swell_peak);

test.setInterrupts(0x1110);

test.setMode(0x0004);

test.setZeroCrossingTimeout(0x111);

time_inicial = millis();

}

void loop() {

    if(print_voltage) {

        print_voltage = false;

        long voltage;

        voltage = test.vrms();

        Volts = (voltage)/CONST;

        long current;

```

```

current = test.irms();

amperes = (current/CURR) - 0.02;

sent();

}

if(isr_triggered) {

test.setInterrupts(0x1010);

isr_triggered = false;

int k=0;

long temp[3];

    for (k=0; k<3; k++){

        delay(8);

        temp[k] = test.getVpeakReset();

    }

    int j=0;

    k=0;

    for (k=0; k<3; k++){

if(temp[k] > PEAK) j++;

    }

if(j>=3){

j=0;

swell_time_ini = millis();

```

```

flag_swell = true;

var = false;

eventswell =true;

}

}

if ((stat&(1<<8)) == 0x0000){

if(var==false){

swell_time_final = millis() - swell_time_ini;

swellend = true;

test.setInterrupts(0x1110);

var=true;

}

}

if (Fall){

Fall=false;

sag_time_inicial = millis();

eventsag = true;

}

if (Rise){

Rise=false;

sag_time_final = (millis() - sag_time_inicial)/1000;

```

```
sagend=true;

}

if (irq) {

irq = false;

trava=false;

stat = test.resetStatus();

delay(10);

trava=true;

i++;

test.resetStatus();

if (i>100)

{

i=0;

print_voltage = true;

}

if ((stat&(1<<8)) == 0x0100)

{

if(var){

isr_triggered = true;

}

}

}
```

```

#ifdef SAMPLEMODE

    if ((stat&1<<3) != 0)

    {

        if (timertosample == true)

        {

            volt[i] = test.getWaveform();

            i++;

            test.resetStatus();

        }

    }

#endif

    if ((stat&1<<12) == 0x1000)

    {

        interruption = true;

    }

}

void sent(){

    boolean nothing = false;

    if(!(eventsag || eventswell))

```

```
nothing=true;

Serial.print(volts);

Serial.print(" ");

Serial.print(amperes);

Serial.print(" ");

if(eventsag){

eventsag = false;

Serial.print("SAG Event_");

#ifdef RTC1

    if (RTC.read(tm)) {

        digitalClockDisplay();

        Serial.print(" ");

    }

#endif

#ifdef RTC2

    if (timeStatus() == timeSet) {

        digitalClockDisplay();

    }

#endif

}

if(eventswell){
```

```

    eventswell = false;

    Serial.print("SWELL Event_");

#ifdef RTC1

    if (RTC.read(tm)) {

        digitalClockDisplay();

        Serial.print(" ");

    }

#endif

#ifdef RTC2

    if (timeStatus() == timeSet) {

        digitalClockDisplay();

    }

#endif

}

if(nothing){

    Serial.print("0 ");

}

boolean nothing2 = false;

if(!(sagend || swellend))

    nothing2=true;

if(sagend){

```

```

sagend=false;

Serial.print("SAG End_");

Serial.print(sag_time_final);

if((sag_time_final)>3){

    if(interruption||(volts<12.7)){

        interrupcion = false;

        Serial.print("_- Interrup Temporaria de Tensao");

    }

    else Serial.print("_- Afund Temporaria de Tensao");

}

else{

    if(interruption||(volts<12.7)){

        interrupcion = false;

        Serial.print("_- Interrup Momentanea de Tensao");

    }

    else Serial.print("_- Afund Momentaneo de Tensao");

}

}

if(swellend){

swellend=false;

Serial.print("SWELL End_");

```

```

Serial.print(swell_time_final/1000);

  if((swell_time_final/1000)>3){

    Serial.print("__Elev Temporaria de Tensao");

  }

  else{

    Serial.print("__Elev Momentanea de Tensao");

  }

}

if(nothing2){

  Serial.print("0");

}

Serial.println();

}

void sagdetect() {

  if (sagenable==true) {

    if (digitalRead(2) == LOW) Fall=true;

    else Rise=true;

  }

}

void interrupt_1(){

  if (trava)

```

```

    irq=true;

}

#ifdef RTCFUNC

bool getTime(const char *str)

{

    int Hour, Min, Sec;

    if (sscanf(str, "%d:%d:%d", &Hour, &Min, &Sec) != 3) return false;

    tm.Hour = Hour;

    tm.Minute = Min;

    tm.Second = Sec;

    return true;

}

bool getDate(const char *str)

{

    char Month[12];

    int Day, Year;

    uint8_t monthIndex;

    if (sscanf(str, "%s %d %d", Month, &Day, &Year) != 3) return false;

    for (monthIndex = 0; monthIndex < 12; monthIndex++) {

        if (strcmp(Month, monthName[monthIndex]) == 0) break;

    }

}

```

```

    if (monthIndex >= 12) return false;

    tm.Day = Day;

    tm.Month = monthIndex + 1;

    tm.Year = CalendarYrToTm(Year);

    return true;
}

void digitalClockDisplay() {

    Serial.print(tm.Hour);

    printDigits(tm.Minute);

    printDigits(tm.Second);

    Serial.print("_");

    Serial.print(tm.Day);

    Serial.print("/");

    if(isLongFormat)

        Serial.print(tm.Month);

    else

        Serial.print(monthShortStr(month()));

    Serial.print("/");

    Serial.print(tm.Year + 1970);

}

void printDigits(int digits) {

```

```
Serial.print(":");  
  
if(digits < 10)  
    Serial.print('0');  
  
Serial.print(digits);  
  
}  
  
#endif
```