



**WESLEY NATANAEL GALLO**

**SISTEMA DE MONITORAMENTO E NOTIFICAÇÃO  
DE DISTÚRBIOS NA TENSÃO ELÉTRICA PARA  
ESTAÇÕES REMOTAS DE COMUNICAÇÃO E  
*SMART GRID***

**LAVRAS – MG**

**2016**

**WESLEY NATANAEL GALLO**

**SISTEMA DE MONITORAMENTO E NOTIFICAÇÃO DE DISTÚRBIOS  
NA TENSÃO ELÉTRICA PARA ESTAÇÕES REMOTAS DE  
COMUNICAÇÃO E *SMART GRID***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, área de concentração em Redes de Computadores e Redes de Sensores sem Fio, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Tales Heimfarth  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2016**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Gallo, Wesley Natanael.

Sistema de Monitoramento e Notificação de Distúrbios na  
Tensão Elétrica para Estações Remotas de Comunicação e Smart  
Grids / Wesley Natanael Gallo. – Lavras : UFLA, 2016.

82 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico)—Universidade Federal de  
Lavras, 2016.

Orientador(a): Tales Heimfarth.

Bibliografia.

1. Detecção de distúrbios elétricos. 2. Qualidade de Energia. 3.  
Smart Grids. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

**WESLEY NATANAEL GALLO**

**SISTEMA DE MONITORAMENTO E NOTIFICAÇÃO DE DISTÚRBIOS  
NA TENSÃO ELÉTRICA PARA ESTAÇÕES REMOTAS DE  
COMUNICAÇÃO E *SMART GRID***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, área de concentração em Redes de Computadores e Redes de Sensores sem Fio, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 23 de Agosto de 2016.

Prof. Dr. Danton Diego Ferreira      UFLA  
Prof. Dr. Edison Pignaton de Freitas   UFRGS

Prof. Dr. Tales Heimfarth  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2016**

*À minha esposa Soraya e meus filhos, Miguel, Vinícius e Henrique, razão de todo  
esforço e motivo de minha alegria.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente a Deus, porque Dele e por Ele, e para Ele, são todas as coisas.

Ao meu orientador, prof. Tales, pela paciência e contribuição no desenvolvimento do trabalho.

À minha família, pelo amor que excedeu a compreensão.

Aos amigos Ariel Marques e Heitor Scalco, pelas contribuições, apoio e força.

Ao amigo Francisco Neto, pelas ajudas que se tornaram em amizade.

Ao amigo Celso de Ávila, grande companheiro e criador de uma *Playlist* que define bem sua amizade, “Para todas as horas”.

À Universidade Federal de Lavras, pelo ambiente motivador e acolhedor.

## RESUMO

A crescente utilização de tecnologias de comunicação móvel nos últimos anos pode ser notada pelo aumento significativo no uso de dispositivos móveis como *smartphones*, navegadores *GPS* e dispositivos de monitoramento que utilizam redes sem fio como plataforma de comunicação. As estações de comunicação que suportam a operação dessas redes, tais como *Wi-Fi*, *GSM* e protocolos proprietários com frequências licenciadas entre outros, operam muitas vezes em locais remotos, em condições adversas, onde as redes de energia elétrica são mais vulneráveis a falhas e degradações. Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema para monitorar e detectar distúrbios na rede elétrica operando em tempo real. A abordagem desenvolvida tem o objetivo de apoiar as estações remotas de comunicação, promovendo a comunicação de falhas aos operadores e integração deste cenário com o conceito de *Smart Grid*. Este projeto baseia-se na plataforma Arduino, empregada como um recurso computacional no processo de obtenção de dados e de comunicação redundante com a utilização de interfaces de rede *Ethernet* e *GSM*. Para o acoplamento do Arduino com a rede elétrica foi utilizado um circuito com redução de tensão. Para a detecção de distúrbios de tensão, foi utilizado um método baseado na distância euclidiana. Este método foi implementado na plataforma Arduino levando-se em conta requisitos de tempo real. Além disso, para acompanhamento da qualidade da energia elétrica, foi implementada uma interface *web* para o monitoramento com a utilização de gráfico e também para configuração de parâmetros tais como a sensibilidade de detecção e critérios de notificação. Os resultados deste estudo mostraram eficácia no monitoramento da qualidade da energia elétrica e na comunicação de distúrbios de tensão. Além disso, a abordagem de comunicação redundante, usando a rede privada e *GSM* melhora a confiabilidade para as notificações de falhas resultando em mais um componente para a integração com as *Smart Grids*.

**Palavras-chave:** Detecção de distúrbios elétricos. Qualidade de energia. *Smart Grids*.

## ABSTRACT

The increasing importance of mobile communication technologies in recent years can be noticed by the significant increase in the use of mobile devices such as smartphones, GPS navigators and monitoring devices that use wireless networks as communication platforms. The communication stations that support the operations of these networks, such as Wi-Fi, GSM and proprietary protocols with licensed frequencies, among others, often operate in remote locations, under adverse conditions, in which the electric energy networks are most vulnerable to failures and degradations. In this work, the development of a real-time system for monitoring and detecting disturbances on the electric network is proposed. The developed approach has the objective of supporting the remote communication stations, promoting the communication of flaws to the operators, resulting in a component suitable for integration with the Smart Grid scenario. This project is based on the Arduino platform employed as a computer resource in the data gathering process and as a redundant communication with the use of Ethernet and GSM network interfaces. In order to measure the signals of the electric line with Arduino, a signal conditioning circuit was employed. To detect voltage disturbances, we used a method based on Euclidean distance. This method was implemented in the Arduino platform and real-time requirements were considered. In addition, we implemented a web interface for monitoring the energy quality with the use of graphs and for configuring parameters, such as detection sensitivity and notification criteria. The results showed efficiency in monitoring the quality of the electric energy and in the communication of the voltage disturbances. In addition, the redundant communication approach, using a private network and GSM, improves the reliability of flaws notification, resulting in another step towards integration with Smart Grids.

**Keywords:** Detection of electrical disturbances. Energy quality. Smart Grids.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Modelo e componentes de uma ERB . . . . .	15
Figura 2.2 – ERC - ELETRONET, Muzambinho-MG . . . . .	16
Figura 2.3 – Mapa com a quantidade de ERBs em Minas Gerais . . . . .	18
Figura 2.4 – Evolução da transmissão de dados na rede celular . . . . .	24
Figura 2.5 – Indicador DEC nos últimos 5 anos . . . . .	28
Figura 2.6 – Indicador FEC nos últimos 5 anos . . . . .	28
Figura 2.7 – SMS <i>Relay</i> para monitoramento . . . . .	35
Figura 2.8 – <i>Remote PowerSense Monitor and Control - Tycon Power System</i> . . .	36
Figura 3.1 – Cenário de operação das ERCs . . . . .	38
Figura 3.2 – Fluxograma com as principais funções do sistema, detecção e comu- cação . . . . .	39
Figura 3.3 – ADC <i>Single Conversion Mode</i> . . . . .	43
Figura 3.4 – ADC <i>Free Running Mode</i> . . . . .	43
Figura 3.5 – Esquema de ligação - hardware do protótipo . . . . .	44
Figura 3.6 – Circuito para acoplamento à rede elétrica . . . . .	45
Figura 3.7 – Sinal de saída do circuito de acoplamento . . . . .	47
Figura 3.8 – Protótipo ligado no osciloscópio . . . . .	47
Figura 3.9 – Modelo de funcionamento do buffer circular . . . . .	49
Figura 3.10 – Confirmação número de amostras com sensor <i>Zero Cross</i> . . . . .	49
Figura 3.11 – Protótipo real montado em um chassi de switch . . . . .	50
Figura 3.12 – Limiares em torno da circunferência que modela os sinais nominais. . .	51
Figura 3.13 – Simulação A - Proposta original . . . . .	53
Figura 3.14 – Simulação B - detecção com 160 amostras . . . . .	54
Figura 3.15 – Representação dos cálculos realizados com <i>overlapping window</i> . . . .	55
Figura 3.16 – Simulação C - código detector com salto de 20 amostras . . . . .	55
Figura 3.17 – Exemplo da interface <i>web</i> . . . . .	57
Figura 4.1 – Ligação para teste com <i>PWM</i> . . . . .	60
Figura 4.2 – Sinal <i>PWM</i> aplicado sobre o sinal monitorado . . . . .	61
Figura 4.3 – Amostra de distúrbio - Transitório . . . . .	62
Figura 4.4 – Tela do monitoramento <i>web</i> - Alarme verde . . . . .	64
Figura 4.5 – Tela do monitoramento <i>web</i> - Alarme laranja . . . . .	64

Figura 4.6 – Tela do monitoramento <i>web</i> - Alarme vermelho . . . . .	65
Figura 4.7 – Tela <i>web</i> - Zabbix . . . . .	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Tecnologias com uso de cabos para smart grids . . . . .	20
Tabela 2.2 – Resumo das tecnologias DSL. . . . .	21
Tabela 2.3 – Potenciais tecnologias para uso em <i>smart grid</i> . . . . .	23
Tabela 2.4 – Números dos indicadores DEC e FEC - últimos 3 anos. . . . .	29
Tabela 2.5 – Classificação das variações de tensão. . . . .	32
Tabela 3.1 – Seleção - <i>ADC Auto Trigger</i> . . . . .	42
Tabela 3.2 – Pinagem utilizada - Mega 2560 e componentes . . . . .	45
Tabela 3.3 – Componentes do circuito de acoplamento à rede A/C . . . . .	46
Tabela 3.4 – Parâmetros para Simulação A . . . . .	53
Tabela 3.5 – Parâmetros para Simulação B . . . . .	54
Tabela 3.6 – Parâmetros para Simulação C . . . . .	55
Tabela 4.1 – Porcentagem de detecção dos sinais <i>PWM</i> . . . . .	61
Tabela 4.2 – Porcentagens de acerto na detecção - Gerador de funções . . . . .	63

## LISTA DE SIGLAS

AC	<i>Alternate Current</i>
ADC	<i>Analog-to-digital Converter</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CPT	<i>Conservative Power Theory</i>
DC	<i>Direct Current</i>
DEC	Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
EDGE	<i>Enhanced Data rates for GSM Evolution</i>
ERB	Estação Rádio Base
ERC	Estação remota de comunicação
FEC	Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
GSTN	<i>General Switched Telephone Network</i>
HAN	<i>Home Area Network</i>
HSCSD	<i>High-Speed Circuit-Switched</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
ISDN	<i>Integrated Services Digital Network</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
MBWA	<i>Mobile Broadband Wireless Access</i>
PBL	<i>Broadband Over Power Lines</i>
PLC	<i>Power Line Communication</i>
PON	<i>Passive Optical Network</i>
PRODIST	Procedimentos de Distribuição
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
QEE	Qualidade de energia elétrica
RAN	<i>Regional Area Network</i>
REE	Rede de energia elétrica
RMS	<i>Roots Mean Square</i>
SD	<i>Secure Digital</i>
SMI	<i>Structure of Management Information</i>
SMS	<i>Short Message Service</i>
SMSC	<i>Short Message Service Center</i>
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i>
REE	Rede de Energia Elétrica
RSSF	Redes de Sensores sem Fio
UFPA	Universidade Federal de Lavras
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
WRAN	<i>Wireless Regional Area Network</i>

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO . . . . .	12
1.1	Justificativa . . . . .	13
1.2	Objetivos . . . . .	13
1.3	Organização do texto . . . . .	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO . . . . .	15
2.1	Definições preliminares . . . . .	15
2.2	<i>Smart Grid</i> . . . . .	16
2.2.1	<i>Smart Grids</i> no cenário de redes e telecomunicação . . . . .	17
2.3	Sistemas de comunicação para <i>smart grid</i> . . . . .	18
2.3.1	Tecnologias com fio . . . . .	19
2.3.2	Tecnologias sem fio . . . . .	22
2.4	Qualidade da Energia Elétrica (QEE) . . . . .	26
2.5	Indicadores de qualidade da energia . . . . .	27
2.6	Distúrbios na rede elétrica . . . . .	30
2.6.1	Sobretensão e Subtensão . . . . .	30
2.6.2	Transitórios . . . . .	31
2.6.3	Brownout . . . . .	31
2.6.4	Interrupção . . . . .	31
2.6.5	Variação de Frequência . . . . .	31
2.7	Métodos de detecção de distúrbios . . . . .	33
2.8	Trabalhos relacionados . . . . .	34
2.8.1	Trabalhos acadêmicos . . . . .	34
2.8.2	Soluções comerciais similares . . . . .	35
3	MÉTODOS E IMPLEMENTAÇÃO . . . . .	38
3.1	Visão geral do sistema proposto . . . . .	38
3.2	Requisitos de hardware . . . . .	40
3.3	Plataforma Arduino . . . . .	41
3.3.1	ADC <i>Analog-to-digital Converter</i> . . . . .	42
3.3.2	PWM <i>Pulse Width Modulation</i> . . . . .	43
3.4	Esquema de ligação . . . . .	44
3.5	Obtenção e conversão dos dados . . . . .	48

3.6	Aplicação do método de detecção de distúrbios . . . . .	50
3.7	Simulação da detecção . . . . .	52
3.8	Monitoramento e comunicação . . . . .	56
3.8.1	Interface <i>web</i> integrada . . . . .	56
3.8.2	Integração com Zabbix . . . . .	57
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO . . . . .	59
4.1	Detecção de distúrbios . . . . .	59
4.1.1	Testes com distúrbios provocados com PWM . . . . .	59
4.1.2	Testes com amostras de distúrbios no gerador de funções . . . . .	61
4.2	Monitoramento e comunicação . . . . .	63
5	CONCLUSÃO . . . . .	67
	REFERÊNCIAS . . . . .	68
	APÊNDICE A – Código-fonte do programa principal . . . . .	72

## 1 INTRODUÇÃO

Com os avanços tecnológicos atuais, aliados ao crescimento no uso de dispositivos móveis conectados às redes sem fio e de telecomunicações, o cenário de infraestrutura de redes móveis se tornou indispensável para as empresas e no uso pessoal. O funcionamento dessas tecnologias depende de estações de comunicação que compõem uma grande infraestrutura distribuída e muitas vezes precisam operar em localidades distantes de áreas urbanas, sob condições adversas e de forma ininterrupta. Para estas estações de comunicação, a QEE (qualidade da energia elétrica) é fundamental. As novas redes de comunicação resultam em um sistema de complexo gerenciamento composto por inúmeros protocolos, diversos meios de transporte para a informação e novas tecnologias de sinais. Aos profissionais da área de redes restou a difícil tarefa de coordenar as atividades que visam manter disponíveis estes complexos sistemas em tempo integral, a despeito dos problemas que podem ocorrer durante o seu funcionamento (PINHEIRO, 2008).

As interrupções provenientes de falhas no fornecimento e na qualidade da energia podem provocar impacto negativo nas infraestruturas de comunicação. O desenvolvimento de soluções que possam minimizar ou mesmo prevenir a interrupção de serviços decorrentes dessas falhas contribui de forma significativa com o cenário de redes e telecomunicações. Souza (2002) menciona que do ponto de vista do usuário, uma interrupção, mesmo não comprometendo a estatística de qualidade do fornecedor, pode prejudicar o funcionamento, provocando consideráveis perdas financeiras.

Um conceito que converge com QEE e redes de comunicação é a proposta de *Smart Grids*, que, segundo Lopes et al. (2012), pode ser vista como a integração dos elementos da rede elétrica com uma infraestrutura de informação. Entretanto, a maioria dos sistemas empregados para monitoramento da QEE estão voltados para o interesse das concessionárias, e são usados de forma pontual na ocorrência de problemas. Souza et al. (2015) observam que pouco se tem discutido sobre prover informações que permitam ao consumidor gerenciar e confrontar seu consumo de energia e a qualidade de energia com sua respectiva concessionária.

Desenvolver um sistema capaz de detectar distúrbios na rede elétrica para monitorar a QEE de estações remotas de comunicação, integrado com a proposta de *Smart Grids* é o principal objetivo deste trabalho.

## 1.1 Justificativa

No ambiente de telecomunicações já existem equipamentos que atuam com algum nível de monitoramento de energia elétrica. Entretanto, a proposta da maioria das soluções se limita a sistemas baseados no uso de relés, oferecendo uma detecção de distúrbios limitada a eventos abruptos como variações prolongadas de tensão ou simplesmente notificação de interrupções.

As infraestruturas de redes móveis e de telecomunicações possuem características como uma topologia física distribuída e funcionamento em condições de hostilidades climáticas. Acompanhar as demandas do mercado implica no posicionamento dessas estações de comunicação muitas vezes em lugares de difícil acesso, como em serras ou localidades distantes de área urbana, onde a necessidade de uma visita técnica para manutenção corretiva pode custar horas de interrupção nos serviços. Estas dificuldades justificam o desenvolvimento de um sistema para monitoramento da qualidade da energia elétrica que proporcione maior eficiência na detecção e comunicação de distúrbios elétricos. Estes requisitos convergem com o conceito de *Smart Grids*, definido por Alvarenga et al. (2016) como uma nova arquitetura de distribuição de energia elétrica, mais segura e inteligente, que integra e possibilita ações de todos os usuários conectados, melhorando a eficiência, confiabilidade, economia e a sustentabilidade dos serviços de eletricidade. Neste sentido, propor soluções para monitoramento da QEE em tempo real, com uma abordagem de redundância na comunicação e integração com *Smart Grids* é uma necessidade vigente.

## 1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema para monitoramento da QEE com recursos para comunicação e notificação de distúrbios na rede elétrica com foco no atendimento das estações remotas de comunicação. Para tal, serão utilizados sensores conectados à rede elétrica, e um método para detecção de distúrbios elétricos com baixa latência para operação em tempo real e interfaces redundantes de comunicação para monitoramento e configuração via *web* e notificação via *SMS* sobre redes GSM (*Global System for Mobile Communication*).

### 1.3 Organização do texto

O texto deste trabalho está organizado da seguinte forma:

No capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica, dissertando acerca dos temas relevantes e relacionados ao desenvolvimento deste trabalho.

O capítulo 3 apresenta uma descrição das técnicas e metodologia empregadas para a pesquisa e desenvolvimento deste trabalho.

O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos, discutindo-os de forma detalhada.

O capítulo 5 apresenta a conclusão sobre este trabalho e o sistema desenvolvido, apontando suas vantagens, limitações e propondo alternativas para estudos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

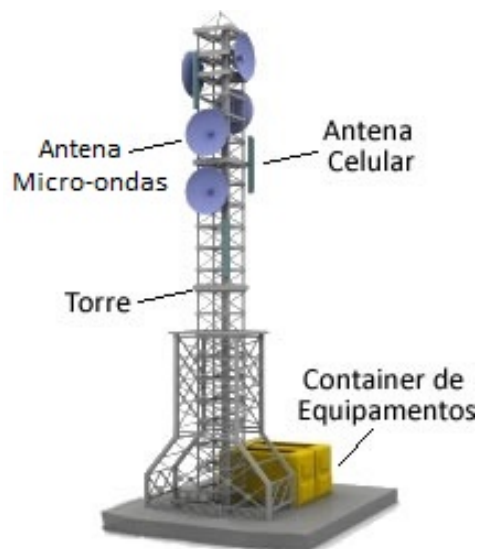
Este capítulo apresenta uma revisão de literatura sobre os principais assuntos pertinentes ao desenvolvimento deste trabalho, abordando definições, especificações das tecnologias empregadas e a relevância de cada um no contexto atual do tema.

### 2.1 Definições preliminares

Alguns termos serão utilizados com frequência neste trabalho e portanto é relevante apresentar previamente a definição dos mesmos para uma melhor compreensão do texto:

- a) ERB - Estação Rádio Base ou “*Cell site*” é um componente fundamental para as redes de telefonia celular. Telebrasil (2016) a define como uma Estação Fixa com que os terminais móveis se comunicam. Um exemplo para uma ERB seria o conjunto de equipamentos que acompanham uma torre de telefonia celular como gabinetes, *no-breaks*, rádios, antenas e a própria torre. A Figura 2.1 demonstra uma ilustração de uma ERB com seus componentes tradicionais;

Figura 2.1 – Modelo e componentes de uma ERB



Fonte: Adaptado de Telebrasil (2016)

- b) ERC - Estação Remota de Comunicação - A definição de uma ERC é própria deste trabalho, podendo ser uma ERB ou mesmo uma estação de comunicação que não faz uso de rádio frequência, utilizando de conexões por fibra óptica ou qualquer

outra mídia. Portanto, uma ERC se diferencia pela palavra “remota” que diz respeito a seu posicionamento geográfico, distante de áreas urbanas. É o caso de ERBs posicionadas ao longo de rodovias, vilarejos ou estações para regeneração de comunicações ópticas por exemplo. Uma ERC pode ser um ponto fora da cidade, porém operacionalmente estratégico para empresas de telecomunicação, como é o caso de *containers* de operadoras de dados e telefonia que a partir desses pontos, utilizam estações repetidoras que interligam e viabilizam conexão com outras redes de comunicação.

Um exemplo de ERC pode ser observado na Figura 2.2. Esta ERC se localiza a 14 km da cidade de Muzambinho-MG, é uma entre várias ERCs que podem ser encontradas ao longo de linhas de alta tensão que fornecem infraestrutura para suportar também cabos ópticos.

Figura 2.2 – ERC - ELETRONET, Muzambinho-MG



Fonte: Do autor (2016)

Uma vez que, as redes ópticas necessitam de regeneração do sinal após determinadas distâncias, ERCs como a da Figura 2.2, são instaladas não só para esta finalidade como também para a segmentação e derivação da rede óptica no atendimento e interligação com outras redes.

## 2.2 *Smart Grid*

Este trabalho pretende promover a integração de ERCs no cenário de *smart grid*, que é definido por Knapp e Samani (2013) como sendo um sistema moderno de eletricidade

que usa sensores, monitoramento, comunicação, automação e computadores para melhorar a flexibilidade e eficiência do sistema elétrico. Nesse contexto, a energia fornecida pelas concessionárias deve se tornar mais uma opção dentre outras fontes, como sistemas que utilizam energia solar e eólica por exemplo. Toledo (2012), observa que o conceito de *smart grid* ou rede elétrica inteligente, difere de acordo com quem o define. Alguns especialistas focam o conceito na área de automação da rede, outros na cadeia de fornecimento de energia, outros ainda na melhoria dos canais de interação e serviços para o consumidor. A razão disso é que tal definição varia de acordo com as necessidades (reduzir perdas, poluentes, custos operacionais) e o ponto de vista (financeiro, ambiental, entre outros).

A realidade da *Smart Grid* deve transformar o sistema elétrico em uma moderna rede que permitirá às concessionárias de energia e aos consumidores mudar a forma como disponibilizam e consomem energia. A parte mais visível dessa evolução atualmente, está no uso, em larga escala, dos medidores eletrônicos de energia, que permitirão, em curto prazo, exercitar novas modalidades tarifárias e novos comportamentos de consumo.

A lógica da *smart grid* está em uma palavra: inteligência. Isso quer dizer que as novas redes serão automatizadas com medidores de qualidade e de consumo de energia em tempo real, ou seja, o estabelecimento irá conversar com a empresa geradora de energia e num futuro próximo, até fornecer eletricidade para ela (ALVARENGA et al., 2016). Estes medidores inteligentes, ou *Smart Metering*, são definidos por Yan et al. (2013) como um medidor avançado, que identifica o consumo de energia com muito mais detalhes do que um medidor convencional e comunica a informação obtida para o consumidor para fins de monitoramento de carga e de faturamento.

No Brasil, já existem linhas de pesquisa e desenvolvimento com foco em *smart grid*, como no caso do CPQD (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações) que atua principalmente no desenvolvimento de aplicações de gestão voltadas para *Smart Grid*, além de iniciativas e projetos piloto como o programa “Cidades do Futuro” proposto pela Companhia Energética de Minas Gerais CEMIG (2015) já em fase de implantação.

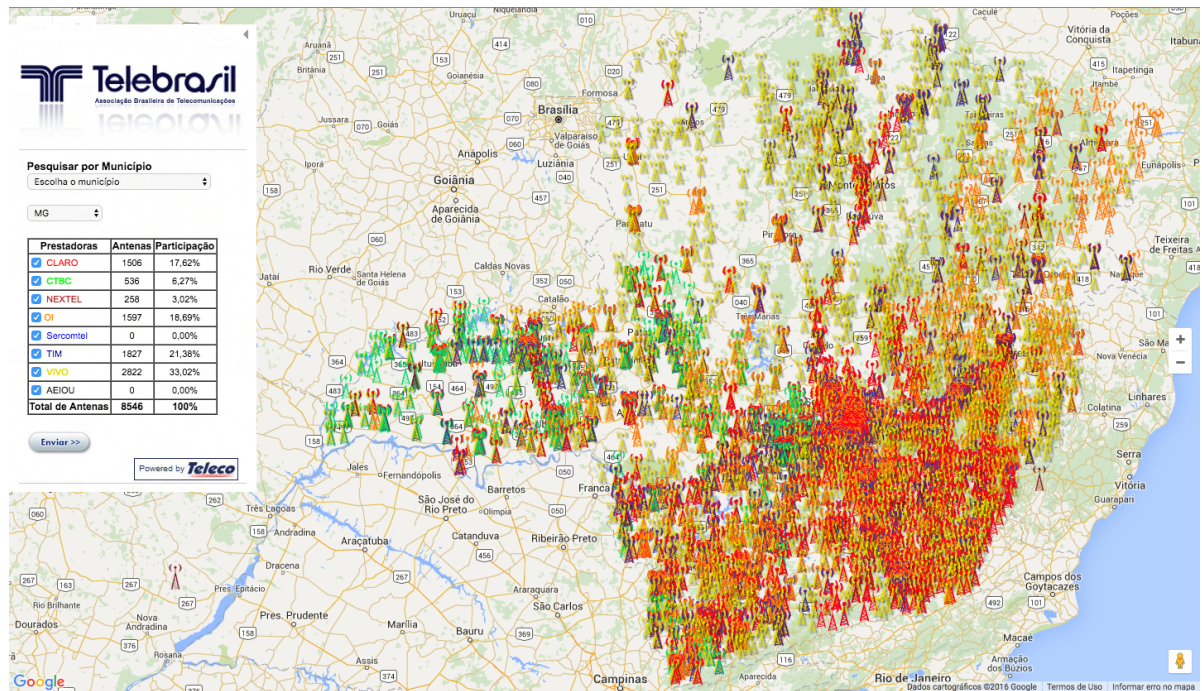
### **2.2.1 *Smart Grids* no cenário de redes e telecomunicação**

A dependência da energia elétrica, posiciona todo o sistema de telecomunicações como um cliente potencial para uma *smart grid*. Mesmo nos casos onde uma ERC dispõe de fontes alternativas de energia como solar ou eólica, a viabilidade de ligação com a rede

elétrica convencional de energia, também deve ser avaliada, para garantia de múltiplas fontes de energia.

As ERBs e ERCs apresentam uma densidade considerável de infraestrutura de comunicação que depende da energia elétrica. A Figura 2.3 demonstra uma ilustração da quantidade de ERBs no estado de Minas Gerais.

Figura 2.3 – Mapa com a quantidade de ERBs em Minas Gerais



Fonte: Telebrasil (2016)

O total de 8.546 ERBs, apresentando na Figura 2.3, se refere apenas às estações de telefonia celular cadastradas no sistema da ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) por usarem frequências de rádio com registro. Demais estações que não fazem uso de radiofrequência, como é o caso de estações para regeneração de sinal óptico, não são representadas na Figura 2.3.

### 2.3 Sistemas de comunicação para *smart grid*

O posicionamento geográfico de uma ERC requer a utilização de tecnologias de comunicação com cobertura de grande alcance. A distância de uma ERC até áreas urbanas pode inviabilizar a utilização de algumas tecnologias de rede. Uribe-Pérez et al. (2016) afirma que o sucesso da implementação de um sistema de *Smart Metering* (Medidores inteligentes), depende muito da escolha da tecnologia de comunicação. Diferentes

aspectos, tais como a aplicação final, as características de localização, e a topologia da rede elétrica, entre outros, influencia fortemente na escolha da tecnologia de comunicação mais adequada. Os *Smart Metering* são componentes comumente usados para implementação de *Smart Grids*, voltados para leitura do consumo da energia utilizada. Lopes et al. (2012) enfatiza que *smart grid*, do ponto de vista das comunicações, será suportada por um conjunto heterogêneo de tecnologias de rede possivelmente em domínios diferentes, na medida em que nenhuma solução tecnológica atende completamente os requisitos da *smart grid*.

Em uma proposta voltada para o cenário de *smart grid*, MME (2010) propõem que a área de telecomunicações seja vista em quatro camadas:

- a) HAN - *Home Area Network*;
- b) LAN - *Local Area Network*;
- c) RAN - *Regional Area Network*;
- d) WAN - *Wide Area Network*.

Cada camada correspondendo a um trecho no qual as informações deverão trafegar. Uma vez que, este trabalho tem uma proposta voltada para ERCs, foi necessário avaliar sobretudo, as tecnologias com capacidade de atendimento para *RANs* e *WANs*.

Considerando o meio de transmissão ou mídia de acesso, as tecnologias utilizadas em *smart grids* podem ser vistas em duas categorias; tecnologias que fazem uso de cabos ou fios e tecnologias *wireless* ou sem fio. O emprego de uma tecnologia depende da viabilidade técnica para a área que se pretende atender, bem como características como requisitos de banda e posicionamento geográfico.

### 2.3.1 Tecnologias com fio

As potenciais tecnologias de redes de comunicação com fio para o atendimento de *smart grid* são apresentadas na Tabela 2.1, que evidencia o alcance geográfico de cada tecnologia:

- a) **Redes *PLC*** - A tecnologia PLC (*Power Line Communication*) ou BPL (*Broadband over Power Lines*) é bastante antiga, sendo derivada do *Power Line Carrier* desenvolvida no início do século XX, com vários padrões de comunicação diferentes

Tabela 2.1 – Tecnologias com uso de cabos para smart grids

Tecnologia	Espectro	Banda	Alcance	Vantagens	Desvantagens
PLC	3-500 kHz 1.8 a 250 MHz	500 kbps a 100 Mbps	Até 3 km	Médio custo e ativos não dependentes de bateria	Cabos de energia sujeitos a ruídos e limitação de distância
xDSL	25 kHz a 1 MHz	800 kbps a 100 Mbps	Até 5 km	Médio custo e boa largura de banda	Alto custo de manutenção e limitação de distância
PON	500 MHz	155 a 2.5 Gbps	60 km	Imunidade a ruídos e longo alcance	Alto custo

Fonte: Adaptado de Uribe-Pérez et al. (2016)

em diversos países. Atualmente, utiliza a rede elétrica para transmitir dados em altas velocidades (perto de 200Mbps) em frequências de 1,7 MHz até a 30 MHz. Essa tecnologia está bem resolvida em sistemas internos, como interior de prédios ou de residências, mas ainda enfrenta alguns desafios para o ambiente externo, especialmente na rede da concessionária, por causa das perdas, ruídos aleatórios próprios da rede ou gerados pelos consumidores, atenuação, variação de impedância, etc. (SENRA, 2013). Picorone e Ribeiro (2015) observa que as experiências com o uso da tecnologia PLC no Brasil, majoritariamente apoiados com recursos de P&D ANEEL têm sido desanimadoras, pois as tecnologias PLC analisadas não foram desenvolvidas a partir das características das REE (Redes de Energia Elétrica) brasileiras. Na quase totalidade desses projetos de P&D é reportado que o emprego da tecnologia PLC não é confiável devido às características inerentes das REE. Além das dificuldades encontrados para o uso da tecnologia PLC no Brasil, deve ser considerado que o uso da mesma, seria adequado para o monitoramento da rede elétrica a partir da própria concessionária de energia. O sistema PLC se torna tecnicamente inviável para atendimento das ERCs, principalmente pelo fato da localização das ERCs no perímetro onde uma rede PLC não consegue atuar;

- b) **Redes xDSL** - Forouzan (2007) descreve o *xDSL* (*Digital Subscriber Line*) como um conjunto de tecnologias, das quais diferindo pela primeira letra (*ADSL*, *VDSL*, *HDSL*, e *SDSL*). Por isso o conjunto é chamado de xDSL. A Tabela 2.2 apresenta variações das redes xDSL e suas respectivas características.

Tabela 2.2 – Resumo das tecnologias DSL.

<b>Tecnologia</b>	<b>Velocidade de Downstream</b>	<b>Velocidade de Upstream</b>	<b>Distância</b>
ADSL	1,5 a 6,1 Mbps	16 a 640 kbps	3,6 km
ADSL Lite	1,5 Mbps	500 kbps	5,4 km
HDSL	1,5 a 2 Mbps	1,5 a 2 Mbps	3,6 km
SDSL	768 kbps	768 kbps	3,6 km
VDSL	25 a 55 Mbps	3,2 Mbps	900 metros a 3 km

Fonte: Adaptado de Forouzan (2007)

Como pode ser visto na Tabela 2.2, o alcance das redes DSL pode chegar a 5,4 km, distância. Outra característica é que as redes xDSL dependem de infraestrutura de postes, requisito que pode inviabilizar seu uso para atendimento de ERCs, uma vez que as concessionárias de energia nem sempre autorizam a utilização de cabos de comunicação juntamente com a rede elétrica;

- c) **Redes Ópticas *PON*** - As redes ópticas estão presentes como solução de interligação para *smart grid*. Uma abordagem mais recente são as redes *PON* (*Passive Optical Network*), que utilizam *splitter* óptico para derivação dos cabos e melhor aproveitamento da mídia sem elementos ativos. Atualmente, dois padrões são utilizados para redes *PON*, o IEEE (2004) que normatiza o padrão 802.3ah e a ITU (2012) que normatiza o padrão G.984.1. A principal diferença entre os padrões é o fato do padrão IEEE ser baseado no protocolo *Ethernet* e o padrão ITU utilizar um protocolo próprio para segregação de dados, voz e imagem em canais lógicos distintos. O atendimento de *smart grids* por meio de redes *PON* pode ocorrer em função da viabilidade técnica, entretanto, apesar de oferecer um alcance de 60km como apresentado na Figura 2.1, o emprego de redes *PON* se torna apropriado para atendimento urbano onde há infraestrutura de postes com área reservada para cabos de telecomunicação, requisito que pode dificultar sua utilização para atendimento de uma ERC.

### 2.3.2 Tecnologias sem fio

Sob o ponto de vista geral de redes sem fio, o IEEE (2014) organiza grupos de estudo segundo a abrangência geográfica e propósitos de uso das redes, com as seguintes classificações:

- a) 802.15 WPAN - *Wireless Personal Area Network* - Desenvolve padrões para redes sem fio de curta distância para uso pessoal, abordando dispositivos móveis como telefones celulares, computadores portáteis e outros eletrônicos de uso pessoal; permitindo que esses dispositivos comuniquem em entre si;
- b) 802.11 WLAN - *Wireless Local Area Network* - Trabalha na padronização para redes locais sem fio;
- c) 802.16 WMAN - *Wireless Metropolitan Area Network* - Desenvolve normas e práticas recomendadas para apoiar o desenvolvimento e implantação de banda larga sem fio em áreas metropolitanas;
- d) 802.22 WRAN - *Wireless Regional Area Network* - Grupo de Trabalho sobre a área de Redes sem fio Regionais, desenvolve uma ampla variedade de padrões para permitir a partilha de espectro. Os projetos autorizados incluem, 802.22, 802.22.1, 802.22.2, 802.22a, 802.22b, e o 802.22.3;
- e) 802.20 MBWA - *Mobile Broadband Wireless Access* - Grupo de Trabalho com a missão de desenvolver a especificação de pacote baseado em interface sem fio eficiente. O objetivo é permitir a implantação mundial de preços acessíveis, onipresentes, *always-on* e interoperáveis de vários fornecedores de banda larga móvel e redes de acesso sem fio que atendam às necessidades dos mercados de usuários finais residenciais e empresariais.

A Tabela 2.3 apresenta as potenciais tecnologias para uso em *smart grid*, organizadas de acordo com seu alcance geográfico e outras características relevantes como: tecnologia, espectro, banda e limitações.

As tecnologias de redes derivadas do sistema GSM apresentado na Tabela 2.3 se destacam como opção para cobertura de áreas geograficamente maiores. Os grupos de estudo do IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) trabalham com mais opções como os padrões 802.20 e o 802.22 que possuem alguns atributos para maior

Tabela 2.3 – Potenciais tecnologias para uso em *smart grid*.

Tecnologia	Espectro	Banda	Alcance	Limitações
<b>GSM, GPRS</b>	900-1800MHz	Até 170 kbps	1-10 km	Baixa largura de banda
<b>4G</b>	2.5 GHz	Até 200 Mbps	1-50 km	Alto custo regulatório de espectro
<b>Wi-Fi IEEE 802.11</b>	2.4 -5.8 GHz	Até 155 Mbps	1-300 m	Curto Alcance
<b>WiMAX</b>	2.5 GHz, 3.5 GHz, 5.8 GHz	Até 75 Mbps	1-5 km 1-5 km 10-50 km	Poucas implementações
<b>ZigBee</b>	2.4 GHz 868-915 MHz	Até 250 kbps	30-90 m	Curto alcance e baixa largura de banda
<b>Bluetooth</b>	2.4-2.4835 MHz	Até 721 kbps	1-10 m	Curto alcance e alto consumo de energia

Fonte: Adaptado de Lopes et al. (2012)

cobertura, porém com propósitos voltados principalmente para redes móveis e veiculares, conforme a Tabela 2.3, na sequência serão abordadas as tecnologias sem fio mais relevantes:

**Redes Celulares - GSM, GPRS e SMS** - O GSM (*Global System for Mobile Communication*) é um padrão europeu que foi desenvolvido para oferecer tecnologia de segunda geração comum para toda a Europa. O objetivo era de substituir uma série de tecnologias de primeira geração incompatíveis entre si (FOROUZAN, 2007). Inicialmente, a proposta do sistema GSM estava voltada para o serviço de voz, utilizando canais com largura de 200kHz separadas por bandas de guarda em uma estrutura de *frame* baseada em 8 *time slots*, que são as fatias de tempo que compõe cada quadro ou *frame* de transmissão. O sistema GSM utiliza duas faixas de frequência em *simplex* para formar uma comunicação *duplex*. Dessa forma, se tem duas famílias de canais, uma no sentido da base para os terminais de clientes e outra atuando no sentido inverso.

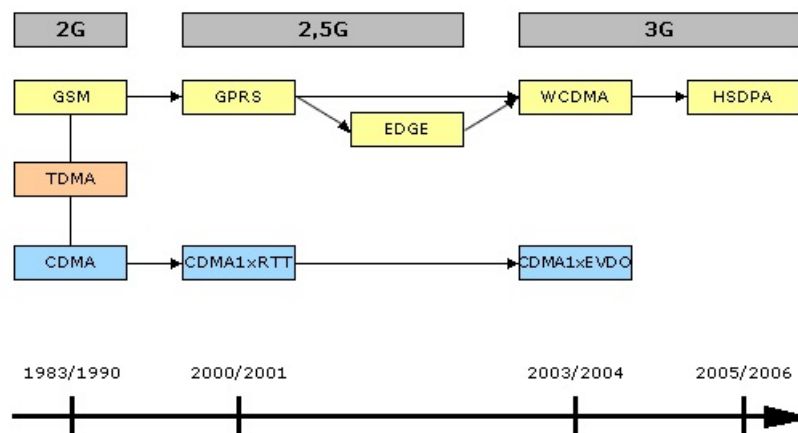
A transmissão de dados realizada pelo sistema GSM trabalha com o conceito de reserva de *slots*, onde ao se estabelecer uma conexão, cada *slot* pode ser utilizado para voz ou dados. Segundo Tude (2003), em meados do ano 2000, uma técnica chamada HSCSD (*High-Speed Circuit-Switched Data*) surgiu como primeira evolução para resolver a limitação no uso de dados pelo sistema GSM. A proposta foi usar mais *slots* de tempo do *frame* GSM pra transmissão de dados e essa técnica ofereceu melhores taxas para

atender a demanda por mais um período de tempo. No entanto, o HSCSD manteve a dependência com a estrutura de reserva fixa de *slots* proposta pelo sistema GSM, exigindo grande quantidade de recursos da rede e uma limitação eminente.

O GPRS (*General Packet Radio Service*) é um serviço de pacotes de dados implantado juntamente com a infraestrutura de redes GSM. O serviço GPRS se diferencia do GSM pela forma de tratamento dos pacotes de dados, utilizando uma alocação dinâmica de *slots* ao invés da reserva fixa empregada no GSM. Essa nova técnica permitiu um serviço de dados com conexão permanente, chamada algumas vezes de *always on* (TUDE, 2003). Desenvolvidos para possibilitar o tráfego de dados através das redes de 2G já estabelecidas, os sistemas GPRS, EDGE e 1xRTT, considerados de 2,5G, são soluções com custos de implantação relativamente baixos e performances consideráveis, tendo em vista que operam dentro de padrões desenvolvidos para tráfego de voz (OLIVEIRA, 2007).

A Figura 2.4 demonstra uma evolução partindo do 2G até o 3G.

Figura 2.4 – Evolução da transmissão de dados na rede celular



Fonte: Oliveira (2007)

Um estudo detalhado realizado por Uribe-Pérez et al. (2016) observou que apesar da maioria dos países europeus utilizar alternativas com fio no atendimento de *smart grids*, redes celulares, especialmente o GPRS, também podem ser encontradas em algumas implementações. O GPRS é uma tecnologia de padrão aberto com tecnologia eficaz e viável. Neste mesmo estudo, são citadas experiências com o uso de SMS e GPRS para realização de leitura em medidores inteligentes, apresentando uma taxa de 97,89% de sucesso na primeira tentativa de leitura;

**Serviço SMS** - O IETF (2010) define o serviço SMS (*Short Message Service*) na RFC 5724 como parte integrante do sistema GSM de telefonia. As mensagens SMS são limitadas ao tamanho de 160 caracteres alfanuméricos, ou 140 octetos. Outros conjuntos de caracteres especiais podem ser suportados, mas são definidos como opcionais às especificações do padrão SMS. Para entrega nas redes GSTN (*General Switched Telephone Network*), como é o caso das redes de telefonia celular, as mensagens SMS são armazenadas por uma entidade chamada Centro de SMS (SMSC) e enviadas para o destinatário quando este estiver ativo na rede GSM, esta característica acrescenta confiabilidade no uso do SMS.

Apesar das limitações de quantidade e tipos de caracteres, por ser um padrão nativo das redes GSM, as mensagens SMS se tornam uma alternativa confiável para um grande número de aplicações de monitoramento e notificação que não necessitam transmitir grandes informações em uma única mensagem. Mesmo assim, segundo o IETF (2010), existem vários métodos para realizar a concatenação de mensagens que possibilitam a transmissão de informações que excedam os 160 caracteres;

**Redes microondas e WiMAX** - As ondas eletromagnéticas com frequência entre 1 e 300GHz são denominadas micro-ondas. Micro-ondas são unidirecionais. Quando uma antena transmite micro-ondas, elas podem ser concentradas em uma região estreita. Isso significa que as antenas emissora e receptora precisam estar alinhadas. A propriedade unidirecional tem uma vantagem óbvia. Um par de antenas pode ser alinhado sem interferir em outro par de antenas alinhadas. Devido às suas propriedades unidirecionais, são muito úteis quando a comunicação *unicast* (um para um) se faz necessária entre o emissor e o receptor. Elas são usadas em telefones celulares, redes de satélites e redes locais sem fios (FOROUZAN; MOSHARRAF, 2013).

Considerando que a proposta deste trabalho tem o foco no atendimento de ERCs, a utilização de tecnologias de comunicação sem fio se apresenta como uma opção viável, tanto tecnicamente, quanto sob o aspecto financeiro, uma vez que o uso de redes ópticas, por exemplo, requer infraestrutura que nem sempre está disponível para chegar nas ERCs.

As redes privadas são tipicamente utilizadas para baixa latência e soluções para sistemas críticos. As faixas não licenciadas, que para o Brasil significam faixas da radiação restrita, utilizadas para RF Mesh, bem como WiMAX são empregadas para aplicações de última milha. Para o *backhaul*, as redes comumente empregadas são as redes ponto-

a-ponto licenciadas e não licenciadas e redes privadas operando com WiMAX 3,65 GHz (MME, 2010);

**ZigBee e Bluetooth** - Para Yi, Iwayemi e Zhou (2011), o padrão *ZigBee*, possui características como tolerância a falhas, escalabilidade e capacidade de comunicar com outros nós dentro de seu alcance. Estes atributos tornam o *ZigBee* adequado para o atendimento doméstico de *smart grids*. Segundo Uribe-Pérez et al. (2016), o *Bluetooth* é uma opção possível de ser utilizada, porém é a tecnologia menos utilizada por proporcionar um grau inferior de segurança comparado com outras tecnologias. Tanto o *ZigBee* quando o *Bluetooth*, oferecem pequena cobertura, característica que posiciona estes padrões como solução doméstica ou *indoor* de comunicação para *smart grids*.

## 2.4 Qualidade da Energia Elétrica (QEE)

Do ponto de vista do atendimento das ERCs, o tema QEE (qualidade da energia elétrica) tem grande relevância, pois é requisito básico para a estabilidade de uma rede de comunicação. Problemas de QEE podem afetar sistemas de comunicação importantes como telefonia, internet e redes de dados de forma geral.

O conceito de QEE, não apresenta uma definição única, visto que pode ser observado de diferentes pontos de vista. Segundo o INERGE (2012) a QEE pode ser dividida em três áreas: qualidade comercial, qualidade do produto e qualidade do serviço ou fornecimento. A qualidade (ou continuidade) do fornecimento (ou serviço) mensura a confiabilidade do sistema, e normalmente é avaliada pela duração e frequência das interrupções de longa duração. A ANEEL (2015b) no Módulo 8 do PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional), trata especificamente da QEE para o cenário Brasileiro, abordando os parâmetros que devem ser considerados em QEE. Neste módulo, semelhantemente ao INERGE, a ANEEL divide a análise da QEE da seguinte forma:

- a) Qualidade do produto - define a terminologia, caracteriza os fenômenos e estabelece os parâmetros e valores de referência relativos à conformidade de tensão em regime permanente e às perturbações na forma de onda de tensão;
- b) Qualidade do serviço - estabelece os procedimentos relativos aos indicadores de continuidade e dos tempos de atendimento;

- c) Disposições transitórias - trata do planejamento do processo de implantação dos indicadores de qualidade do produto da energia elétrica.

Uma definição mais genérica é apresentada por Bollen e Gu (2006), que define: Qualidade de Energia Elétrica é a combinação entre a qualidade da tensão e a qualidade da corrente. Uma tensão ideal é uma tensão senoidal com amplitude e frequência constantes, onde ambos apresentam valores nominais. Sendo esta, uma definição mais técnica, sem abordar o foco comercial da prestação do serviço.

## 2.5 Indicadores de qualidade da energia

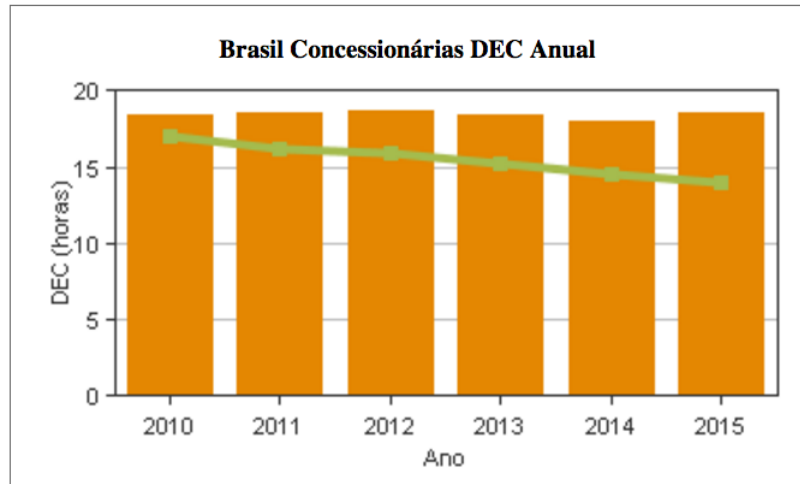
De acordo com a ANEEL (2015a) as distribuidoras são avaliadas em diversos aspectos no fornecimento de energia elétrica. Entre eles, está a qualidade do serviço e do produto oferecidos aos consumidores. A quantidade e a duração das interrupções de modo geral são utilizadas como parâmetro principal que compõem os indicadores de qualidade na prestação de serviço de distribuição de energia considerados pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Os principais indicadores utilizados pela ANEEL são baseados na continuidade da prestação do serviço com os seguintes índices:

- a) DEC - Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora;
- b) FEC - Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora.

Para uma análise coerente, os dois modelos de indicadores devem ser considerados conjuntamente, dada a importância tanto da duração de uma interrupção quanto a frequência com que as interrupções ocorrem. A apuração dos indicadores é realizada pelas distribuidoras de energia que enviam de forma periódica os dados para ANEEL, permitindo uma avaliação do serviço de distribuição de energia em função das interrupções detectadas. Com relação às apurações dos indicadores realizadas pelas distribuidoras, possivelmente os valores reais de interrupção representam um nível maior do que os apresentados para a ANEEL, visto que o registro de diversas falhas e interrupções está sujeito a protocolos como a abertura de ordem de serviço para reparos e notificações realizadas pelo consumidor, uma vez que as interrupções nem sempre acontecem em localidades onde a concessionária de energia dispõe de sistema de monitoramento ou supervisão.

A Figura 2.5 demonstra o gráfico do indicador DEC nos últimos 5 anos consolidados.

Figura 2.5 – Indicador DEC nos últimos 5 anos

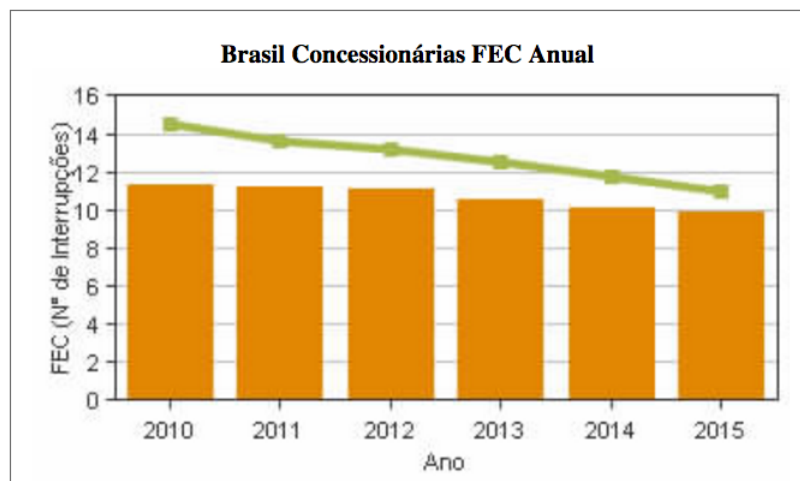


Fonte: ANEEL (2015a)

Na Figura 2.5, as barras verticais representam os valores apurados de interrupção, dados em horas. A linha verde na horizontal, representa o limite estabelecido para as interrupções. É possível observar que nos últimos 5 anos a meta estabelecida pela ANEEL para a duração das interrupções não foi cumprida pelas concessionárias de energia, uma vez que os valores apurados superam o limite de forma recorrente. Os valores apresentados correspondem a média nacional, independente da localidade do medidor, se está em área urbana ou não.

A Figura 2.6 demonstra o gráfico do indicador FEC nos últimos 5 anos consolidados. A meta estabelecida pela ANEEL está representada pela linha horizontal e os valores apurados estão dentro da meta.

Figura 2.6 – Indicador FEC nos últimos 5 anos



Fonte: ANEEL (2015a)

A Tabela 2.4 apresenta os valores detalhados dos últimos 3 anos dos índices DEC e FEC.

Tabela 2.4 – Números dos indicadores DEC e FEC - últimos 3 anos.

	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
DEC APURADO (horas)	18,35	18,06	18,59
DEC LIMITE (horas)	15,19	14,58	13,94
FEC APURADO	10,53	10,10	9,86
FEC LIMITE	12,47	11,77	11,03
Nº DE CONSUMIDORES	<b>73.269.802</b>	<b>75.321.926</b>	<b>77.179.513</b>

Fonte: Adaptado de ANEEL (2015a)

De acordo com a ANEEL (2010) em sua resolução normativa, perturbações como por exemplo; subtensões, sobretenções, *brownout*, transitórios entre outras, não são classificadas como interrupção de energia elétrica, como no caso de um *blackout* por exemplo. Dessa forma, essas perturbações não entram nas estatísticas de interrupções das concessionárias de energia e conseqüentemente não influenciam os indicadores DEC e FEC.

Souza (2002), afirma que, do ponto de vista do usuário, uma interrupção, mesmo não comprometendo a estatística de qualidade do fornecedor, pode significar horas de parada de produção e, por conseqüência, consideráveis perdas financeiras. Além disto, o usuário pode estar sendo afetado por outros distúrbios que não são percebidos pelo monitoramento do fornecedor, mas que de alguma forma são gerados no âmbito do sistema.

No trabalho de Rosa (2009), o autor sugere uma metodologia alternativa para avaliação da qualidade da distribuição de energia, comparando os métodos utilizados para obtenção dos índices DEC e FEC com os métodos de diversos países. O autor questiona a manutenção do DEC e FEC como indicadores de qualidade. Entretanto, o presente trabalho não pretende questionar ou mesmo substituir os indicadores atuais, mas oferecer um sistema onde o próprio consumidor possa monitorar a QEE com maior critério, com disponibilidade e notificação das informações de forma autônoma a partir de uma unidade consumidora.

Entende-se, portanto, que os índices de DEC e FEC utilizados como indicadores da qualidade de energia, podem não representar com fidelidade a realidade de localidades específicas, como no caso do atendimento das ERCs.

Desta forma, entende-se que os métodos para detecção de distúrbios elétricos e notificação de vários problemas na distribuição de energia por parte das concessionárias não

são eficientes para o atendimento de ERCs, que por sua vez, estão amparadas pelo uso dos índices apresentados que desconsideram diversos tipos de problemas que influenciam na QEE. Diante deste cenário, a disponibilidade de um sistema capaz de detectar e comunicar um nível de QEE mais confiável, fica sob a responsabilidade do próprio consumidor.

## 2.6 Distúrbios na rede elétrica

As redes de energia elétrica estão sujeitas a perturbações eletromagnéticas ou simplesmente distúrbios. Estes fenômenos são provocados por vários fatores que comprometem a QEE. Deckmann e Pomilio (2010) definem distúrbio eletromagnético como qualquer fenômeno eletromagnético que pode degradar o desempenho de um dispositivo, equipamento ou sistema, e afetar adversamente matéria viva ou inerte. Pinheiro (2008), define como todo fenômeno eletromagnético, notadamente um ruído eletromagnético, um sinal indesejado ou a modificação não planejada do próprio meio de transmissão, suscetível de criar problemas de funcionamento em equipamentos ou sistemas de comunicação.

Outras fontes de energia elétrica como placas solares, turbinas eólicas e até mesmo banco de baterias, também podem sofrer com perturbações eletromagnéticas. No entanto, por serem estruturas locais, sem uso de redes de distribuição e com cabos de curta metragem, se tornam alternativas menos expostas às perturbações eletromagnéticas. Souza (2002), destaca que da mesma forma que qualquer outro produto, o fornecimento de energia elétrica está sujeito a vários fatores de degradação, envolvendo tanto o produto diretamente, quanto o serviço vinculado a ele.

Neste trabalho serão tratados os principais distúrbios de tensão e para isso, serão apresentados os distúrbios de maior relevância, enfatizando suas influências na qualidade da energia das estações de comunicação e rede de computadores.

### 2.6.1 Sobretensão e Subtensão

**Sobretensão** - é o aumento do valor RMS (*Roots Mean Square*) da tensão durante mais de 1 minuto. Esse seria o prolongamento da elevação de tensão. Em geral os equipamentos apresentam menor tolerância a sobretensões do que a subtensões, devido a problemas de rompimento do dielétrico.

**Subtensão** - é a redução do valor RMS da tensão durante mais de 1 minuto. Corresponde ao prolongamento do afundamento de tensão. Pode causar problemas para

motores de indução que perdem torque e podem ficar sobrecarregados (DECKMANN; POMILIO, 2010).

### 2.6.2 Transitórios

O termo transitório é empregado para caracterizar a ocorrência de um evento de curta duração no sistema elétrico. Fenômenos transitórios ocorrem no sistema em função de diversas condições. Muitos transitórios são decorrentes de variações instantâneas na corrente, as quais interagem com a impedância do sistema, resultando em elevadas tensões instantâneas. Transitórios podem também ser consequência de cargas com operação intermitente, chaveamento de bancos de capacitores, faltas fase-terra, operação de dispositivos de semicondutores e falhas em condutores (FERREIRA, 2010).

### 2.6.3 Brownout

*Brownout* é um termo usado com frequência para designar uma situação que ocorre na rede elétrica e que pode provocar a queima de equipamentos. Podemos defini-lo como uma subtensão severa e prolongada, que ocorre normalmente quando uma das fases da rede cai. Essa situação provoca um forte desbalanceamento de tensão, sendo que a outra fase, na reabsorção de corrente, fica com um valor de tensão muito abaixo do nominal (PINHEIRO, 2008).

### 2.6.4 Interrupção

Interrupção é a queda brusca da amplitude da componente fundamental em valores abaixo que 0,1 pu, sendo classificada entre interrupção momentânea (duração entre 30 ciclos e 3 s) e interrupção temporária (duração entre 3 s a 1 min). As causas de interrupções são faltas, falhas em equipamentos de fornecimento de energia e equipamentos de controle (MARQUES, 2007).

### 2.6.5 Variação de Frequência

ANEEL (2015b), estabelece que o sistema de distribuição e as instalações de geração conectadas ao mesmo devem, em condições normais de operação e em regime permanente, operar dentro dos limites de frequência situados entre 59,9 Hz e 60,1 Hz. As

instalações de geração conectadas ao sistema de distribuição devem garantir que a frequência retorne para a faixa de 59,5 Hz a 60,5 Hz, no prazo de 30 (trinta) segundos após sair desta faixa. Havendo necessidade de corte de geração ou de carga para permitir a recuperação do equilíbrio carga-geração, durante os distúrbios no sistema de distribuição, a frequência:

- a) Não pode exceder 66 Hz ou ser inferior a 56,5 Hz em condições extremas;
- b) Pode permanecer acima de 62 Hz por no máximo 30 (trinta) segundos e acima de 63,5 Hz por no máximo 10 (dez) segundos;
- c) Pode permanecer abaixo de 58,5 Hz por no máximo 10 (dez) segundos e abaixo de 57,5 Hz por no máximo 05 (cinco) segundos.

A Tabela 2.5, apresenta uma classificação com os parâmetros que diferenciam as variações de tensão segundo o tempo de duração e amplitude.

Tabela 2.5 – Classificação das variações de tensão.

<b>Classificação</b>	<b>Denominação</b>	<b>Duração da Variação</b>	<b>Amplitude da tensão (vl. eficaz) em relação à tensão de referência</b>
Variação Momentânea de tensão	Interrupção Momentânea de tensão	Inferior ou igual a três segundos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Momentâneo de tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos	Superior ou igual a 0,1 p.u e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Momentânea de tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou a três ciclos	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 p.u 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: Adaptado de ANEEL (2015b)

Além dos distúrbios apresentados, outras variações que recebem nomenclatura mais específica podem ser encontradas, algumas vezes um mesmo distúrbio pode ser classificado

segundo sua duração, como no caso de uma subtensão prolongada que também é chamada de *Brownout*.

## 2.7 Métodos de detecção de distúrbios

A detecção de distúrbios, em geral, compreende basicamente na extração de parâmetros e a aplicação de um algoritmo que realize a detecção baseada nos parâmetros extraídos (FERREIRA, 2010).

Segundo Marques (2007), grande interesse está sendo dado a técnicas de processamento de sinais para a detecção de distúrbios em QEE fazendo uso da transformada *Wavelet*. Tais técnicas apresentam desempenhos satisfatórios quando aplicadas em ambientes pouco ruidosos, mas se mostram sensíveis onde ruídos de fundo apresentam potência elevada. Por outro lado, as mesmas técnicas exigem custos computacionais elevados, fazendo com que suas implementações demandem hardware de elevado custo financeiro, ou até mesmo se tornam inviáveis para a utilização em tempo real.

No trabalho de Silva (2014) é proposto um método que utiliza rede neural para detecção de distúrbios de tensão com ótimos resultados no percentual de detecção. Apesar de eficiente, o método tem elevado custo computacional, por esta razão, seu uso numa proposta de tempo real torna-se inviável.

O trabalho apresentado por Souza et al. (2015), resultou em um protótipo de medidor de energia que usa o conceito de *CPT (Conservative Power Theory)*, o método utiliza valores de tensão e corrente como parâmetro para obtenção de um indicador de QEE, sua comunicação utiliza apenas redes *Wi-Fi*, característica esta que direciona este projeto para uso urbano ou para locais com infraestrutura de rede compatível, visto que o alcance dessa tecnologia, limita seu uso para o atendimento de ERC.

O método proposto por Mendes et al. (2015), utiliza o cálculo com o quadrado da distância euclidiana como parâmetro para detectar os distúrbios. Este método apresenta baixa complexidade computacional e eficiência na detecção de distúrbios. Estas características, segundo o autor, qualificam o método para o monitoramento em *smart grids*, onde os níveis de QEE requeridos são altos. O presente trabalho adapta esse método para utilização na etapa de detecção de distúrbios, pois emprega uma plataforma computacional simples, com a proposta de realizar a detecção de distúrbios em tempo real.

## 2.8 Trabalhos relacionados

Os trabalhos apresentados nesta seção apresentam características e propostas semelhantes às do presente trabalho. Entretanto, pretende-se evidenciar as diferenças, sobretudo, as vantagens do sistema desenvolvido neste trabalho. Na sequência serão abordados trabalhos acadêmicos e soluções comerciais.

### 2.8.1 Trabalhos acadêmicos

A utilização de rede GSM como alternativa para monitoramento de redes elétricas tem se tornado bastante comum, com diversos trabalhos trazendo soluções e evoluções. (FANG; GUO; LUO, 2009), implementou um sistema de monitoramento de energia, considerando a possibilidade de uso de uma rede ISDN para o tráfego de dados mais pesados como vigilância por vídeo e uma rede GPRS para demais dados, ou mesmo como única rede para localidades sem viabilidade de uma rede ISDN. Este trabalho considerou uma dupla abordagem de rede, usando GPRS e redes ISDN, ainda presentes na China, porém apenas em áreas metropolitanas.

Shao (2011), propôs um sistema de monitoramento de energia utilizando DSP (*Digital Signal Processor*) de 32-bit para fidelidade na obtenção das variações na rede elétrica, assim foi possível detectar com maior precisão as degradações na rede elétrica. Para transmissão dos dados obtidos foi usada uma comunicação PPP (*Point to Point Protocol*) sobre GPRS. Este trabalho não dispõe de uma interface *web*, além de não prover nenhum tipo de notificação com a operadora.

O trabalho apresentado em Souza et al. (2015), resultou em um protótipo de medidor de energia que usa o conceito de CPT (*Conservative Power Theory*), o método considera valores de tensão e corrente para obtenção de um indicador de QEE, sua comunicação utiliza apenas redes Wi-Fi, característica esta que direciona este projeto para uso urbano ou em locais com infraestrutura de rede compatível, visto que o alcance dessa tecnologia, limita seu uso para o atendimento de ERCs.

Hudson e Lea (2015) desenvolveram um projeto chamado *Open Energy Monitor*. Se trata de um sistema para monitoramento do consumo de energia, voltado também para uso com fontes alternativas de energia. O sistema é uma solução de código aberto e permite que a forma de comunicação seja escolhida, mas as configurações ou mesmo parte do desenvolvimento pode ficar por conta do usuário. Além do consumo, o sistema tam-



O SMS *Relay* <sup>1</sup> pode usar a rede de telefonia celular, pois possui uma interface padrão GSM incorporada, com isso pode enviar SMS para notificar eventos que podem ser sinalizados através de suas portas de comunicação. Apesar de apresentar algumas semelhanças com o presente trabalho, o SMS *Relay* utiliza somente a interface de comunicação GSM, impossibilitando uma abordagem dupla de comunicação e tolerância a falhas. Além disso, não dispõe de interface *web* para comunicação e configuração, além de não possuir um método para detecção de distúrbio, sua operação é baseada no uso de relés para informar se a tensão está acima ou abaixo do esperado.

Semelhante ao SMS Relay, a ABB *Automation Technologies AAT* (2008) também oferece um equipamento com interface GSM e interface de infravermelho para acesso e configuração do dispositivo.

A *Tycon Power System TYCON POWER SYSTEM* (2014), dispõe de um dispositivo com interface de comunicação *Ethernet*, sem uso de redes sem fio e GSM, mas com a opção de utilização do protocolo SNMP (*Simple Network Management Protocol*) para monitoramento. A Figura 2.8 demonstra o modelo TPDIN-Monitor-WEB <sup>2</sup> da Tycon.

Figura 2.8 – *Remote PowerSense Monitor and Control - Tycon Power System*



Fonte: TYCON POWER SYSTEM (2014)

<sup>1</sup> <https://www.comatreleco.com.br/sms-relay-controle-e-monitoramento-remoto-via-sms-celular/>

<sup>2</sup> <http://tyconsystems.com/index.php/products/tycon-power/tpdin-monitor-web>

Os equipamentos apresentados oferecem uma proposta voltada para comunicação de falhas elétricas de maior duração, mas não oferecem um método para detecção de distúrbio. Dessa forma, não é possível utilizar estes equipamentos para monitoramento da QEE de uma ERC. Além de não proverem redundância no meio de comunicação para fins de monitoramento.



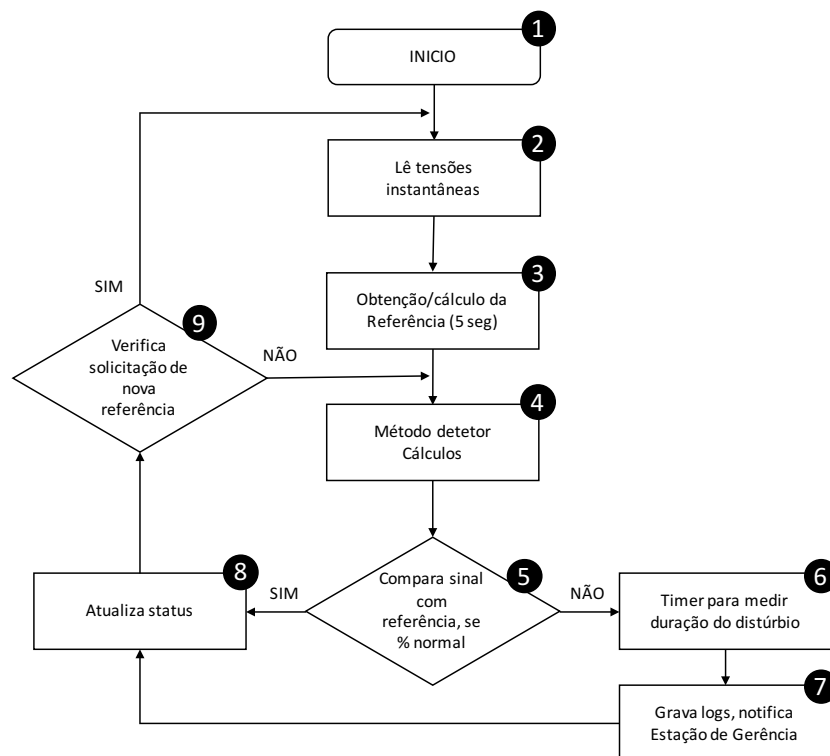
tamente para concessionária de energia. No caso da notificação com a concessionária, um protocolo de recebimento é gerado e retornado também por *SMS*, esta mensagem contendo o protocolo será automaticamente encaminhada para os números de gerência configurados na interface *web*.

As características técnicas da rede privada oferecem um meio de transmissão dedicado, com grande capacidade de banda e maior confiabilidade. Por isso a interface de comunicação *Ethernet* que disponibiliza o serviço *web* no sistema proposto está conectada na rede privada. Outra característica importante é que o endereçamento *IP* pode utilizar endereços de rede privada, mais seguros e com opção de atribuição fixa de endereço para a gerência via interface *web*.

As ERCs podem utilizar diferentes torres *GSM* para o serviço de *SMS*, visto que a distância entre ERC pode ser de dezenas de quilômetros. Como a ERC **B** na Figura 3.1, atendida por outra célula *GSM*.

Para melhor acompanhamento da sequência das principais funções do sistema, foi elaborado um fluxograma que pode ser visto na Figura 3.2.

Figura 3.2 – Fluxograma com as principais funções do sistema, detecção e comunicação



Fonte: Do autor (2016)

As etapas numeradas no fluxograma estão descritas na sequência:

- a) Etapa 1 - corresponde à ligação física, ou o *boot* do sistema. Nesta etapa o sistema inicia as interfaces de comunicação e serviços como o *web server*;
- b) Etapa 2 - é iniciada a leitura da rede elétrica para obtenção das amostras;
- c) Etapa 3 - um período de 5 segundos é reservado para obtenção das amostras usadas na formação do valor de referência para um sinal sem distúrbio;
- d) Etapa 4 - os cálculos com o método de detecção passam a ser realizados;
- e) Etapa 5 - valor ( $D$ ) obtido é comparado com o valor ( $D$ ) de referência, usando um percentual que poderá ser ajustado de acordo com o nível de QEE que se espera. Na ocorrência de distúrbio ele passa para a etapa (6) e caso não ocorra, passa para a etapa (8);
- f) Etapa 6 - um timer é acionado para registrar a duração do distúrbio;
- g) Etapa 7 - os valores são gravados num arquivo log, como tempo e distância de valores (sinal normal e distúrbio) e uma mensagem *SMS* pode ser enviada para uma estação de gerência e também para concessionária de energia;
- h) Etapa 8 - as informações são atualizadas para visualização por interface web, havendo ou não distúrbios;
- i) Etapa 9 - é verificado se o valor de referência recebeu um pedido de atualização. Esta atualização pode ser necessária se durante o processo de obtenção da referência ocorrer um distúrbio, neste caso, a referência ficaria com um valor adulterado. Se solicitada a atualização, o sistema volta à etapa (2), se não, volta para a etapa (4).

### 3.2 Requisitos de hardware

Para o desenvolvimento do protótipo com a parte física deste trabalho foram utilizados os seguintes componentes:

- a) Placa Arduino Mega com microcontrolador ATmega 2560 <sup>1</sup> - utilizada para o processamento dos sinais e desenvolvimento do código;

---

<sup>1</sup> <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>

- b) Interface de rede *Ethernet shield*<sup>2</sup> - utilizada na comunicação *IP* com a rede privada da ERC. Este componente possui uma unidade integrada para cartão de memória que foi utilizado no registro dos dados e logs em arquivos;
- c) Interface de rede *GSM shield*<sup>3</sup> - utilizada na comunicação com as redes *GSM* para o uso de mensagens *SMS*;
- d) Sensor *Zero Cross*<sup>4</sup> - usado para verificar a frequência da rede A/C;
- e) Circuito para acoplamento na rede A/C<sup>5</sup> - utilizado para leitura e obtenção dos valores de sinal senoidal.

### 3.3 Plataforma Arduino

O emprego da plataforma Arduino como componente de prototipagem deste trabalho se deu em função da variedade de placas e circuitos que podem ser utilizados para expansão de suas funcionalidades, principalmente interfaces de comunicação como as interfaces *Ethernet* e *GSM*.

Segundo Arduino (2014), Arduino<sup>6</sup> é uma plataforma eletrônica de código aberto baseado em hardware e software de fácil utilização. É uma plataforma *open-source* baseado em uma placa com microcontrolador simples e um ambiente de desenvolvimento para seu software. McRoberts (2011) apresenta a plataforma Arduino como um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de hardware e software.

Quanto ao software, a plataforma conta com uma IDE (*Integrated Development Environment*) para o desenvolvimento dos códigos, esta IDE pode funcionar nos principais sistemas operacionais como Windows, Mac e Linux. Para controlar novos dispositivos e funções, a plataforma Arduino trabalha com o conceito de bibliotecas. Segundo Arduino (2014), essas bibliotecas são uma coleção de código que torna mais fácil a conexão de novos dispositivos. Vários componentes e recursos estão presentes na plataforma Arduino, por isso, serão abordados os recursos aplicados neste trabalho como é o caso do ADC e do PWM.

<sup>2</sup> <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoEthernetShield>

<sup>3</sup> [http://http://www.tinyosshop.com/index.php?route=product/product&product\\_id=464](http://http://www.tinyosshop.com/index.php?route=product/product&product_id=464)

<sup>4</sup> <https://www.circuitar.com.br/nanoshields/modulos/zero-cross/>

<sup>5</sup> <https://openenergymonitor.org/emon/buildingblocks/measuring-voltage-with-an-acac-power-adapter>

<sup>6</sup> <https://www.arduino.cc>

### 3.3.1 ADC *Analog-to-digital Converter*

O ADC *Analog-to-digital Converter* é um componente integrado ao microcontrolador utilizado pela plataforma Arduino. Este componente converte valores ou sinais analógicos em valores digitais. A conversão gera um resultado de 10 bits e por este motivo utiliza 2 registradores. A resolução de 10 bits representa os valores entre 0 e V(REF) que corresponde a voltagem de referência, estes valores serão convertidos na escala entre 0 a 1023 bits.

$$ADC = \frac{V(IN).1024}{V(REF)} \quad (3.1)$$

Atmel (2014) apresenta um modo de operação do ADC chamado *Free Running*. Este modo permite que as amostras sejam obtidas de forma constante, atualizando o registrador do ADC. Neste modo o ADC realiza as conversões de forma sucessiva, sem a necessidade de provocar interrupções chamadas pelo código.

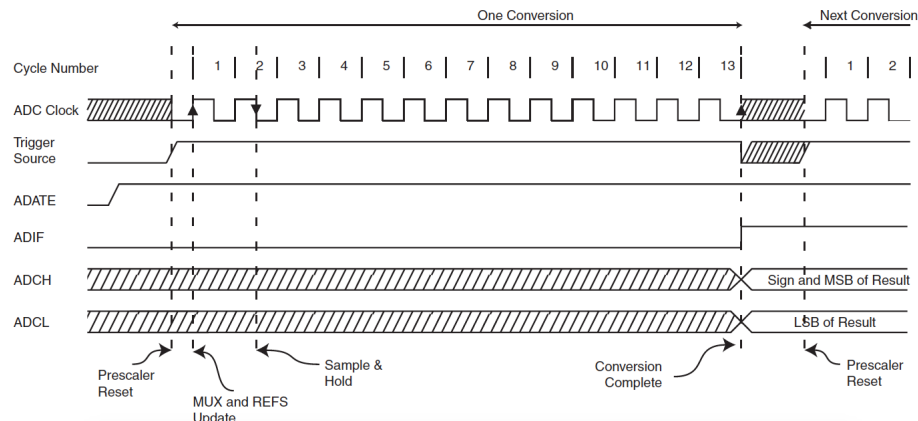
A Tabela 3.1 apresenta as possíveis configurações dos bits nos registradores para os possíveis modos de operação. Na coluna *Trigger Source*, entre as opções está o modo *Free Running*.

Tabela 3.1 – Seleção - *ADC Auto Trigger*.

ADTS2	ADTS1	ADTS0	Trigger Source
0	0	0	Free Running mode
0	0	1	Analog Comparator
0	1	0	External Interrupt Request 0
0	1	1	Timer/Counter0 Compare Match A
1	0	0	Timer/Counter0 Overflow
1	0	1	Timer/Counter1 Compare Match B
1	1	0	Timer/Counter1 Overflow
1	1	1	Timer/Counter1 Capture Event

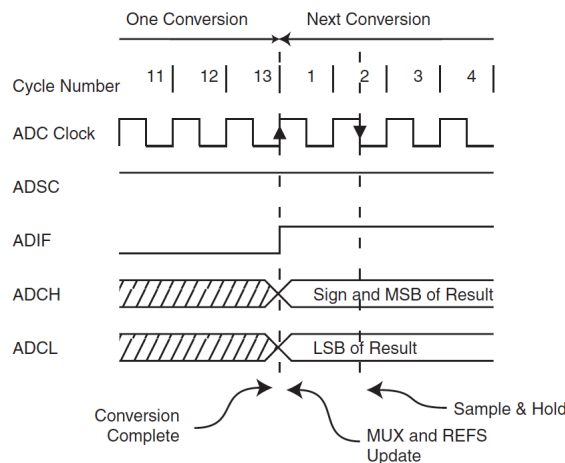
Fonte: Atmel (2014)

Na Figura 3.3 é possível observar como ocorre uma conversão normal, chamada de *Single Conversion*. O ADC gasta 13 ciclos para completar a conversão e após esta operação ocorre um intervalo até que a próxima conversão seja realizada.

Figura 3.3 – ADC *Single Conversion Mode*.

Fonte: Atmel (2014)

A Figura 3.4 demonstra a operação do modo *Free Running*.

Figura 3.4 – ADC *Free Running Mode*.

Fonte: Atmel (2014)

No modo *Free Running*, completada a conversão no 13º ciclo, os valores são atualizados nos registradores e a próxima conversão é iniciada sem que ocorra o intervalo observado no modo *Single Conversion*.

### 3.3.2 PWM *Pulse Width Modulation*

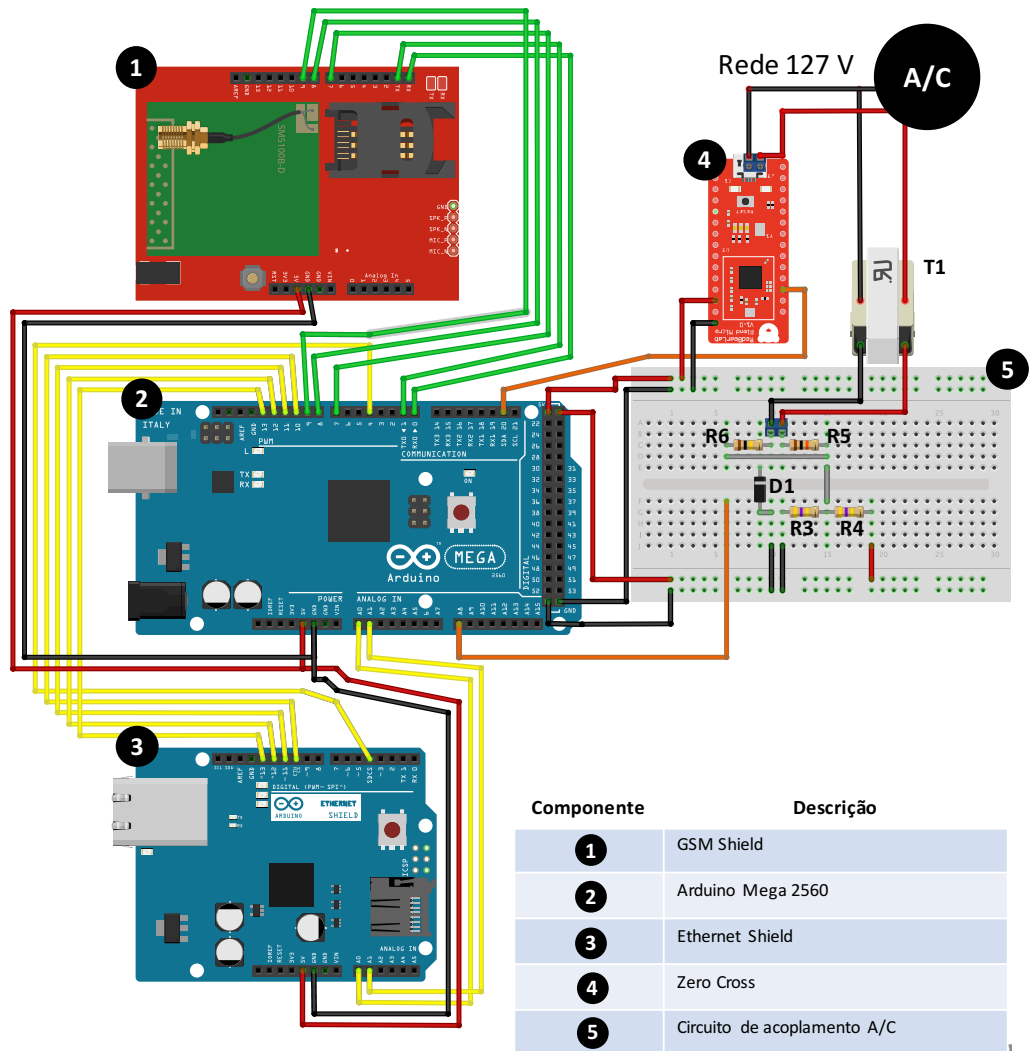
O *PWM* é um recurso integrado na plataforma Arduino. Este recurso foi utilizado em um dos cenários de teste deste trabalho. Arduino (2014) define *PWM* como sendo uma técnica para obtenção de resultados analógicos com meios digitais. O controle digital é utilizado para criar uma onda quadrada, um sinal alternado entre ligado e desligado. Este padrão *on-off* pode simular as tensões entre completa em (5 volts) e desligada (0

volts). De forma adaptada, o sinal *PWM* foi utilizado no presente trabalho para simular um distúrbio com periodicidade e tempo de duração controlados.

### 3.4 Esquema de ligação

A Figura 3.5 apresenta as conexões num plano horizontal, de forma que todas as ligações possam ser visualizadas. No uso real entretanto, o *shields Ethernet* e o *GSM* são conectados diretamente sobre a placa Mega2560, reduzindo o espaço físico e simplificando as conexões.

Figura 3.5 – Esquema de ligação - hardware do protótipo



Fonte: Do autor (2016)

O esquema apresentado na Figura 3.5, representa as ligações entre os componentes que integram a parte física do sistema. A Tabela 3.2 detalha os pinos utilizados para conexão com cada componente.

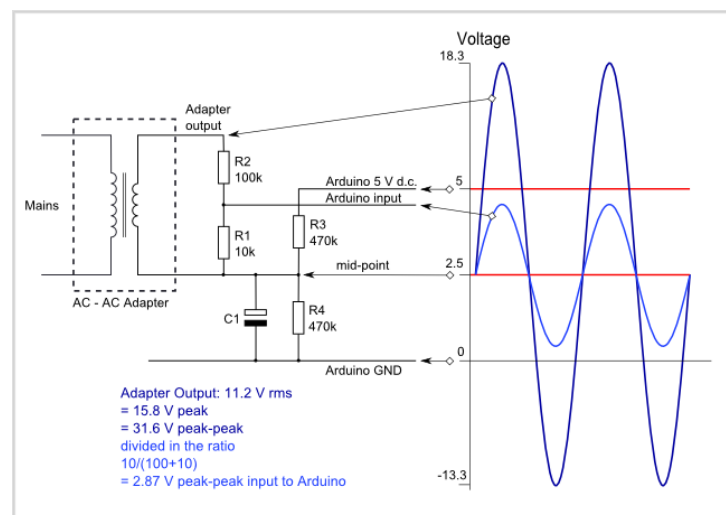
Tabela 3.2 – Pinagem utilizada - Mega 2560 e componentes

Componente	Pinos usados no Mega 2560	Pinos usados no componente
Ethernet Shield	A0, A1, D4, D10, D11, D12 e D13	A0, A1, D4, D10, D11, D12 e D13
GSM Shield	D0, D1, D7, D8 e D9	(Rx), (Tx), D7, D8 e D9
Sensor Zero Cross	D20	D2
Circuito de Acoplamento	A8	Não se aplica

Fonte: Do autor (2016)

A Figura 3.6 demonstra o esquema do circuito de acoplamento utilizado. Este circuito foi proposto por Hudson e Lea (2015) em um projeto chamado *Open Energy Monitor*, que também utiliza a plataforma Arduino para leitura da rede elétrica. A utilização original deste circuito foi na implementação de *smart metering*, entretanto suas características atendem a proposta de leitura da rede A/C para plataforma Arduino.

Figura 3.6 – Circuito para acoplamento à rede elétrica



Fonte: Hudson e Lea (2015)

O circuito representado pela Figura 3.6 utiliza um transformador (*AC - AC Adapter*) que reduz a tensão de 127 para 11.2 Volts, provendo também um nível de isolamento e proteção. O circuito recebe também a tensão do próprio Arduino para referência, dessa

forma a saída para leitura varia junto com a rede elétrica. O circuito replica a mesma forma de onda da rede elétrica, porém, adequando o sinal em uma escala positiva, dentro dos limites de 0 a 5 Volts suportados pela plataforma Arduino. Os valores são lidos via porta analógica do Arduino e encaminhados para o *ADC*. O funcionamento deste circuito apresenta um detalhe importante, para ligação com uma rede A/C com padrão de tensão em 127 Volts, sua saída terá uma tensão máxima ajustada para 3,3 Volts. Este resultado foi intencionalmente elaborado para reservar uma margem de segurança para leitura de possíveis sobretensões que possam acontecer, dessa forma é possível ler essas sobretensões acima da tensão padrão e dentro da faixa de 0 a 5 volts.

A Tabela 3.3 apresenta uma relação com as propriedades dos componentes utilizados no circuito de acoplamento com a rede A/C.

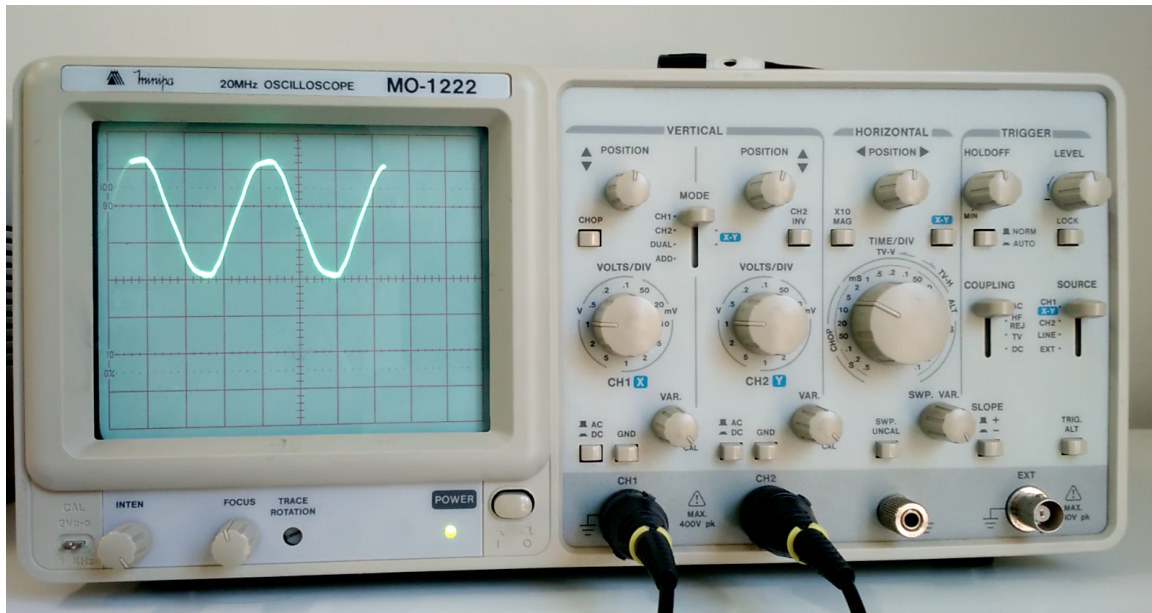
Tabela 3.3 – Componentes do circuito de acoplamento à rede A/C

<b>Componente</b>	<b>Tipo</b>	<b>Propriedades</b>
D1	Zener Diode	Breakdown voltage 5.1V; tipo Zener
J1	Screw terminal	Espaço entre pinos 0.137in (3.5mm); pinos 2
R3	470k Resistor	Tolerância + ou - 5%; resistência 470k
R4	470k Resistor	Tolerância + ou - 5%; resistência 470k
R5	10k Resistor	Tolerância + ou - 5%; resistência 10k
R6	100k Resistor	Tolerância + ou - 5%; resistência 100k
T1	Line transformer	AC 127Volts (IN) - AC 12Volts(OUT)

Fonte: Do autor (2016)

A Figura 3.7 demonstra uma foto tirada do osciloscópio ligado no circuito de acoplamento com a rede A/C de 127 Volts. O sinal observado no osciloscópio é uma forma de onda senóide positiva com amplitude de 3,3 Volts. Este é o sinal que chega na porta analógica do Arduino.

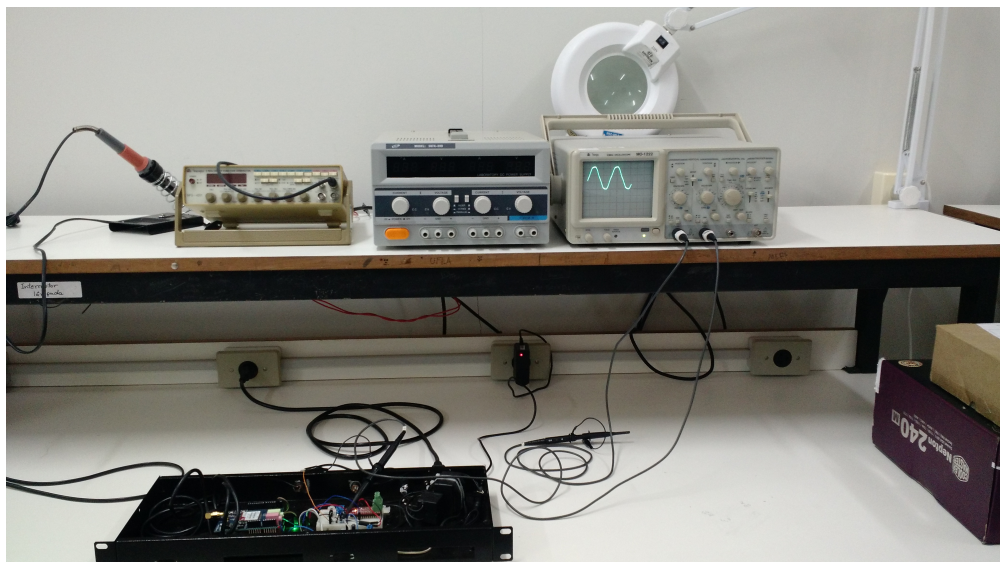
Figura 3.7 – Sinal de saída do circuito de acoplamento



Fonte: Do autor (2016)

A Figura 3.8 demonstra uma foto da bancada com a ligação do protótipo no osciloscópio, utilizado para confirmação das características do sinal que será entregue na porta analógica do Arduino.

Figura 3.8 – Protótipo ligado no osciloscópio



Fonte: Do autor (2016)

A tensão de saída deste circuito tem um comportamento fora dos padrões dos multímetros, visto que o sinal é totalmente positivo, não é reconhecido como A/C, e por ter

tensão variável também não é reconhecido como corrente contínua. Estas características exigiram a utilização de um osciloscópio para implementação física e testes deste circuito.

### 3.5 Obtenção e conversão dos dados

A necessidade de operar de forma ininterrupta na função de leitura da rede elétrica, requisitou uma abordagem mais elaborada na obtenção das amostras de sinal. A utilização de interrupções acionadas pelo código é um procedimento padrão no uso do circuito *ADC* presente na plataforma Arduino. Entretanto, a ocorrência de falhas ou ausência de amostras, compromete o funcionamento do método de detecção que deve operar em tempo real na proposta deste trabalho.

Burns e Wellings (2009) definem sistema de tempo real como um sistema de processamento de informação, que tem de responder a estímulos dentro de um período finito e especificado, nesta proposta, a exatidão depende não só do resultado lógico, mas também do tempo em que foi entregue.

O sistema desenvolvido neste trabalho não pode ser classificado como um sistema de tempo real como um todo, uma vez que, sua integração com as redes de dados e de comunicação acrescenta elementos que não operam dentro do conceito de tempo real. Entretanto, a etapa de obtenção e conversão dos dados requer a operação em tempo real.

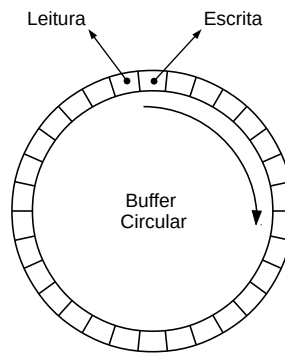
Para cumprir com a abordagem de tempo real na etapa de obtenção e conversão dos dados foi utilizado o recurso de *prescaler*, presente no circuito *ADC* da plataforma Arduino. O *prescaler* consiste na subdivisão do *clock* do microcontrolador de forma que uma fração deste seja destinada para uma função específica que exija continuidade e independência de outras interrupções que possam ocorrer. A Equação 3.2 apresenta o cálculo utilizado para obtenção do *prescaler*, onde o APC é o número obtido de **Amostras Por Ciclo**.

$$APC = \frac{\frac{\text{Clock Atmel2560 (16MHz)}}{\text{Prescaler Division Factor (128)}}}{\frac{\text{Ciclos gastos no ADC (13)}}{\text{Freq. rede A/C (60Hz)}}} \quad (3.2)$$

Associado ao *prescaler* foi utilizado o modo *free running*, neste modo, os valores da porta analógica selecionada são encaminhados diretamente para os registradores com uma frequência de amostragem fixa, resultado da divisão do *clock* do microcontrolador

pelo divisor (*Division Factor*) do *prescaler*. Neste trabalho foi usado o valor de 128 como divisor, esta configuração possibilitou uma taxa de 160,25 amostras por ciclo de onda (rede A/C de 60Hz) conforme a Equação 3.2. Os valores de cada conversão são armazenados em um buffer circular que funciona como uma janela deslizante com o tamanho de um ciclo de onda (160 posições). A Figura 3.9 apresenta o modelo de funcionamento do *buffer* circular utilizado.

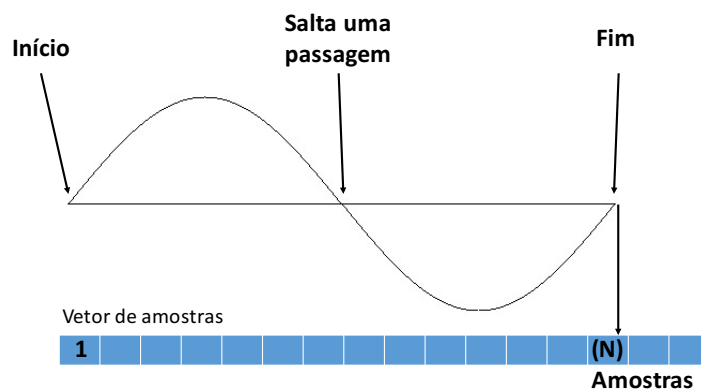
Figura 3.9 – Modelo de funcionamento do buffer circular



Fonte: Do autor (2016)

Neste ponto do trabalho foi utilizado o sensor *Zero Cross* para confirmar a obtenção das 160 amostras no período de um ciclo e também verificar se a fração restante do valor 160,25 amostras, poderia alterar ou comprometer os cálculos utilizados. O sensor *Zero Cross* lê os valores de tensão ligados em sua porta analógica e através de um pino de comunicação digital sinaliza a passagem pelo valor zero. Dessa forma, foi utilizada uma função *Timer* no código da plataforma Arduino. A Figura 3.10 representa esta operação.

Figura 3.10 – Confirmação número de amostras com sensor *Zero Cross*

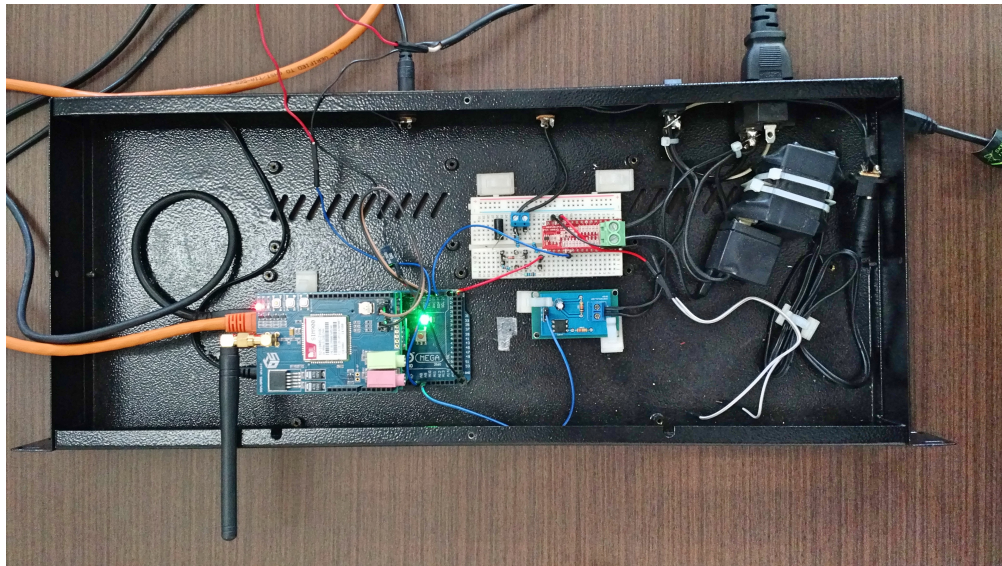


Fonte: Do autor (2016)

Conforme demonstrado na Figura 3.10, neste teste, um sinal do sensor *Zero Cross* foi aguardado para o “**Início**” do vetor que recebe as amostras. O segundo sinal foi desconsiderado “**Salta uma passagem**” e no terceiro sinal “**Fim**”, as amostras são encerradas. Neste teste as 160 amostras esperadas foram obtidas dentro do período de um ciclo, demarcado pelo sensor *Zero Cross*.

A Figura 3.11 demonstra uma foto real do protótipo que foi montando em um chassis de switch para fixar os componentes e facilitar a instalação em rack no padrão 19 polegadas.

Figura 3.11 – Protótipo real montado em um chassi de switch



Fonte: Do autor (2016)

O sensor *Zero Cross* foi mantido para leitura da frequência da rede A/C, esta informação será apresentada pela interface *web* para monitoramento. A realização da leitura de frequência com o circuito de acoplamento é possível. Entretanto, esta função demanda mais operações e possível concorrência com os processos de detecção. O sensor *Zero Cross* utiliza uma porta digital para comunicação, portanto, não ocupa recursos do *ADC*.

### 3.6 Aplicação do método de detecção de distúrbios

Para realizar a detecção dos distúrbios de tensão, foi utilizado o método apresentado por Mendes et al. (2015). Este método tem a proposta de realizar a detecção de distúrbios de tensão com uma abordagem simples e portanto, com baixa exigência de

recursos computacionais. Estas características permitem que este método seja implementado sobre a plataforma Arduino e além disso, com funcionamento em tempo real.

Este método de detecção, utiliza o quadrado da distância euclidiana, dessa forma, obtêm-se ainda uma simplificação conforme a Equação 3.3. A variável “c” corresponde ao vetor de referência, que é o centro do espaço  $n$ -dimensional e a variável “v” corresponde ao vetor do sinal monitorado.

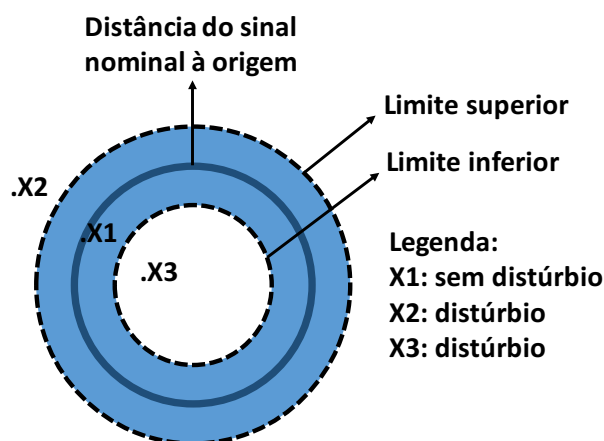
$$D(v, c) = \| v - c \|^2 \quad (3.3)$$

O valor da referência é dado pela distância do sinal nominal à origem, uma vez que os valores nominais formam uma circunferência em  $n$ -dimensões, obtida pelo número de amostras em cada janela de sinal monitorado.  $D$  é o resultado da distância entre a referência e o sinal monitorado.

O método de detecção utiliza o quadrado da distância euclidiana aplicado nos sinais monitorados para extração de características e em seguida é verificado se o valor obtido está dentro do intervalo definido pelos limites previamente configurados como tolerância.

A Figura 3.12 demonstra a lógica de comparação entre o sinal monitorado e os limites, superior e inferior.

Figura 3.12 – Limiaries em torno da circunferência que modela os sinais nominais.



Fonte: Adaptado de Mendes et al. (2015)

Estes limites correspondem ao percentual ou tolerância que se pretende configurar para a diferença entre o valor do sinal sem distúrbio para o sinal com distúrbio, obtendo assim um índice para a QEE.

Originalmente este método propõe a utilização de 256 dimensões que são equivalentes a 256 amostras por ciclo. Além disso, as iterações com o cálculo de  $D$  são realizadas a cada amostra, considerando as últimas 256 amostras da janela que equivale a um ciclo.

Nesse ponto também é realizado o cálculo para obtenção do valor  $RMS$  de tensão, dado pela Equação 3.4, onde os valores  $V1$  a  $Vn$  correspondem aos valores de tensão instantânea obtidos ao longo do ciclo.

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{(V1^2 + V2^2 + V3^2 + V4^2 \dots + Vn^2)}{n}} \quad (3.4)$$

O valor de tensão  $RMS$  foi utilizado como um parâmetro complementar, o  $RMS$  nem sempre apresenta alterações relevantes na ocorrência de distúrbios de curta duração ou mesmo distúrbios que não implicam na alteração do valor médio da tensão. Entretanto, é importante que o valor da tensão RMS faça parte dos atributos monitorados, uma vez que é utilizado como referência comercial para medição de tensão A/C. Para monitoramento da tensão  $RMS$ , foi acrescentando um campo na interface *web* onde é possível entrar com o valor de referência da tensão A/C que se pretende medir, uma vez que as tensões comumente classificadas como 110V podem assumir valores até 127V dentro da faixa padrão de funcionamento.

A lógica utilizada para apresentação da tensão RMS na interface *web* não influencia no gráfico de QEE, que por sua vez utiliza somente o método de detecção baseado na distância euclidiana.

### 3.7 Simulação da detecção

A implementação do código para detecção de distúrbios em sua proposta original exigiu algumas modificações para correta operação sobre a plataforma Arduino. Neste ponto, algumas simulações foram realizadas para verificar o comportamento do método diante de modificações para os seguintes cenários:

- a) Utilização do método com 160 amostras por ciclo, conforme valor obtido com o uso do *prescaler*;
- b) Alteração do número de iterações por ciclo (ajuste do tempo gasto pelo ADC e cálculos das distâncias).

Nas simulações A, B e C, foi aplicada uma subtensão de -10% sobre o sinal a partir do 5º ciclo, para evidenciar graficamente a atuação do método de detecção.

A Tabela 3.4, apresenta os parâmetros utilizados na simulação A com a proposta original do método de detecção. Na simulação A, as iterações com o cálculo de ( $D$ ) são realizadas a cada amostra obtida, reunindo as últimas 256 amostras que compõe a janela (último ciclo).

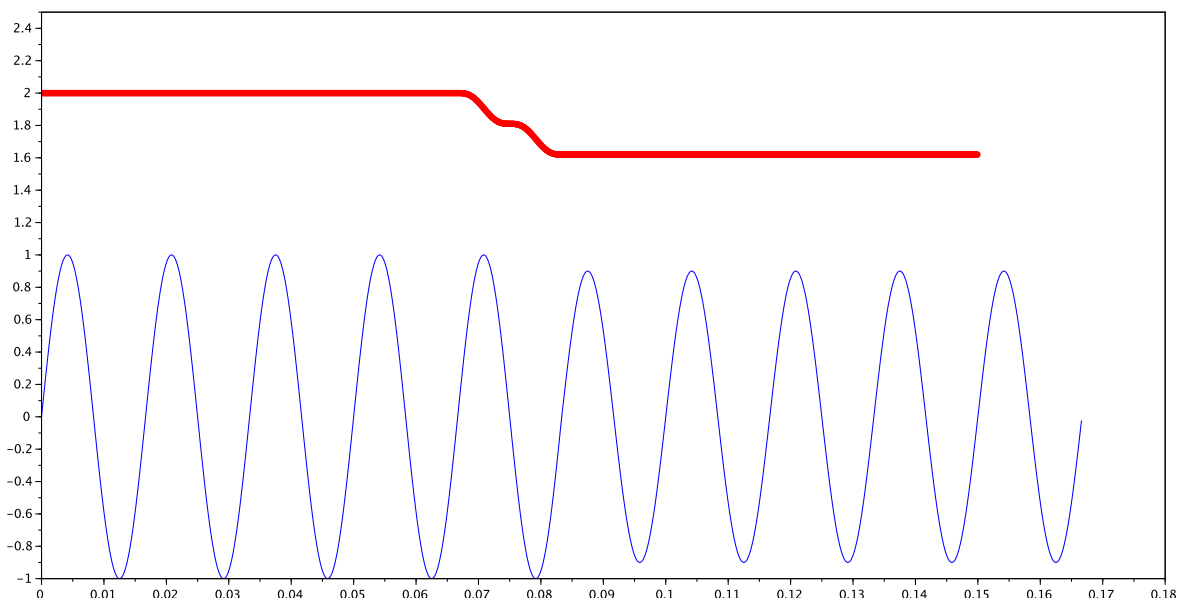
Tabela 3.4 – Parâmetros para Simulação A

Tensão da rede	127 Volts
Frequência	60 Hz
Nº de ciclos	10
Nº de amostras por ciclo	256
Nº de iterações do cálculo por ciclo	256

Fonte: Do autor (2016)

A Figura 3.13 demonstra o resultado da simulação **A**. A linha vermelha corresponde ao método de detecção. Nesta simulação os parâmetros utilizados estão de acordo com a proposta original do método de detecção; conforme proposto em Mendes et al. (2015).

Figura 3.13 – Simulação A - Proposta original



Fonte: Do autor (2016)

A Tabela 3.5, apresenta os parâmetros utilizados para a simulação **B**, com a modificação do número de amostras, utilizando 160 amostras por ciclo.

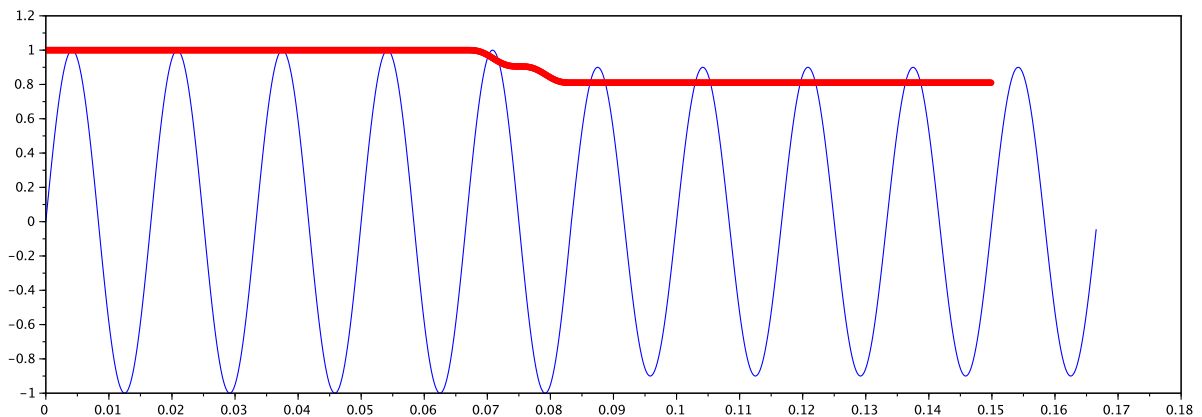
Tabela 3.5 – Parâmetros para Simulação B

Tensão da rede	127 Volts
Frequência	60 Hz
Nº de ciclos	10
Nº de amostras por ciclo	160
Nº de iterações do cálculo por ciclo	160

Fonte: Do autor (2016)

A Figura 3.14 demonstra o resultado da simulação **B**. A trajetória da linha vermelha acompanha a ocorrência do distúrbio, confirmando o funcionamento da detecção com 160 amostras por ciclos.

Figura 3.14 – Simulação B - detecção com 160 amostras

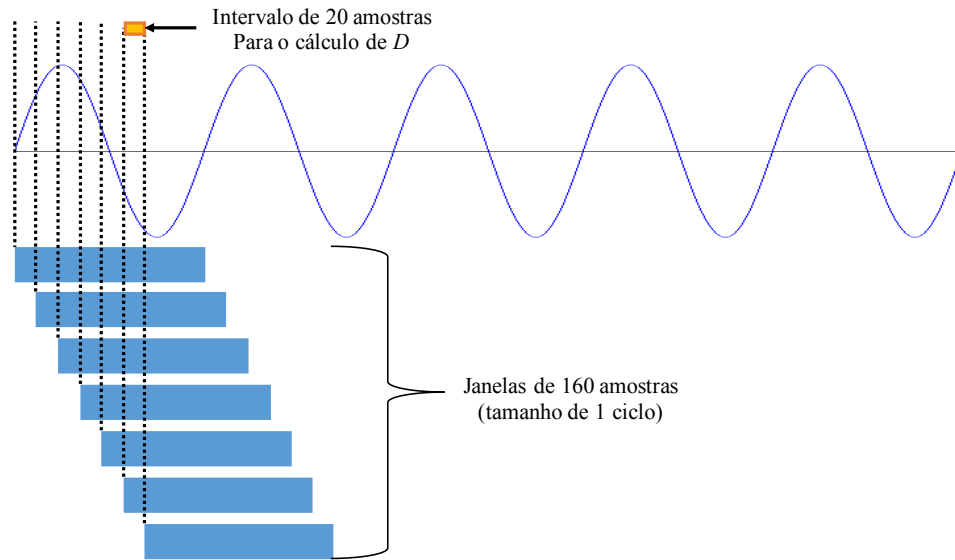


Fonte: Do autor (2016)

Mesmo com a utilização do *prescaler* e do modo *free running*, o tempo entre as amostras não foi suficiente para conclusão dos cálculos de distância ( $D$ ) empregados no método de detecção. Além do tempo gasto para processamento, foi necessário considerar o tempo para conversão *ADC* que utiliza 13 ciclos para entregar os valores em bits para os registradores. Por esta razão, foi utilizada uma técnica conhecida como *overlapping window* ou janelas sobrepostas que permitiu o emprego de intervalos de 20 amostras entre as janelas, usados para realizar o cálculo de  $D$ , preservando o uso de todas as amostras.

A Figura 3.15 demonstra um exemplo da utilização de *overlapping window* com intervalo de 20 amostras entre as janelas, conforme utilizado neste trabalho.

Figura 3.15 – Representação dos cálculos realizados com *overlapping window*



Fonte: Do autor (2016)

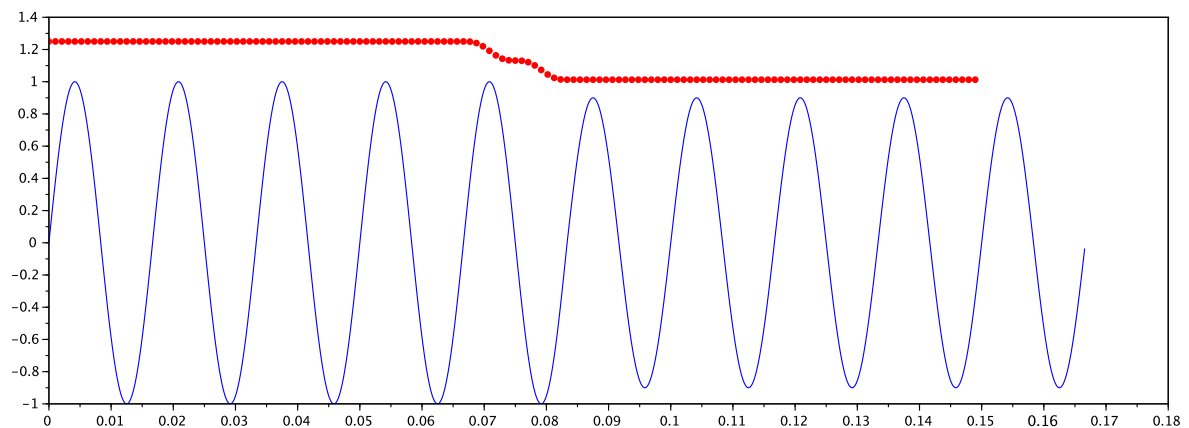
A Tabela 3.6 apresenta os parâmetros utilizados na simulação **C**, onde os cálculos (D) foram realizados a cada 20 amostras, reunindo as últimas 160 amostras.

Tabela 3.6 – Parâmetros para Simulação C

Tensão da rede	127 Volts
Frequência	60 Hz
Nº de ciclos	10
Nº de amostras por ciclo	160
Nº de iterações do cálculo por ciclo	8

Fonte: Do autor (2016)

Figura 3.16 – Simulação C - código detector com salto de 20 amostras



Fonte: Do autor (2016)

A Figura 3.16 demonstra que a modificação para realizar o cálculo a cada 20 amostras, não comprometeu o método de detecção, o pontilhado da linha vermelha evidencia os pequenos intervalos que ocorrem entre os cálculos, mesmo assim, sua trajetória acompanhou o distúrbio (subtensão). É importante ressaltar que apesar do intervalo de 20 amostras entre as iterações, toda a janela de amostras é considerada em cada iteração. Portanto, verificado o comportamento positivo das modificações através das simulações, a implementação foi realizada na plataforma Arduino.

### 3.8 Monitoramento e comunicação

Após as simulações realizadas para comprovação do funcionamento do processo de obtenção e conversão dos sinais, bem como para validação das adequações no método de detecção de distúrbios. O código do sistema foi implementado para a plataforma Arduino, integrando os recursos de comunicação com o uso dos *shields*.

#### 3.8.1 Interface *web* integrada

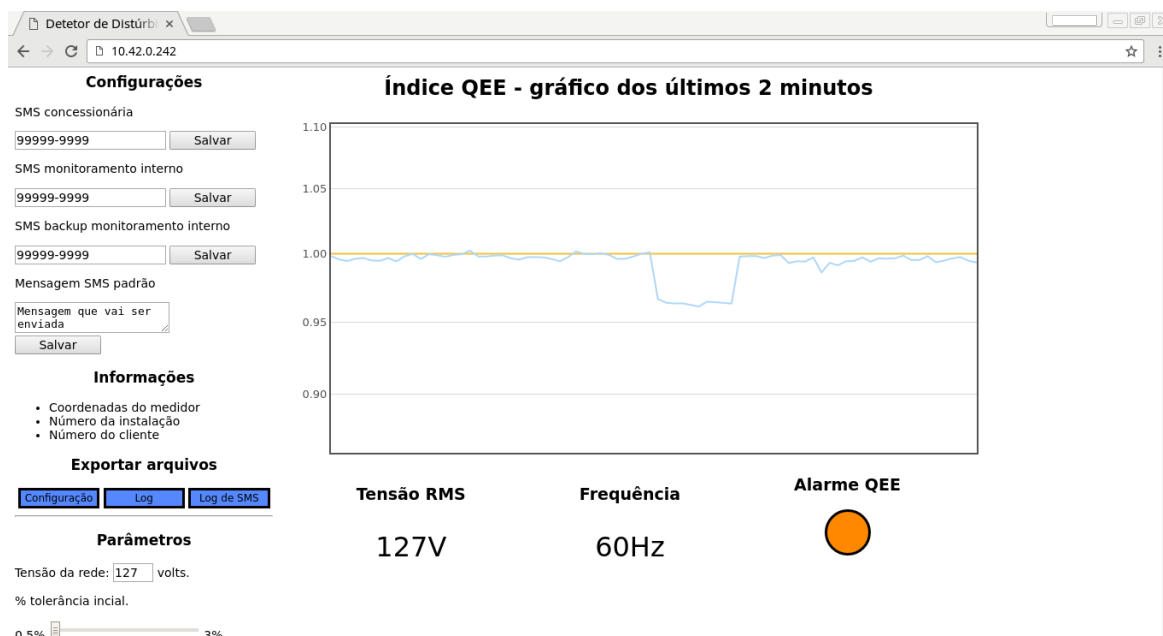
A implementação da interface *web* integrada na plataforma Arduino utilizou o conceito de Ajax <sup>7</sup> e *Json*, que são abordagens da linguagem JavaScript <sup>8</sup> otimizadas quanto à atualização de informações. O propósito de monitoramento, requer atualização constante de informação e a plataforma Arduino não provê grandes recursos computacionais. A utilização dessas ferramentas possibilitou uma implementação que otimizou recursos computacionais e de rede, visto que parte do código é executado no próprio navegador. Através da interface *web* se tem acesso ao gráfico de QEE e configurações que permitem a utilização das notificações por *SMS*, configuração da tolerância de detecção e acesso aos arquivos de log. O sistema desenvolvido utilizou uma implementação de cliente *NTP* (*Network Time Protocol*) <sup>9</sup> para manter data e hora do sistema atualizados, assim foi possível incluir no arquivo de log de eventos as informações de tempo para acompanhamento tanto no arquivo, como para uso a partir de ferramentas externas para construção de gráficos. A Figura 3.17 demonstra a interface *web* onde é possível observar o gráfico com janela de dois minutos de amostragem. Neste gráfico são representados os distúrbios detectados.

---

<sup>7</sup> <http://www.w3schools.com/ajax/>

<sup>8</sup> <http://www.ecma-international.org/publications/standards/Ecma-262.htm>

<sup>9</sup> <http://https://tools.ietf.org/html/rfc7822>

Figura 3.17 – Exemplo da interface *web*

Fonte: Do autor (2016)

Foram utilizados 4 arquivos mantidos na unidade *SD* (*Secure Digital*) presente no *shield Ethernet*:

- a) *TCONFIG.TXT* - Registro das configurações do sistema como, os números de telefone, valor da tensão padrão da rede, configuração de tolerância, etc;
- b) *SMSLOG.TXT* - Registro das mensagens *SMS* recebidas da concessionária, contendo os protocolos da abertura de chamado técnico;
- c) *LOG.TXT* - Registro dos eventos decorrentes de distúrbios, com valor das distâncias usadas no método de detecção, data, hora e tensão RMS.

Estes arquivos podem ser obtidos pela interface *web* que apresenta links para exportação, que seria o *download* dos mesmos.

### 3.8.2 Integração com Zabbix

O Zabbix <sup>10</sup> é um *software* projetado para o monitoramento de componentes de infraestrutura de rede e TI. Possui recursos para geração de gráficos para monitoramento de dispositivos com base na obtenção dos valores que se pretende acompanhar. Para

<sup>10</sup><http://www.zabbix.com/>

tornar o monitoramento integrado com uma ferramenta padrão, foi utilizado uma instância cliente do Zabbix compatível com Arduino. A utilização desta configuração possibilitou a comunicação dos valores monitorados para um servidor externo Zabbix, que pode reunir as informações de várias ERCs em uma única tela de monitoramento.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, serão apresentados os resultados obtidos com o sistema desenvolvido, abordando as taxas de detecção dos distúrbios, o monitoramento através da interface *web*, a comunicação *SMS* e a integração com servidor *Zabbix*.

### 4.1 Detecção de distúrbios

Os testes seguintes pretendem demonstrar a eficácia do sistema quanto a detecção dos distúrbios de tensão. Para tanto, foram realizados experimentos em dois cenários distintos: Utilizando sinais *PWM* como distúrbios e utilizando um gerador de funções.

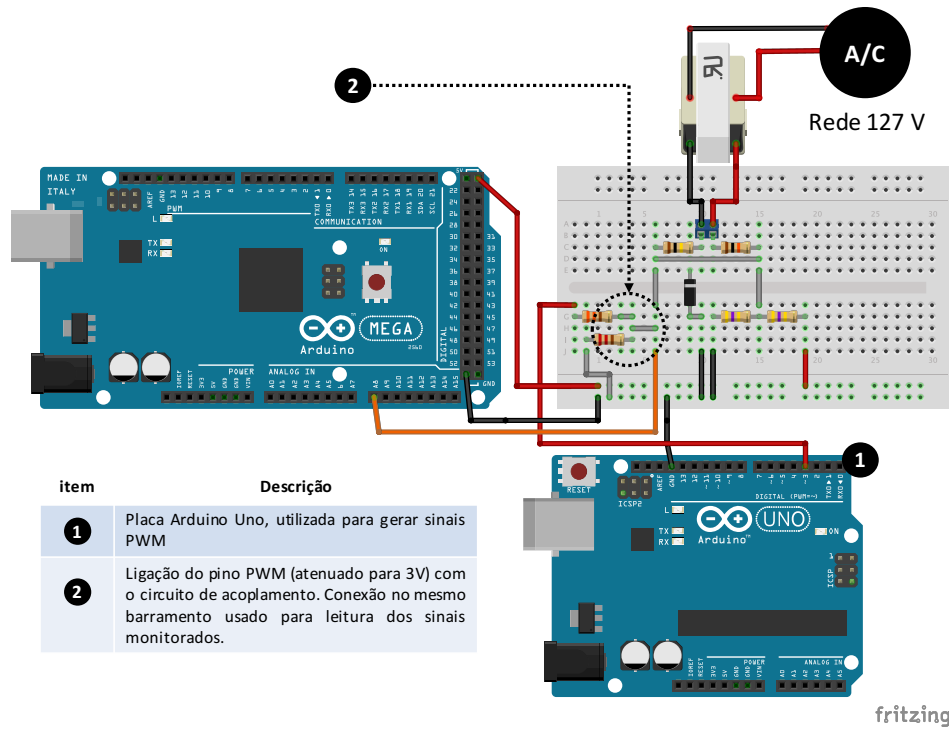
Para ambos os cenários o sistema desenvolvido realizou a rotina de obtenção do valor de referência, para garantir a adaptação em redes que possam apresentar pequenas diferenças de tensão.

Quanto ao método de detecção, o critério utilizado para classificar o sinal como distúrbio, considerou uma diferença de 0,5% entre as distâncias ( $D$ ) do sinal de referência para o sinal monitorado. A utilização do valor de 0,5% apresentou o limiar de detecção mais adequado, sem acusar falsos positivos em amostras com ausência de distúrbio. A ocorrência de falsos positivos é esperada, considerando que os componentes eletrônicos utilizados no circuito podem apresentar variações de precisão conforme demonstrado na sessão 3 com a Tabela 3.3.

#### 4.1.1 Testes com distúrbios provocados com PWM

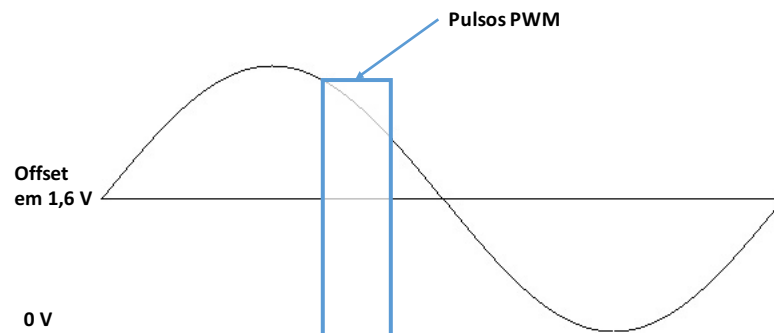
A utilização de sinais *PWM* como parte dos testes, consistiu em inserir distúrbios simples no circuito de acoplamento, que por sua vez, está ligado na rede elétrica da concessionária. Neste cenário, a referência do sinal sem distúrbio foi obtida da rede elétrica real e o distúrbio foi aplicado de forma pontual no barramento de leitura do circuito de acoplamento. Para isso, foi utilizada uma placa adicional Arduino com saída *PWM* atenuada para 3V (mesma faixa de tensão do circuito de acoplamento) e conectada no mesmo barramento onde o sistema realiza a leitura do sinal monitorado.

A Figura 4.1 representa o esquema de ligação utilizado no teste com sinais *PWM*.

Figura 4.1 – Ligação para teste com *PWM*

Fonte: Do autor (2016)

Os demais componentes físicos do sistema desenvolvido foram omitidos na Figura 4.1 que representa apenas os componentes necessários para os testes. Esta configuração permitiu inserir junto com o sinal monitorado real, pulsos de onda quadrada com frequência controlada. Uma vez que, o sinal gerado pelo *PWM* não corresponde ao sinal de referência, cada pulso deve ser detectado como um distúrbio. A Figura 4.2 demonstra a ilustração de um evento como os realizados nos testes.

Figura 4.2 – Sinal *PWM* aplicado sobre o sinal monitorado

Fonte: Do autor (2016)

Os testes realizados com o tipo de sinal demonstrado na Figura 4.2 utilizam a ligação demonstrada na Figura 4.1, desta forma o pulso *PWM* é somado ao sinal monitorado.

Nesta série de testes foram utilizados 8 pulsos *PWM* a cada segundo. Os resultados são apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Porcentagem de detecção dos sinais *PWM*

Duração duty cycle (255)	Qtd. de iterações - amostras	Taxa de acerto na detecção
5 ms	1000	100%
3 ms	1000	100%
1 ms	1000	94%

Fonte: Do autor (2016)

É relevante observar que, no caso dos teste com os sinais *PWM*, possíveis distúrbios reais na rede da concessionária poderiam comprometer as estatísticas da medição, por esta razão, os testes foram acompanhados com utilização de um osciloscópio para verificação do sinal da concessionária.

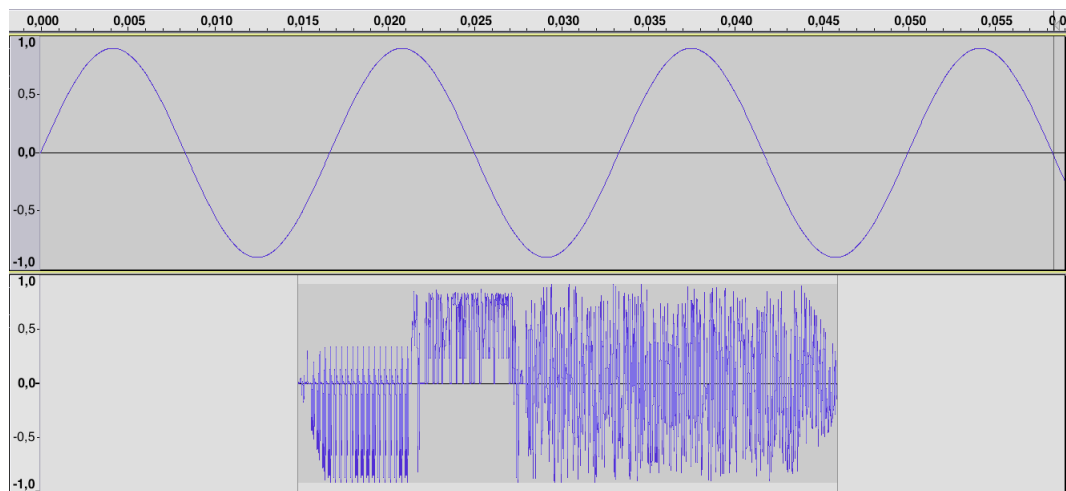
#### 4.1.2 Testes com amostras de distúrbios no gerador de funções

Para realização dos testes com gerador de função, foi utilizado o *software* chamado *Audacity*. A reprodução de distúrbios arbitrários em uma rede A/C real, exigiria a utilização de plataformas de supervisão complexas e de alto custo financeiro, como por exemplo

os sistemas baseados em SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) ou simuladores de sistemas de energia que demandam *hardware* e *software* proprietários como por exemplo o sistema oferecido pela *RTDS Technologies* <sup>1</sup>. A utilização da função de gerador de funções presente no *Audacity* possui também ferramentas de edição que possibilitaram trabalhar com amostras de distúrbios disponibilizadas pelo IEEE <sup>2</sup>. Estas amostras foram importadas no *Audacity* e adicionadas em paralelo com um sinal de referência. As amostras utilizadas foram ajustadas para que os fragmentos de distúrbio fossem posicionados após o período de inicialização do sistema e obtenção das amostras para referência (aproximadamente 10 segundos). As amostras obtidas do IEEE e utilizadas nos testes referem-se aos distúrbios: transitórios de forma de onda e variação de tensão.

A Figura 4.3 representa o exemplo de uma amostra utilizada nos testes. Na parte superior da figura encontra-se o sinal original e na parte inferior, o distúrbio, neste caso, um transitório.

Figura 4.3 – Amostra de distúrbio - Transitório



Fonte: Do autor (2016)

Para realização dos testes com gerador de função, foram utilizados fragmentos das amostras de distúrbios obtidas do IEEE, preservando suas características. Os resultados de detecção conforme a duração do distúrbios são apresentados na tabela 4.2.

<sup>1</sup> <https://www.rtds.com/>

<sup>2</sup> <http://grouper.ieee.org/groups/1159/3/docs.html>

Tabela 4.2 – Porcentagens de acerto na detecção - Gerador de funções

Duração do distúrbio	Quantidade de iterações	Principais distúrbios de tensão	
		Variação de tensão	Transitórios
>1 ciclo	1000	100%	100%
1 ciclo	1000	100%	100%
3 ms	1000	100%	100%
<1ms	1000	92%	94%

Fonte: Do autor (2016)

A Tabela 4.2 apresenta as taxas de acerto na detecção para os principais distúrbios de tensão com duração igual ou maior que um milissegundo foi de 100%. Para distúrbios inferiores a 1ms, as taxas de detecção apresentaram respectivamente 92% e 94% para variação de tensão e transitórios. Com uma fração de tempo menor, a diferença dos valores no intervalo de tempo pode não atingir os limiares de 0,5%.

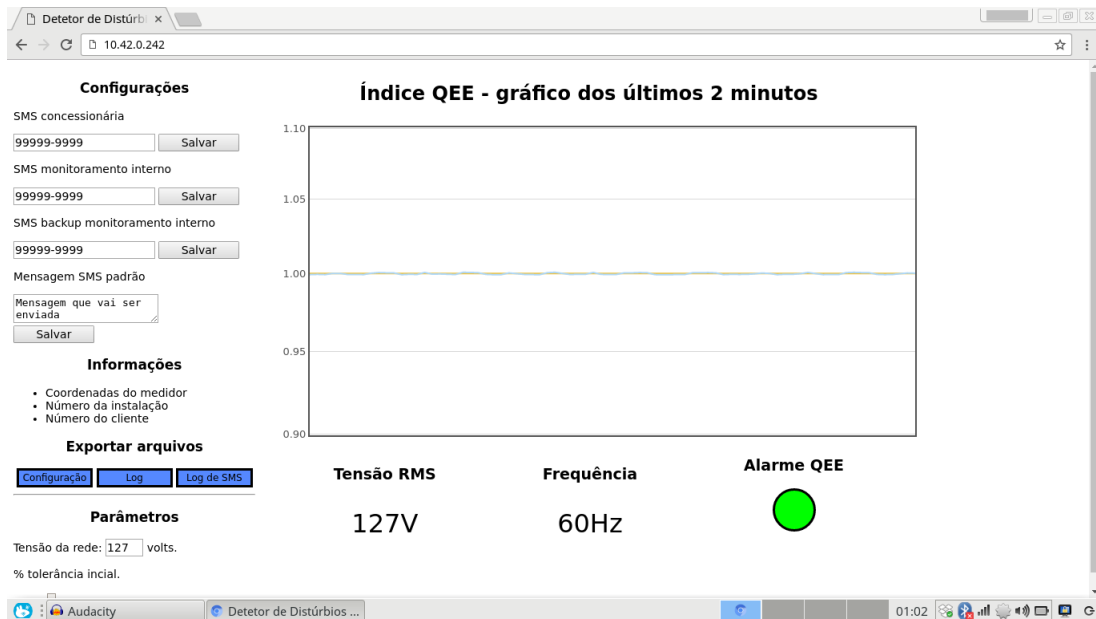
## 4.2 Monitoramento e comunicação

Para analisar o processo de monitoramento e comunicação do sistema desenvolvido foram realizadas operações como: alteração de parâmetros de configuração pela interface *web*, exportação de configurações e logs e acompanhamento do gráfico indicador da QEE diante dos distúrbios testados. Para realização dos testes de notificações por mensagem SMS, o sistema foi configurado para enviar todas as notificações para um único *smartphone* utilizado para confirmar o recebimento dos SMS.

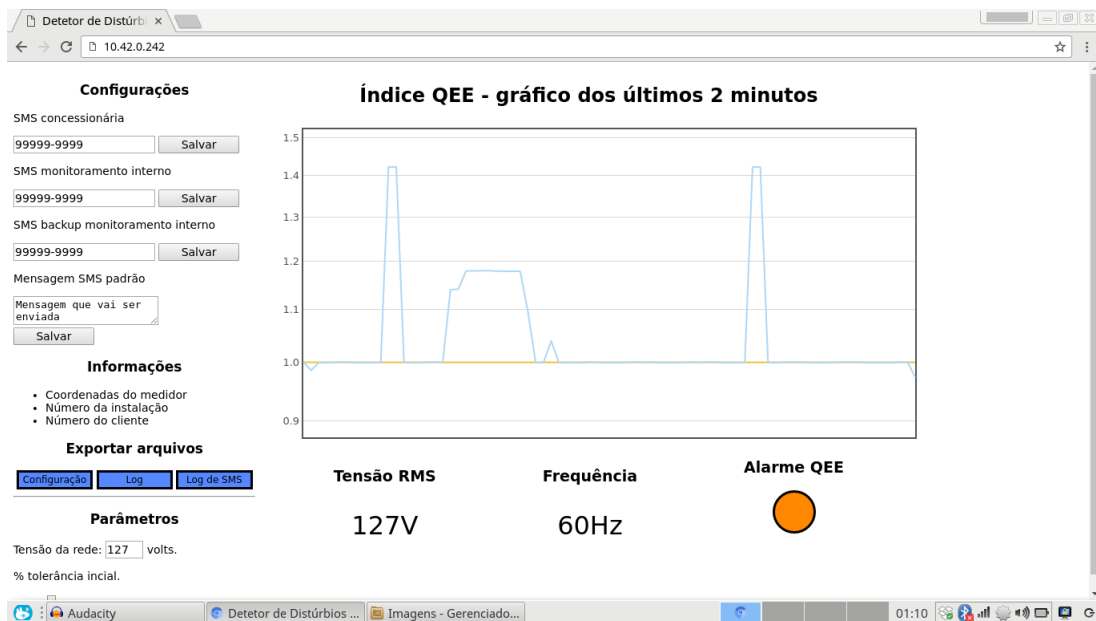
Os parâmetros configurados para mudança da cor no status da QEE da interface *web* se baseiam na distância obtida pelo método de detecção, porcentagem entre os limiares de comparação.

- a) Verde - Ausência de distúrbios ou para valores de  $D$  que se enquadram em até 0,5% de diferença do sinal original, posicionado no limiar de detecção sem ocorrência de falsos positivos;
- b) Laranja - para valores de  $D$  entre 0,6% até 3% do valor de referência;
- c) Vermelho - para valores superiores a 3,1% do valor de referência.

A Figura 4.4 apresenta a tela da interface *web* em condição de rede sem distúrbio.

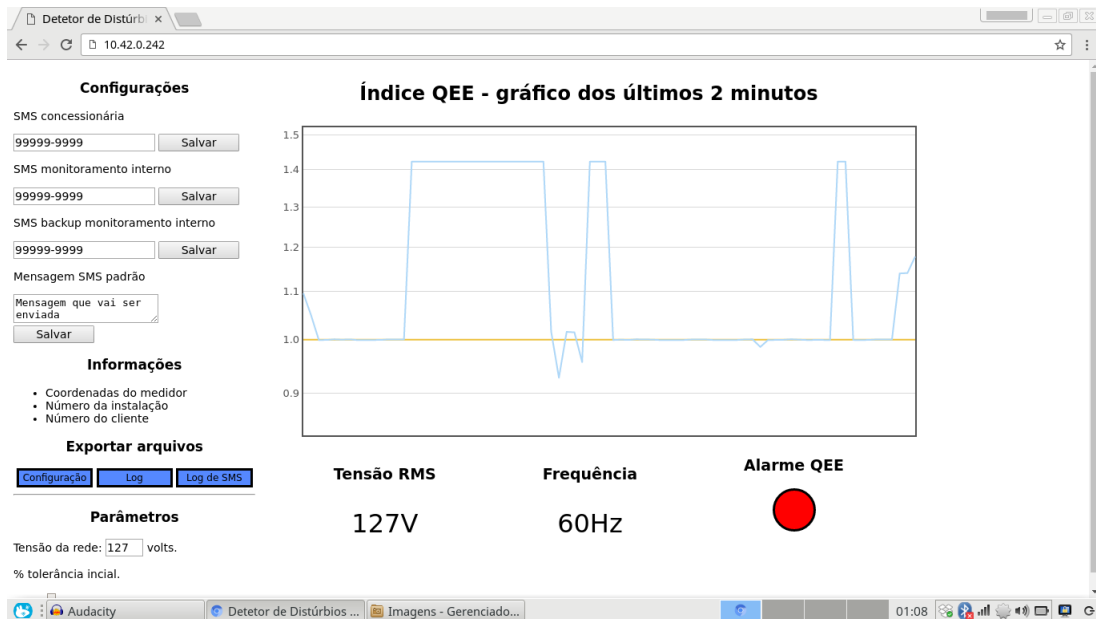
Figura 4.4 – Tela do monitoramento *web*- Alarme verde

Fonte: Do autor (2016)

A Figura 4.5 apresenta a tela da interface *web* com alarme laranja.Figura 4.5 – Tela do monitoramento *web*- Alarme laranja

Fonte: Do autor (2016)

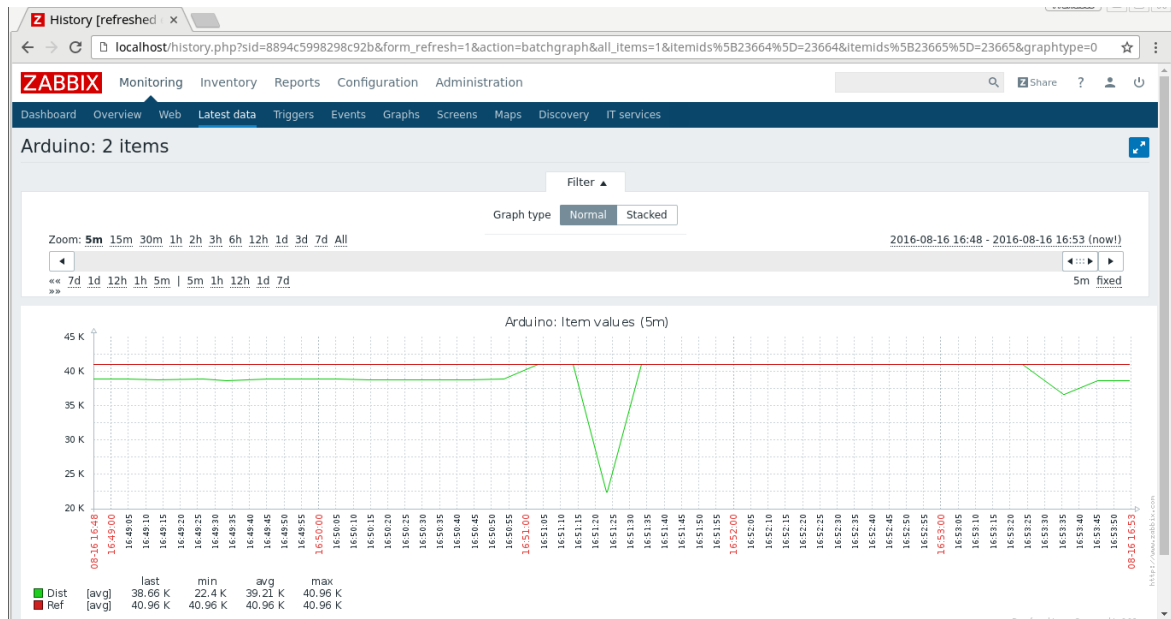
A Figura 4.6 apresenta a tela da interface *web* com alarme vermelho.

Figura 4.6 – Tela do monitoramento *web* - Alarme vermelho

Fonte: Do autor (2016)

Além do gráfico integrado ao sistema, utilizado para uma verificação mais pontual das condições da QEE, o sistema também implementa uma instância de cliente Zabbix. Com esta opção, é possível enviar as informações de monitoramento para um servidor externo, porém, esta opção não oferece configuração de parâmetros, além de operar com um tempo maior para renovação das informações.

A Figura 4.7 demonstra uma tela capturada a partir de um servidor Zabbix, configurado para obter os dados a partir do sistema desenvolvido. Para este gráfico foi utilizada uma subtensão como amostra de sinal. A linha vermelha corresponde aos valores de referência e a linha verde registra os valores monitorados. Caso ocorra a necessidade de renovação dos valores de referência, o procedimento pode ser realizado pela interface *web* integrada ao sistema.

Figura 4.7 – Tela *web* - Zabbix

Fonte: Do autor (2016)

Os registros dos distúrbios, são ainda gravados em um cartão SD, e ficam disponíveis para visualização ou *download* via interface *web*. Um exemplo do arquivo log gerado pelo sistema pode ser observado pelo fragmento do arquivo LOG.TXT.

```
14/7/16 22:02:28 Dist:10661 (ref:10684); vrms:110.00V
14/7/16 22:02:28 Dist:10735 (ref:10684); vrms:110.00V
14/7/16 22:02:28 Dist:10677 (ref:10684); vrms:109.40V
14/7/16 22:02:29 Dist:10709 (ref:10684); vrms:110.00V
14/7/16 22:02:29 Dist:10713 (ref:10684); vrms:109.40V
14/7/16 22:02:29 Dist:10713 (ref:10684); vrms:110.00V
14/7/16 22:02:30 Dist:10698 (ref:10684); vrms:110.00V
```

Os dados representados no arquivo de log são respectivamente, data, hora, valor de  $D$  (distância do sinal monitorado em relação ao valor de referência) e tensão RMS. De forma semelhante, arquivo de log das mensagens SMS guarda as mensagens em arquivo texto separadas por quebra de linha.

## 5 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um sistema para monitoramento da qualidade da energia elétrica com interface de configuração *web*, redundância de comunicação e notificação de distúrbios de tensão. Estas funcionalidades são requisitos para que o sistema funcione no cenário das estações remotas de comunicação.

O sistema desenvolvido se mostrou eficaz na detecção de distúrbios de tensão com precisão e em tempo real e apresentou de forma integrada, gráfico para o monitoramento da QEE. Sua abordagem com redundância na comunicação acrescentou confiabilidade ao sistema, estas características diferenciam este trabalho das demais soluções, que são quase sempre voltadas pra detectar apenas interrupções no fornecimento de energia. Além disso, a comunicação via interface *web*, possibilitou a configuração remota de parâmetros para o monitoramento do índice de QEE e notificação de distúrbios junto à concessionária de energia de forma autônoma. O sistema implementou ainda um agente Zabbix que possibilitou sua integração com plataformas externas de monitoramento.

Os resultados obtidos na detecção dos principais distúrbios de tensão foram de 100% de acerto para distúrbios com duração superior a 1ms e 92% e 94% de acerto para distúrbios com duração inferior a 1ms. O sistema ainda monitora a tensão RMS e a frequência da rede elétrica A/C, informações que também são apresentadas pela interface *web* de monitoramento.

Trabalhos futuros poderão adicionar funcionalidades como seleção de fontes de energia alternativas como solar e eólica em função do nível de QEE que se espera da rede da concessionária. Visto que o sistema proposto neste trabalho consegue detectar distúrbios de tensão com precisão e em tempo real, com capacidade de prover informação via redes de comunicação, espera-se que seu emprego favoreça a integração de ERCs no conceito de *Smart Grid*, contribuindo com a melhoria dos indicadores de QEE.

## REFERÊNCIAS

- ABB AUTOMATION TECHNOLOGIES. **GSM/GPRS communication adapter user manual**. Sweden:ABB, 2008. 14 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Resolução Normativa no 414, de 9 de setembro de 2010**: Estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada. Brasília: ANEEL, 2010. 213 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Informações Técnicas: qualidade do serviço e do produto**. Brasília: ANEEL, 2015.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **PRODIST**: procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional. Brasília: ANEEL, 2015. 26 p.
- ALVARENGA, L. H. et al. Smart grid na telefonia móvel. **RTI Redes, Telecom e Instalações**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 188, p. 30–39, jan. 2016.
- ARDUINO. **About Us**. [S.l.: s.n.], 2014. Disponível em: <<http://arduino.cc/>>. Acesso em: 30 out. 2014.
- ATMEL. **ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V**. San Jose: Atmel, 2014. 435 p.
- BOLLEN, M. H.; GU, I. **Signal processing of power quality disturbances**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2006. 861 p.
- BURNS, A.; WELLINGS, A. **Real-time Systems and Programming Languages: Ada, Real-Time Java and C/Real-Time POSIX**. Canadá: Pearson Education Canada, 2009. 624 p.
- COMAT RELECO. **SMS relay rele de controle e monitoramento remoto via SMS**. São Caetano do Sul: [s.n.], 2014. Disponível em: <<https://comatreleco.com.br/sms-relay-controle-e-monitoramento-remoto-via-sms-celular/>>. Acesso em: 19 fev. 2015.
- COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS - CEMIG. **Cidades do Futuro**. [S.l.]: Cemig, 2015. Disponível em: <[http://www.cemig.com.br/pt-br/A\\_Cemig\\_e\\_o\\_Futuro/inovacao/Alternativas\\_Energeticas/Paginas/cidades\\_do\\_futuro.aspx](http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/inovacao/Alternativas_Energeticas/Paginas/cidades_do_futuro.aspx)>. Acesso em: 17 nov. 2015.
- DECKMANN, S. M.; POMILIO, J. A. **Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica**. Campinas: UNICAMP, 2010. 1 Apostila.
- FANG, A.; GUO, J.; LUO, L. Remote electric power network monitoring system based on gprs. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON, Zhangjiajie. **Proceedings...**, Zhangjiajie: IITA, China, 2009, n. 1, p. 229–231, 2009.
- FERREIRA, D. D. **Análise de distúrbios elétricos em sistemas de potência**. 2010. 233 p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- FOROUZAN, B. **Comunicação de dados e redes de computadores**. Porto Alegre: McGraw Hill Brasil, 2007. 1168 p.

FOROUZAN, B.; MOSHARRAF, F. **Redes de computadores: uma abordagem top-down**. Porto Alegre: AMGH Editora, 2013. 896 p.

HUDSON, G.; LEA, T. **Open Energy Monitor**. [S.l.: s.n.], 2015. Disponível em: <<https://openenergymonitor.org/emon/buildingblocks>>. Acesso em: 14 jun. 2014.

IEEE. IEEE standard for information technology - local and metropolitan area networks. **IEEE Xplore**, Canadá, 2004. Disponível em: <<https://standards.ieee.org/findstds/standard/802.3ah-2004.html>>. Acesso em: 22 de mai. 2015.

IEEE. IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee. **IEEE Xplore**, Canadá, 2014. Disponível em: <<http://grouper.ieee.org/groups/802/>>. Acesso em: 7 de abr. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - INERGE. **Relatório de atividades**. Juiz de Fora: INERGE, 2012.

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION - ITU. **G.984.1: gigabit-capable passive optical networks (GPON): general characteristics**. [S.l.]: ITU, 2012. Disponível em: <<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1>>. Acesso em: 22 de mai. 2015.

INTERNET ENGINEERING TASK FORCE - IETF. **Request for Comments, URI Scheme for Global System for Mobile Communications (GSM) Short Message Service (SMS)**. [S.l.: s.n.], 2010. Disponível em: <<https://www.ietf.org/rfc/rfc5724.txt>>. Acesso em: 22 de mai. 2015.

KNAPP, E. D.; SAMANI, R. What is the smart grid? In: KNAPP, E. D.; SAMANI, R. (Ed.). **Applied cyber security and the smart grid**. Boston: Syngress, 2013. Chap. 1, p. 1-15.

LOPES, Y. et al. Smart grid e iec 61850: novos desafios em redes e telecomunicações para o sistema elétrico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES, 30., 2012, Salvador. **Anais...**, Salvador: Sociedade Brasileira de Telecomunicações, Salvador, p. 44, 2012.

MARQUES, C. A. G. **Técnica de detecção de distúrbios para o monitoramento da qualidade da energia**. 2007. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2007.

MCROBERTS, M. **Arduino Básico**. São Paulo: Novatec Editora, 2011. 448 p.

MENDES, T. M. et al. Monitoramento multidimensional de qualidade de energia elétrica para smart grids. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA, 11., 2015, Campina Grande. **Anais...**, Campina Grande: SBQEE, 2015. 2015. p 1-4.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Relatório Smart Grid**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2010. 229 p. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/10584/1256641/Relatxrio\\_GT\\_Smart\\_Grid\\_Portaria\\_440-2010.pdf/3661c46c-5f86-4274-b8d7-72d72e7e1157](http://www.mme.gov.br/documents/10584/1256641/Relatxrio_GT_Smart_Grid_Portaria_440-2010.pdf/3661c46c-5f86-4274-b8d7-72d72e7e1157)>. Acesso em: 22 de mai. 2015.

OLIVEIRA, A. HSDPA: transmissão de dados em telefonia móvel. **Teleco**, Brasília, p. 1-15, 2007. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialhspd/default.asp>>. Acesso em: 8 de mar. 2014.

- PICORONE, A. A. M.; RIBEIRO, M. V. Levantamento das características das redes de energia elétrica para o uso de sistemas power line communication: Survey plc. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 23., 2015, Foz do Iguaçu. **Anais...**, Foz do Iguaçu: [s.n.], p. 1–8, 2015.
- PINHEIRO, J. **Infraestrutura elétrica para rede de computadores**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008. v. 1. 304 p.
- ROSA, F. A. F. **Avaliação de novos atributos para estabelecimento de metas de DEC E FEC em redes de distribuição**. 2009. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2009.
- SENRA, R. **Energia Elétrica: medição, qualidade e eficiência**. São Paulo: Baraúna, 2013. 695 p.
- SHAO, C. Design of power quality monitoring system based on DSP and GPRS. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 1., 2011, Dalian. **Anais...**, Dalian: IEEE, 2011, v. 1, n. 18567, p. 479–481, 2011.
- SILVA, J. C. d. **Diagnóstico de distúrbios de tensão em sistemas de distribuição de energia elétrica usando um algoritmo imuno-neural**. 2014. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2014.
- SOUZA, W. A. de et al. Power quality, smart meters and additional information from different power terms. **IEEE Latin America Transactions**, New York, v. 13, n. 1, p. 158–165, 2015.
- SOUZA, W. C. **Suprimento de Energia em Telecomunicações: uma contribuição ao estudo da qualidade da energia elétrica no suprimento de sistemas de telecomunicações**. 2002. 150 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Instituto Nacional de Telecomunicações, Santa Rita do Sapucaí, 2002.
- TELEBRASIL. **Mapa de ERBs Brasil**. [S.l.: s.n.], 2016. Disponível em: <<http://www.telebrasil.org.br/>>. Acesso em: 14 de abr. 2016.
- TOLEDO, F. **Desvendando as redes elétricas inteligentes: smart grid handbook**. Rio de Janeiro: Brasport, 2012. 336 p.
- TUDE, E. Inteligência em telecomunicações. **Teleco**, Brasília, 2003. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialgprs/default.asp>>. Acesso em: 15 de mar. 2014.
- TYCON POWER SYSTEM. **Remote powersense monitor and control**. [S.l.: s.n.], 2014. Disponível em: <[http://www.tyconpower.com/products/files/TPDIN-Monitor-WEB\\_spec\\_sheet.pdf](http://www.tyconpower.com/products/files/TPDIN-Monitor-WEB_spec_sheet.pdf)>. Acesso em: 21 de fev. 2015.
- URIBE-PÉREZ, N. et al. State of the art and trends review of smart metering in electricity grids. **Applied Sciences**, Tubingen, v. 6, n. 3, p. 68, 2016.
- YAN, Y. et al. A survey on smart grid communication infrastructures: Motivations, requirements and challenges. **Communications Surveys Tutorials**, Amsterdam, v. 15, n. 1, p. 5–20, 2013.

YI, P.; IWAYEMI, A.; ZHOU, C. Developing zigbee deployment guideline under wifi interference for smart grid applications. **IEEE Transactions on Smart Grid**, Amsterdam, v. 2, n. 1, p. 110–120, 2011.

## APÊNDICE A – Código-fonte do programa principal

```

#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <Ethernet.h>
#include <sms.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <TimeLib.h>

MSGSMS sms;

#define CONFIGFILE "CONFIG.TXT"
#define SMSFILE "SMS.TXT"
#define LOGFILE "LOG.TXT"
#define SMSLOG "SMSLOG.TXT"

class Configs {
public:
char companyNumber[20];
char monitNumber[20];
char monitBackup[20];
char defaultMessage[160];
bool forwardSMS = false;
double Vcal = 110.0;
double tol = 0.01;
bool sdFailed = false;
void save() {
    if (!sdFailed) {
        SD.remove(CONFIGFILE);
        File file = SD.open(CONFIGFILE, FILE_WRITE);
        file.println(companyNumber);
        file.println(monitNumber);
        file.println(monitBackup);
        file.println(forwardSMS);
        file.println(Vcal);
        file.println(tol);
        file.close();
        SD.remove(SMSFILE);
        file = SD.open(SMSFILE, FILE_WRITE);
        file.print(defaultMessage);
        file.close();
    }
}

void load() {
    if (!sdFailed) {
        char buf[80];
        File file = SD.open(CONFIGFILE, FILE_READ);
        if (file) {
            file.readBytes(buf, 80);
            file.close();
        }
    }
}

```

```

    char *cn = strtok(buf, "\r\n");
    char *mn = strtok(NULL, "\r\n");
    char *mb = strtok(NULL, "\r\n");
    char *fs = strtok(NULL, "\r\n");
    char *vc = strtok(NULL, "\r\n");
    char *t = strtok(NULL, "\r\n");
    strcpy(companyNumber, cn);
    strcpy(monitNumber, mn);
    strcpy(monitBackup, mb);
    forwardSMS = atoi(fs);
    Vcal = String(vc).toFloat();
    tol = String(t).toFloat();
}
file = SD.open(SMSFILE, FILE_READ);
if (file) {
    file.readBytes(defaultMessage, 160);
    file.close();
}
}
}
String json() {
    String response = "{\"nconcess\":\":";
    response += companyNumber;
    response += "\", \"nmonit\":\":";
    response += monitNumber;
    response += "\", \"nmonitbackup\":\":";
    response += monitBackup;
    response += "\", \"forwardSMS\":\":";
    response += (forwardSMS) ? "true" : "false";
    response += "\", \"volts\":\":";
    response += Vcal;
    response += "\", \"tol\":\":";
    response += tol;
    response += "\", \"message\":\":";
    response += defaultMessage;
    response += "\"}";
    return response;
}
} configs;

static boolean gsmStarted = false;

static byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };
//static IPAddress ip(10, 42, 0, 20);
static EthernetServer server(80);
static EthernetServer zabbixServer(10050);
static EthernetClient zabbixClient;
static unsigned int localPort = 8888;
static const char *timeServer = "pool.ntp.br";

```

```

static const int NTP_PACKET_SIZE= 48;
const int timeZone = -3; // Horário de Brasilia
static EthernetUDP Udp;

#define MAX_CMD_LENGTH 25

boolean connected = false;
static String cmd;           //FOR ZABBIX COMMAND
static int counter = 1;     // For testing
static int limit = 1;       // Command size. Using 1 for better performance.

// Amostras por ciclo
#define SAMPLES 160
#define SKIP 20
#define DISTS (SAMPLES / SKIP)
#define SECONDS 1

#define POS(f, i) (f + i) % BUFSIZE
#define DPOS(f, i) (f + i) % DISTS

#define REF (DISTS * 60 * SECONDS)

#define BUFSIZE (SAMPLES)

// Buffer com as amostras ao quadrado
static volatile long squares[BUFSIZE];

#define INTERVAL (90)
#define TOTAL_DISTS (INTERVAL * DISTS)

//volatile unsigned int rawInput[1];
//volatile bool inputReady[1] = { false };

// Buffer com os valores de dist
static unsigned int dist[TOTAL_DISTS];
int lDist = 0;
static unsigned long ref = 0;
static volatile unsigned short first = 0, last=0;
static int count = 0;
static volatile unsigned short skip = SKIP;
//static bool doInt = true;

static double Vrms;
//Valor alto para nao acusar queda de tensao logo ao iniciar
static volatile int Vpeak = 200;
static int VpeakTemp = 0;
//static int Vnpeak = 0;

inline void formatTime(char* timeString) __attribute__((always_inline));

```

```

inline void formatTime(char* timeString) {
    // digital clock display of the time
    sprintf(timeString, "%d/%d/%d %d:%02d:%02d", day(),
        month(), year(), hour(), minute(), second());
}

inline void calcDist() __attribute__((always_inline));
inline void calcDist() {
    while (skip);
    skip = SKIP;
    register long sum = 0;
    for (register unsigned short i = 0; i < SAMPLES; ++i) {
        sum += squares[POS(first, i)];
    }
    sum >>= 10;
    dist[lDist] = sum;
}

inline double readV() __attribute__((always_inline));
inline double readV() {
    return (configs.Vcal * (Vpeak * 0.707106781)) / (184 * 0.707106781);
}

void calcRef() {
    calcDist();
    ref = dist[lDist];
    for (unsigned int i = 0; i < REF; ++i) {
        calcDist();
        ref += dist[lDist];
        ref >>= 1;
    }
}

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    if (!SD.begin(4)) {
        Serial.println("Problema com cartao");
        configs.sdFailed = true;
    }
    configs.load();

    if (!gsm.begin(4800)) {
        Serial.println("GSM nao inicializado");
    } else {
        gsmStarted = true;
        sms.SendSMS(configs.monitNumber, configs.defaultMessage);
        for (short i = 0; i < 20; ++i) {
            sms.DeleteSMS(i);
        }
    }
}

```

```

}

//TIMSK0 = 0x00;          // disable timer (causes annoying interrupts)
// Set ADC prescaler to 128 - 125KHz sample rate @ 16MHz
ADCSRA |= ( 1 << ADPS2 ) | ( 1 << ADPS1 ) | ( 1 << ADPS0 );
ADMUX |= ( 1 << REFS0 ); // Set ADC reference to AVCC
ADCSRB |= (1<<MUX5); // Pino 8
DIDR2 |= (1<<ADC8D); // Desabilita digital no pino 8
ADCSRA |= (1<<ADATE); // Auto trigger
ADCSRA |= (1<<ADEN); // Liga ADC
ADCSRA |= (1<<ADIE); // Free running
ADCSRA |= (1<<ADSC); // Inicia conversoes

//attachInterrupt(2, cross, RISING);
sei();          // Set global interrupt flag
delay(100);
Ethernet.begin(mac);
Serial.println(Ethernet.localIP());
Udp.begin(localPort);
Serial.println("waiting for sync");
setSyncProvider(getNtpTime);
calcRef();
Serial.println("Inicio");
server.begin();
zabbixServer.begin();
}

void loop() {
  Ethernet.maintain();
  //Serial.println(readV());
  zabbixAgent();
  doNetworking();
  calcDist();
  if ((dist[lDist] > ((1.0 + configs.tol) * ref))
  || (dist[lDist] < ((1.0 - configs.tol) * ref)))
  {
    double rmsV = readV();
    File logfile = SD.open(LOGFILE, FILE_WRITE);
    char disturbTime[20];
    formatTime(disturbTime);
    logfile.print(disturbTime);
    logfile.print(" Disturbio. Valor D: ");
    logfile.print(dist[lDist]);
    logfile.print(" (referencia: ");
    logfile.print(ref);
    logfile.print("); tensao: ");
    logfile.print(rmsV);
    logfile.println("V");
    //Serial.println(disturbTime);
  }
}

```

```

logfile.close();
if (rmsV < 80.0) {
    sms.SendSMS(configs.companyNumber, configs.defaultMessage);
}
}

if (gsmStarted) {
    short smsPos = sms.IsSMSPresent(SMS_UNREAD);
    if (smsPos) {
        char phoneNumber[20];
        char smsText[160];
        char strTime[20];
        formatTime(strTime);
        sms.GetSMS(smsPos, phoneNumber, 20, smsText, 160);
        Serial.println("Mensagem recebida:");
        Serial.println(phoneNumber);
        Serial.println(smsText);
        if (!configs.sdFailed) {
            String messageToLog = strTime;
            messageToLog += " mensagem recebida de ";
            messageToLog += phoneNumber;
            messageToLog += ":\n";
            messageToLog += smsText;
            File file = SD.open(SMSLOG, FILE_WRITE);
            file.println(messageToLog);
            file.close();
        }
        if (configs.forwardSMS && (strcmp(phoneNumber, configs.companyNumber) == 0))
        {
            char message[160];
            sprintf(message, "Encaminhado de %s\n\n%s", phoneNumber, smsText);
            sms.SendSMS(configs.monitNumber, message);
        }
    }
}

// Leitura das amostras (tratador de interrupcao)
ISR(ADC_vect) {
// if (doInt) {
    long rawInput = ADCL;    // store lower byte ADC
    rawInput += ADCH << 8; // store higher bytes ADC
    rawInput -= 492;
    if (count > (SAMPLES*10)) {
        count = 0;
        Vpeak = VpeakTemp;
        VpeakTemp = 0;
        //Vnpeak = rawInput;
    } else if (rawInput > VpeakTemp) {

```

```

    VpeakTemp = rawInput;
  }/* else if (rawInput < Vnpeak) {
    Vnpeak = rawInput;
  }*/
  rawInput *= rawInput;
  squares[last] = rawInput;
  last = POS(last, 1);
  count++;
  if (skip) --skip;
// }
// doInt = !doInt;
}

// Read command received.
void readTelnetCommand(char c) {
  if (cmd.length() == MAX_CMD_LENGTH) {
    cmd = "";
  }
  cmd += c;
  if (c == '\n' || cmd.length() == limit) {
    parseCommand();
  }
  else {
  }
}

//Commands received by agent on port 10050 parsing
void parseCommand() {
  if (cmd.equals("")) { }
  else {
    counter = counter + 1;
    // AGENT ping
    if (cmd.equals("p")) {
      zabbixServer.println("1");
    } else if (cmd.equals("l")) {
      zabbixServer.println("Arduino Zabbix Agent 1.0");
      delay(100);
    } else if (cmd.equals("q")) {
      zabbixServer.println(dist[lDist]);
    } else if (cmd.equals("w")) {
      zabbixServer.println(ref);
    } else { // Agent error
      //zabbixServer.print("ZBXDZBX_NOTSUPPORTED");
      //zabbixServer.print("Error");
    }
    cmd = "";
    zabbixClient.stop();
  }
}
}

```

```

void zabbixAgent() {
    zabbixClient = zabbixServer.available();
    if (zabbixClient) {
        if (!connected) {
            zabbixClient.flush();
            connected = true;
            zabbixClient.stop();
        }
        if (zabbixClient.available() > 0) {
            int clientread = zabbixClient.read();
            char charcr = clientread;
            readTelnetCommand(clientread);
        }
    }
}

void doNetworking() {
    EthernetClient client = server.available();
    const int DATASIZE = 500;

    if (client.connected()) {
        const char PROGMEM *notFound = "404.HTM";
        const char PROGMEM *index = "INDEX.HTM";
        const char PROGMEM *typeNone = "";
        const char PROGMEM *typeHtml = "Content-Type: text/html; charset=utf-8\n";
        const char PROGMEM *typeJson = "Content-Type: text/json; charset=utf-8\n";
        const char PROGMEM *typeJs = "Content-Type: text/javascript; charset=utf-8\n";
        const char PROGMEM *typeCss = "Content-Type: text/css; charset=utf-8\n";
        const char PROGMEM *typeTxt = "Content-Type: text/plain; charset=utf-8\n";
        const char PROGMEM *allowOrigin = "Access-Control-Allow-Origin: *\n";
        char *contentType = typeNone;
        char contentDisposition[100] = "";
        char buf[DATASIZE];
        const char PROGMEM *responseOK = "HTTP/1.1 200 OK";
        const char PROGMEM *noResponse = "HTTP/1.1 204 No Response";
        const char PROGMEM *responseNotFound = "HTTP/1.1 404 Not Found";
        const char PROGMEM *responseInternalServerError = "HTTP/1.1 500 Internal Error";
        char *response = responseOK;
        String address;
        String payload;

        if (client.available()) {
            short bytes = client.readBytes(buf, DATASIZE);
            buf[bytes] = '\0';
        }
        //Serial.print(buf);
        char *req = strtok(buf, "\n");
        char *remaining = strtok(NULL, "\0");
    }
}

```

```

String command = strtok(req, " ");
address = strtok(NULL, " ") + 1;
if (command == "GET") {
    if (address[0] == '\\0') {
        address = index;
    }
    String ext = strrchr(address.c_str(), '.');
    if (SD.exists(address)) {
        if (ext == ".htm") {
            contentType = typeHtml;
        } else if (ext == ".css") {
            contentType = typeCss;
        } else if (ext == ".js") {
            contentType = typeJs;
        } else if (ext == ".txt") {
            contentType = typeTxt;
            sprintf(contentDisposition, "Content-Disposition: attachment;
                address=\"%s\"\\n", address.c_str());
        }
    } else if (ext == ".json") {
        contentType = typeJson;
    } else if (configs.sdFailed) {
        contentType = typeHtml;
        response = responseInternalServerError;
    } else {
        contentType = typeHtml;
        address = notFound;
        response = responseNotFound;
    }
} else if (command == "POST") {
    response = noResponse;
    payload = strstr(remaining, "\\r\\n\\r\\n") + 4;
    if (address == "message") {
        strcpy(configs.defaultMessage, payload.c_str());
    } else if (address == "volts") {
        configs.Vcal = payload.toFloat();
    } else if (address == "nconcess") {
        strcpy(configs.companyNumber, payload.c_str());
    } else if (address == "nmonit") {
        strcpy(configs.monitNumber, payload.c_str());
    } else if (address == "nmonitbackup") {
        strcpy(configs.monitBackup, payload.c_str());
    } else if (address == "tol") {
        configs.tol = payload.toFloat();
    } else if (address == "reset") {
        calcRef();
    }
}
configs.save();
}

```

```

sprintf(buf, "%s\n%s%s%sServer: Arduino\nConnection: close\n\n",
response, allowOrigin, contentType, contentDisposition);
client.print(buf);

if (contentType == typeJson) {
    if (address == "data.json") {
        client.print("[");
        client.print(ref);
        client.print(",");
        client.print(dist[lDist]);
        client.print(",");
        client.print(readV());
        client.print("]");
    } else if (address == "config.json") {
        client.print(configs.json());
    }
} else if (configs.sdFailed) {
    client.println("<html><head><title>Detetor de disturbios</title></head><body><h1>
Problema com cartao SD</h1></body></html>");
} else {
    address.toUpperCase();
    File file = SD.open(address, FILE_READ);
    if (file) {
        while (file.available()) {
            int bytes = file.readBytes(buf, DATASIZE);
            client.write(buf, bytes);
        }
        file.close();
    }
}
client.stop();
}
}

time_t getNtpTime() {
    byte packetBuffer[NTP_PACKET_SIZE];
    while (Udp.parsePacket() > 0) ; // discard any previously received packets
    Serial.println("Transmit NTP Request");
    sendNTPpacket(timeServer, packetBuffer);
    uint32_t beginWait = millis();
    while (millis() - beginWait < 1500) {
        int size = Udp.parsePacket();
        if (size >= NTP_PACKET_SIZE) {
            Serial.println("Receive NTP Response");
            Udp.read(packetBuffer, NTP_PACKET_SIZE); // read packet into the buffer
            unsigned long secsSince1900;
            // convert four bytes starting at location 40 to a long integer
            secsSince1900 = (unsigned long)packetBuffer[40] << 24;

```

```

        secsSince1900 |= (unsigned long)packetBuffer[41] << 16;
        secsSince1900 |= (unsigned long)packetBuffer[42] << 8;
        secsSince1900 |= (unsigned long)packetBuffer[43];
        return secsSince1900 - 2208988800UL + timeZone * SECS_PER_HOUR;
    }
}

Serial.println("No NTP Response :-(");
return 0; // return 0 if unable to get the time
}

// send an NTP request to the time server at the given address
void sendNTPpacket(char* address, byte packetBuffer[]) {
    // set all bytes in the buffer to 0
    memset(packetBuffer, 0, NTP_PACKET_SIZE);
    // Initialize values needed to form NTP request
    // (see URL above for details on the packets)
    packetBuffer[0] = 0b11100011; // LI, Version, Mode
    packetBuffer[1] = 0; // Stratum, or type of clock
    packetBuffer[2] = 6; // Polling Interval
    packetBuffer[3] = 0xEC; // Peer Clock Precision
    // 8 bytes of zero for Root Delay & Root Dispersion
    packetBuffer[12] = 49;
    packetBuffer[13] = 0x4E;
    packetBuffer[14] = 49;
    packetBuffer[15] = 52;
    // all NTP fields have been given values, now
    // you can send a packet requesting a timestamp:
    Udp.beginPacket(address, 123); //NTP requests are to port 123
    Udp.write(packetBuffer, NTP_PACKET_SIZE);
    Udp.endPacket();
}

```