

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROJETO DE GRADUAÇÃO**



RAPHAEL ALMEIDA GUIMARÃES DOS SANTOS

**IMPLEMENTAÇÃO DE APLICATIVO PARA O
MONITORAMENTO DA CONFORMIDADE DE TENSÃO
EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA**

VITÓRIA – ES
DEZEMBRO/2016

RAPHAEL ALMEIDA GUIMARÃES DOS SANTOS

**IMPLEMENTAÇÃO DE APLICATIVO PARA O MONITORAMENTO
DA CONFORMIDADE DE TENSÃO EM SISTEMAS DE
DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Raphael Almeida Guimarães dos Santos**, apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador:
Prof. Dr. Lucas Frizera Encarnação

Orientador:
Eng. Jules Renato Viana Carneiro

VITÓRIA – ES
DEZEMBRO/2016

RAPHAEL ALMEIDA GUIMARÃES DOS SANTOS

**IMPLEMENTAÇÃO DE APLICATIVO PARA O MONITORAMENTO
DA CONFORMIDADE DE TENSÃO EM SISTEMAS DE
DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Raphael Almeida Guimarães dos Santos**, apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Trabalho aprovado em 12 de dezembro de 2016.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Lucas Frizera Encarnação
Orientador

Eng. Jules Renato Viana Carneiro, M.Sc.
Orientador

Eng. Carlos Alberto Moraes Gonçalves, M.Sc.
Examinador

Prof. Dr. Domingos Sávio Lyrio Simonetti
Examinador

VITÓRIA – ES
DEZEMBRO/2016

Dedico este trabalho à Deus e à minha família

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, por oferecer-me tudo o que preciso.

Meus sinceros agradecimentos aos meus pais, Dulcileide e Samuel, e à minha irmã Lorena, por concederem-me o apoio, incentivo e fortalecimento suficientes para impulsionar-me nos momentos difíceis e por encontrar na existência deles a motivação de sempre seguir em busca dos meus objetivos.

À Professora Thais Sossai Freitas, pela companhia, compreensão, motivação e gentileza prestada ao revisar o texto do presente trabalho.

Ao Professor Lucas Frizera Encarnação, pelo suporte, confiança e apoio na elaboração deste trabalho.

Ao Engenheiro Jules Renato Viana Carneiro, pela orientação, pela experiência e conhecimentos compartilhados que muito agregaram ao presente trabalho e à minha formação profissional.

Ao Eletricista Claudio Rocha Christo pela presteza, dedicação e sugestões que muito enriqueceram o projeto.

À EDP Escelsa, por ter disponibilizado recursos primordiais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas de trabalho, pelo auxílio e sugestões que contribuíram com o enriquecimento deste projeto.

“Conhecer não é demonstrar nem explicar, é aceder à visão”

Antoine de Saint-Exupéry

RESUMO

É dever das distribuidoras zelar pelo melhor fornecimento de energia elétrica e pela manutenção da qualidade dos serviços prestados. A qualidade observada pelo consumidor de uma concessionária de serviço público de distribuição de energia elétrica deve ser avaliada quanto à qualidade do produto, relativo à conformidade da tensão em regime permanente e à ausência de distúrbios na forma de onda, a qualidade do serviço, relacionada à continuidade na prestação do serviço e a qualidade do atendimento ao consumidor. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabelece indicadores que medem a qualidade do fornecimento de tensão e impõe limites para que as concessionárias entreguem um produto dentro dos padrões adequados, caso contrário, a empresa será obrigada a pagar multas devido às violações previstas no regulamento descrito nos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST).

Ao passo que novas cargas são acrescidas nos sistemas elétricos de distribuição, aumenta-se a preocupação das distribuidoras em manter a operação adequada da rede elétrica sem infringir as normas. Atualmente, a concessionária possui informações sobre a operação do seu sistema, através de medições automatizadas executada por telemedições. Contudo, essas informações, por vezes, não são interpretadas, ou seja, as empresas recebem as informações sobre os sintomas da rede elétrica, porém, não dispõe de meios para efetuar o diagnóstico desses sintomas. Tendo como exemplo a qualidade do produto, a distribuidora detém medições automáticas dos níveis de tensões em regime permanente em vários pontos do sistema, mas só reconhece que há alguma irregularidade nesses níveis se o consumidor realizar reclamações de tensão. Se for comprovada a procedência da reclamação e for constatada violação dos índices de conformidade de tensão, a concessionária tem o dever de compensar o consumidor.

Com o propósito de oferecer à concessionária a capacidade de identificar os pontos irregulares quanto à conformidade de tensão, foi implementado um aplicativo, objeto de estudo deste projeto, encarregado de efetivar o monitoramento da qualidade do produto através da reunião das informações pertinentes adquiridas pela empresa e de suas respectivas interpretações, com o objetivo de antecipar-se às reclamações de tensão para evitar os gastos devido às violações dos indicadores de conformidade.

Palavras-chave: Qualidade do Serviço, Qualidade do Produto, Qualidade do Atendimento, Indicadores de Conformidade.

ABSTRACT

It is the duty of the distributors to ensure the best supply of electricity and maintain the quality of the services provided. The quality observed by the consumer of a utility of public electricity distribution service should be evaluated as to the quality of the product, regarding the conformance of the steady state voltage and the absence of disturbances in the waveform, the quality of the service, related to the continuity in the provision of the service and the quality of the customer attendance. ANEEL establishes indicators that measure the quality of the voltage supply and imposes limits for the concessionaires to deliver a product according to the appropriate standards, otherwise the company will be obliged to pay fines due to the violations provided in the regulation described in the Electrical Energy Distribution Procedures in the National Electrical System (PRODIST).

As new loads are added in the electrical distribution systems, the distributors' concern about maintaining proper operation of the power grid without inflict the standards increases. Nowadays, the concessionaire has information about the operation of its system, through automated measurements performed by telemetry. However, this information is not interpreted often, that is, the companies receive the information about the electrical network symptoms, but it does not have the means to diagnose these symptoms. Taking product quality as an example, the distributor holds automatic measurements of steady state voltage levels at various points in the system, but only recognizes that there is some irregularity at these levels if the consumer makes voltage complaints. If it proves the validity of the complaint and it is found violation of the voltage conformance indexes, the concessionaire must compensate the consumer.

In order to offer the concessionaire the ability to identify irregular points regarding voltage conformance, an application was developed, object of study of this project, in charge to perform the monitoring of product quality through the gathering of pertinent information acquired by the company and their respective interpretation, in order to anticipate the voltage complaints to avoid the expenses due to violations of the conformance indicators.

Keywords: Quality of Service, Product Quality, Quality of Attendance, Indicators of Conformance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Interconexão de computadores terminais e um servidor.....	36
Figura 2 - Intercâmbio de dados entre um navegador e um servidor	40
Figura 3 - Esquema do relacionamento das tabelas no banco de dados	44
Figura 4 - Procedimentos lógicos do aplicativo	46
Figura 5 - Procedimentos da seção em HTML/CSS.....	47
Figura 6 - Procedimentos da seção em JavaScript.....	48
Figura 7 - Algoritmo de cálculo dos indicadores e da compensação	51
Figura 8 - Procedimentos da seção em PHP	53
Figura 9 - Layout da página do relatório geral	55
Figura 10 - Layout da página do relatório por circuito.....	56
Figura 11 - Layout da página do relatório por unidade consumidora.....	56
Figura 12 - Menu do aplicativo	57
Figura 13 - Captura do gráfico de indicadores médios por circuito	58
Figura 14 - Captura do gráfico das compensações por circuito.....	58
Figura 15 - Captura do gráfico dos clientes em situação precária.....	59
Figura 16 - Captura do gráfico dos clientes em situação crítica.....	59
Figura 17 - Captura do gráfico das compensações no conjunto	59
Figura 18 - Captura do gráfico dos indicadores no circuito CIT04.....	61
Figura 19 - Captura do gráfico das compensações no circuito CIT04	62
Figura 20 - Captura do gráfico dos indicadores no circuito SFR01	62
Figura 21 - Captura do gráfico das compensações no circuito SFR01.....	62
Figura 22 - Captura do gráfico dos indicadores no circuito PIH01	63
Figura 23 - Captura do gráfico dos indicadores no circuito PIH01	63
Figura 24 - Captura do gráfico dos indicadores no circuito JNE04	64
Figura 25 - Captura do gráfico das compensações no circuito JNE04.....	64
Figura 26 - Mapas dos circuitos.....	65
Figura 27 - Captura do cabeçalho do relatório individual	65
Figura 28 - Captura do gráfico do perfil de tensão por período	66
Figura 29 - Captura do gráfico do histograma de tensão.....	66
Figura 30 - Captura do gráfico dos registros válidos e ausentes	67
Figura 31 - Captura do gráfico dos valores de tensão médio, mínimo e máximo	67
Figura 32 - Captura do gráfico dos indicadores estimados e da compensação estimada	68

Figura 33 - Ordenação da análise instaurada pelo aplicativo	68
Figura 34 - Fluxograma do método de uso do aplicativo	71
Figura 35 - Ordenação da análise do aplicativo interligado à base da concessionária	74

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Quantidade de compensações pagas	22
Gráfico 2 - Valor das compensações devido às violações dos indicadores DRP e DRC	23
Gráfico 3 - Sinal de tensão alternada e sua tensão eficaz	28
Gráfico 4 - Perfil de tensão ao longo do tempo em um ponto de entrega	31
Gráfico 5 - Relação das compensações mais elevadas por circuito.....	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Faixas aplicadas às tensões nominais inferiores a 1 kV	31
Quadro 2 - Faixas aplicadas às tensões nominais superiores a 1 kV e inferiores a 69 kV	31
Quadro 3 - Circuitos primários selecionados para a elaboração do projeto	39
Quadro 4 - Estrutura da tabela dos dados cadastrais dos consumidores.....	42
Quadro 5 - Estrutura da tabela EUSD.....	43
Quadro 6 - Estrutura da tabela de medição.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AJAX	<i>Asynchronous JavaScript and XML</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
API	<i>Application Programming Interface</i>
CSS	<i>Cascading Style Sheets</i>
CSV	<i>Comma Separated Values</i>
DRC	Duração relativa de transgressão de tensão crítica individual
DRC _M	Duração Relativa de Tensão Crítica
DRP	Duração relativa de transgressão de tensão precária individual
DRP _M	Duração Relativa Máxima de Tensão Precária
EUSD	Encargo de uso do sistema de distribuição
GPRS	<i>General Packet Radio Services</i>
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
pu	Por unidade
RMS	<i>Root Mean Square</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
VTLD	Variações de tensão de longa duração
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Qualidade do produto	15
1.1.1	Cinco abordagens para definir Qualidade	15
1.1.1.1	A abordagem transcendente	15
1.1.1.2	A abordagem baseada no produto	15
1.1.1.3	A abordagem baseada em usuários	16
1.1.1.4	A abordagem baseada na produção	16
1.1.1.5	A abordagem baseada em valor.....	16
1.1.2	Oito dimensões da qualidade.....	16
1.1.2.1	Performance.....	17
1.1.2.2	Características	17
1.1.2.3	Confiabilidade	17
1.1.2.4	Conformidade	17
1.1.2.5	Durabilidade	18
1.1.2.6	Serviço.....	18
1.1.2.7	Estética	18
1.1.2.8	Qualidade percebida	18
1.1.3	Qualidade na distribuição de energia elétrica.....	18
1.2	Motivação	21
1.3	Objetivos.....	24
1.3.1	Objetivos gerais.....	24
1.3.2	Objetivos específicos.....	24
1.4	Alocação de recursos	24
1.5	Descrição das atividades desenvolvidas	25
1.5.1	Pesquisa e estudo bibliográfico	25
1.5.2	Implementação	25
1.5.3	Testes e depuração.....	26
1.5.4	Verificação dos resultados.....	26
1.5.5	Apresentação do projeto	26
1.6	Estrutura do trabalho	26
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1	O valor eficaz da tensão	27

2.2	Distúrbios elétricos	28
2.3	Conformidade dos níveis de tensão	30
2.4	Indicadores da qualidade do produto.....	32
2.5	Procedimentos de gestão da qualidade de tensão	33
2.6	Compensações	34
3	IMPLEMENTAÇÃO DO APLICATIVO.....	36
3.1	Infraestrutura básica de uma rede de computadores.....	36
3.1.1	Modelo de rede cliente-servidor.....	36
3.1.2	Banco de dados.....	37
3.2	Desenvolvimento em navegadores	37
3.2.1	Ambientes server-side e client-side.....	37
3.2.2	HTML.....	37
3.2.3	JavaScript	38
3.2.4	MySQL.....	38
3.3	Planejamento do programa	38
3.4	Elaboração do banco de dados	41
3.5	Procedimentos lógicos integrantes do aplicativo	45
3.5.1	O documento HTML/CSS.....	47
3.5.2	Procedimentos no lado do cliente.....	48
3.5.3	Procedimentos no lado do servidor	53
4	EXECUÇÃO DO APLICATIVO.....	55
4.1	Interface do usuário	55
4.2	Menu.....	57
4.3	Relatório geral	57
4.4	Relatórios por circuito	60
4.5	Relatório individual.....	65
4.6	Metodologia de utilização	68
5	CONCLUSÃO	72
5.1	Trabalhos futuros.....	73
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

1 INTRODUÇÃO

1.1 Qualidade do produto

O termo qualidade do produto contempla uma definição discutida com frequência. Parece ser um termo com significado simples e direto, contudo, conceituá-lo de modo preciso é uma tarefa intrincada. O conceito mais genérico da qualidade do produto é aquele que atende às especificações do consumidor. Porém, essa concepção está longe de abstraí-lo suficientemente. Segundo Garvin (1984), a literatura acadêmica sobre a qualidade não foi revisada extensivamente. Estudiosos de diversas disciplinas defendem significados distintos para a qualidade do produto. A filosofia preocupa-se com o lado da definição, a área econômica está voltada à maximização do lucro e equilíbrio do mercado, a disciplina de marketing considera os fatores determinantes do comportamento de compra e satisfação do cliente, e a gestão de operações leva em conta as práticas de engenharia e controle de fabricação. Percebe-se, pela heterogeneidade das ponderações entre os ramos de estudo, que o resultado é uma série de perspectivas concorrentes, cada uma baseada em um quadro analítico diferente e cada uma empregando sua própria terminologia.

1.1.1 Cinco abordagens para definir Qualidade

Garvin (1984) cita cinco abordagens que definem qualidade: transcendente, baseada no produto, no usuário, na produção e no valor.

1.1.1.1 A abordagem transcendente

De acordo com a visão transcendente, a qualidade é sinônimo de excelência inata. É ao mesmo tempo absoluta e universalmente reconhecível, uma marca de padrões inflexíveis e grandes realizações. No entanto, os proponentes deste ponto de vista alegam que a qualidade não pode ser definida com precisão, ao contrário, é uma propriedade simples, não analisável e capaz de reconhecer apenas através da experiência.

1.1.1.2 A abordagem baseada no produto

Definições baseadas no produto são bastante diferentes. Eles veem a qualidade como uma variável precisa e mensurável. De acordo com esse ponto de vista, as diferenças de qualidade refletem as diferenças na quantidade de algum ingrediente ou atributo possuído por um produto.

Portanto, como a qualidade reflete a presença ou ausência de atributos do produto mensuráveis, ela pode ser avaliada de forma objetiva.

1.1.1.3 A abordagem baseada em usuários

Definições baseadas em usuário partem da premissa que a qualidade reside nos olhos de quem vê. Os consumidores possuem diferentes desejos ou necessidades, e os bens que melhor satisfazem as suas preferências são aqueles que eles consideram como tendo a mais alta qualidade. Essa é uma visão altamente subjetiva, idiossincrática e pessoal de qualidade.

1.1.1.4 A abordagem baseada na produção

As definições baseadas na produção estão preocupadas, sobretudo, com a engenharia e práticas de fabricação. Praticamente, todas as definições com base em fabricação identificam a qualidade como conformidade com os requisitos. Uma vez que um desenho ou uma especificação foi estabelecida, qualquer desvio implica uma redução na qualidade, ou seja, um produto que se desvie das especificações é susceptível de ser mal elaborado e não confiável, fornecendo menos satisfação do que aquele que é produzido adequadamente.

De acordo com a abordagem baseada na produção, a melhoria da qualidade (que é equivalente a redução do número de desvios) leva a reduzir os custos. A prevenção de defeitos é vista como menos custosa do que reparar ou refazer-los.

1.1.1.5 A abordagem baseada em valor

Definições baseadas em valor classificam a qualidade em termos de custos e preços. De acordo com esse ponto de vista, um produto de qualidade é aquele que fornece desempenho a um preço ou conformidade aceitável e a um custo aceitável.

1.1.2 Oito dimensões da qualidade

Com o intuito de desenvolver uma definição mais completa, Garvin (1984) enuncia oito itens que classificam a qualidade do produto, sendo eles: performance, características, confiabilidade, conformidade, durabilidade, serviço, estética e qualidade percebida.

1.1.2.1 Performance

Esta dimensão da qualidade combina elementos do produto e da abordagem baseada no usuário. A ligação entre o desempenho e qualidade, no entanto, é ambígua. Se as diferenças de desempenho são percebidas como diferenças de qualidade, normalmente há uma dependência às preferências individuais. Os usuários normalmente têm uma ampla gama de interesses e necessidades e cada um é susceptível de igualar a qualidade com o alto desempenho relativo à sua área de interesse imediato. Portanto, o desempenho de um produto corresponderia às suas características objetivas, ao passo que a relação entre o desempenho e qualidade reflete reações individuais.

1.1.2.2 Características

As características do produto complementam seu funcionamento básico. Em muitos casos, a linha que separa os aspectos primários do produto (desempenho) de aspectos secundários (características) é difícil de traçar. Recursos, como o desempenho do produto, envolvem objetivos e atributos mensuráveis afetados pelas preferências individuais.

1.1.2.3 Confiabilidade

Esta dimensão reflete a probabilidade de falha de um produto dentro de um período de tempo especificado. Entre as medidas mais comuns de confiabilidade estão o tempo médio para a primeira falha (CFMP), o tempo médio entre falhas (MTBF), e a taxa de falhas por unidade de tempo.

1.1.2.4 Conformidade

É o grau em que as características de projeto e operação de um produto correspondem aos padrões pré-estabelecidos. A confiabilidade e a conformidade são intimamente ligadas à abordagem baseada na produção de qualidade. Melhorias em ambas as medidas são normalmente traduzidas em ganhos de qualidade, porque os defeitos e falhas são considerados indesejáveis por praticamente todos os consumidores. É uma dimensão menos propensa a refletir preferências individuais se comparada às características e ao desempenho.

1.1.2.5 Durabilidade

A durabilidade pode ser definida como o quanto se pode usar um produto antes da deterioração deste. Por exemplo, uma lâmpada, depois muitas horas de uso, deve ser substituída após a queima do seu filamento. Os economistas chamam esses produtos de *shays one-hoss*, termo usado extensivamente na modelagem da produção e no consumo de bens de capital.

1.1.2.6 Serviço

Refere-se à qualidade de manutenção ou à velocidade e competência do reparo. Os consumidores não só se preocupam com a avaria do produto, mas também com o tempo decorrido antes que o serviço seja restaurado, a pontualidade com que compromissos de serviço são mantidos, a natureza das suas relações com o pessoal do serviço, e a frequência com que as chamadas de serviço ou reparos falham em resolver os problemas pendentes. Algumas dessas variáveis podem ser medidas objetivamente, outras refletem diferentes padrões pessoais do que constitui um serviço aceitável.

1.1.2.7 Estética

Estética e qualidade percebida estão intimamente relacionadas com a abordagem baseada no usuário. Aspectos visuais, sonoros, gustativos ou olfativos são claramente questões de julgamento pessoal e reflexões de preferências individuais.

1.1.2.8 Qualidade percebida

Percepções de qualidade podem ser tão subjetivas como avaliações de estética, porque os consumidores nem sempre possuem informações completas sobre os atributos de um produto.

1.1.3 Qualidade na distribuição de energia elétrica

Pode-se comparar uma concessionária ou permissionária de serviço público de distribuição de energia elétrica com uma empresa que presta serviço de transporte ou entrega de alguma mercadoria. A qualidade do produto entregue por uma transportadora refere-se ao estado de integridade em que essa mercadoria chega ao seu destino, adotando como referência o estado da mercadoria no local de origem. Particularmente, o produto entregue pela concessionária é a energia elétrica, mercadoria que, ao ser entregue às unidades consumidoras, pode ser popularmente julgada pela intensidade de uma grandeza elétrica chamada tensão.

Enquanto que os níveis de tensão podem ser readequados pela distribuidora, esta não possui o mesmo controle com a corrente drenada pelas cargas. Por essa razão, a tensão fornecida é a grandeza primordial na designação da qualidade de energia como concepção que exprime a ausência de desvios em uma fonte de tensão perfeitamente senoidal com frequência e amplitude constantes (BROWN, 2009).

Os problemas relacionados à qualidade da energia elétrica têm se tornado mais frequentes em função da disseminação de equipamentos eletrônicos e processos automatizados e podem ser classificados em diversas categorias, como interrupções, afundamentos, elevações, eventos transitórios, ruídos, flutuações, distorções harmônicas e variações de frequência. Esses fenômenos constituem o conjunto dos seguintes distúrbios de tensão que agem como fatores comprometedores da qualidade da energia elétrica: os afundamentos e elevações de tensão são caracterizados por desvios do valor eficaz da tensão fornecida em curtos intervalos de tempo; a interrupção momentânea ou temporária consiste na redução da amplitude de tensão eficaz em valores inferiores à 10% de uma tensão de referência; os transientes são caracterizados por mudanças repentinas na magnitude da tensão; ruídos são definidos pela presença de sinais espúrios indesejados no fornecimento; flutuações de tensão referem-se às variações, em baixa frequência, na tensão eficaz, sendo visivelmente percebidas por mudanças no brilho de lâmpadas incandescentes; distorções harmônicas são descritas pela composição de formas de onda com frequência múltiplas inteiras da frequência fundamental.

Inúmeras são as causas dos problemas na qualidade da energia elétrica, que são enumeradas por perdas na rede de distribuição, chaveamento de cargas, partida de motores, inclusão de cargas não-lineares como retificadores, falhas em equipamentos, deterioração de cabos, presença de animais na rede, fenômenos climáticos, atuação de disjuntores, entre outros.

Visando regulamentar e quantificar a qualidade da energia elétrica entregue pelas distribuidoras de energia, houve a necessidade da criação de índices de qualidade baseados em agregações estatísticas de dados provenientes de um conjunto de cargas, componentes ou clientes. Esses índices são definidos pelo padrão IEEE 1366-2012, contudo, apesar de sua crescente popularidade, não é universalmente adotado pelos órgãos regulatórios.

Conforme argumentado por Guimarães (2008), pela Resolução 505/2001, a doutrina da ANEEL, relativa à conformidade de tensão, baseia-se na comparação entre o prejuízo conhecido pelo cliente, devido aos níveis irregulares e ao custo que pesa sobre o fornecedor para reverter esses níveis com obras de melhoria no sistema elétrico. A intenção da ANEEL não é conseguir a tensão ideal, mas manter o afastamento de tensão em um valor que mantenha

o sistema físico em condições de ajustamento do mercado. O desafio principal para implementar uma estratégia reguladora sobre conformidade de tensão é o fato que o prejuízo do afastamento recai no cliente e, por consequência, não há incitação para que a empresa invista na redução deste prejuízo. O órgão regulador tem resolvido o impasse através de valores indenizatórios, como ressarcimento nas faturas dos clientes, no caso de descumprimento por parte das concessionárias dos prazos limites estabelecidos na resolução nº 505/2001 da ANEEL para regularização do fornecimento em caso de não-conformidade (GUIMARÃES, 2008).

Em meio a esse panorama de transgressões e consequentes compensações, a distribuidora pode adotar certas posturas, como é exemplificado por Brown (2009). Uma delas é realizar altos investimentos em equipamentos elétricos que garantam os requisitos de qualidade da energia elétrica. Por outro lado, a distribuidora pode optar por realizar menos investimentos na rede e lidar com uma maior demanda de compensações devido aos problemas de qualidade da energia elétrica. Entretanto, como nenhum desses extremos são desejáveis, a conduta mais frequente é encontrar um ponto de equilíbrio entre os custos e o padrão de qualidade da energia elétrica proporcionado aos clientes.

Pretendendo regular a qualidade na prestação do serviço de distribuição de energia elétrica no Brasil, a ANEEL estabelece critérios que definem se a energia elétrica é entregue com qualidade ao consumidor. Por meio do Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, a ANEEL estabelece parâmetros, metodologias e procedimentos relativos à qualidade da energia elétrica, abordando a qualidade do produto e a qualidade do serviço prestado. Para a qualidade do produto, o Módulo 8 define a terminologia, caracteriza os fenômenos, parâmetros e valores de referência relativos à conformidade de tensão em regime permanente e às perturbações na forma de onda de tensão, estabelecendo mecanismos que possibilitem ao referido órgão fixar padrões para os indicadores de qualidade da energia elétrica.

Os aspectos considerados pelo Módulo 8 para a qualidade do produto em regime permanente ou transitório são: tensão em regime permanente, fator de potência, harmônicos, desequilíbrio de tensão, flutuação de tensão, variações de tensão de curta duração e variação de frequência. O nível de tensão em regime permanente é o cerne do presente trabalho, cuja implementação foi incentivada por um cenário caracterizado pela tentativa de assegurar a qualidade da energia elétrica com investimentos moderados e almejando redução das compensações pagas pelas distribuidoras em razão das transgressões aos limites dos indicadores de conformidade. Este projeto propõe a elaboração de um aplicativo de monitoramento e análise dos registros de

medições de tensão viabilizados pela infraestrutura da concessionária EDP Escelsa. Por meio da inclusão desse procedimento à rede corporativa da empresa, seria possível realizar varreduras diárias no banco de dados de clientes com telemetria e gerar relatórios contendo análise da conformidade dos níveis de tensão. Desse modo, seria possível intensificar a eficiência dos serviços de manutenção corretiva por meio do mapeamento dos pontos críticos do sistema elétrico.

1.2 Motivação

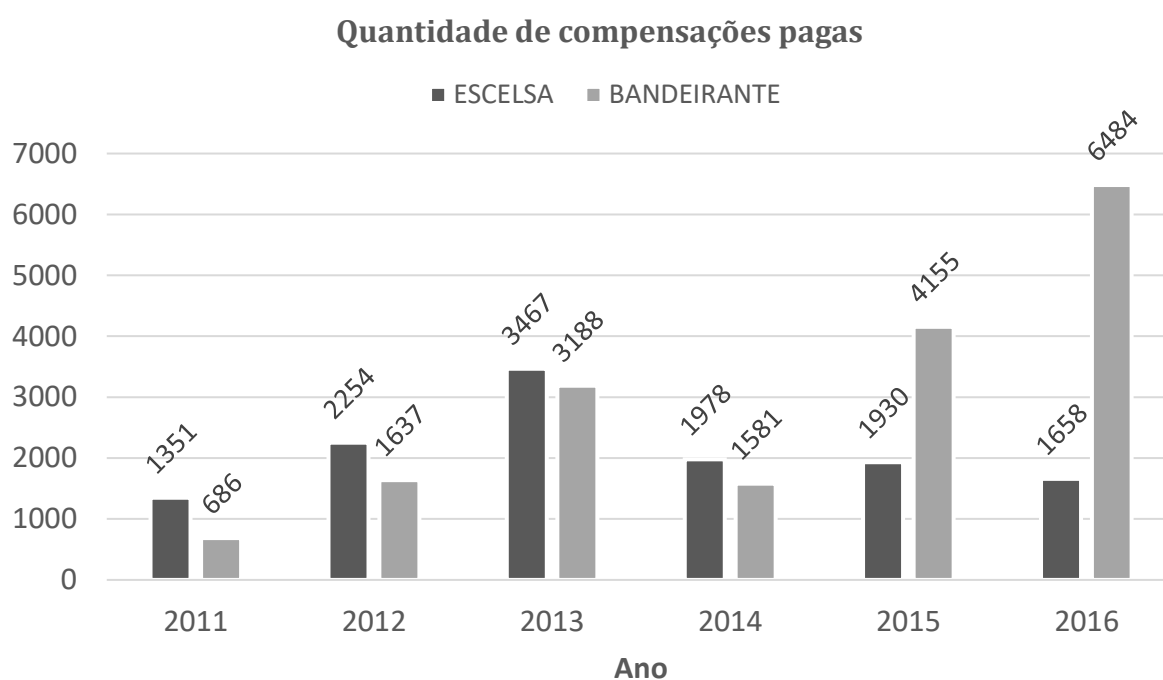
O órgão regulador estipula penalizações para as distribuidoras que fornecem tensão em regime permanente, cujos níveis distanciam-se de um valor adotado como referência e infringem os limites estabelecidos. Sob a perspectiva da concessionária, os custos decorrentes de problemas na conformidade da tensão são: redução do faturamento devido às compensações pela não-conformidade, custos de reparos e manutenção no sistema para regularização dos níveis de tensão, multas impostas pela ANEEL quando a empresa não cumpre as metas individuais de conformidade e ressarcimento de prejuízos causados aos consumidores por conta da queima de equipamentos eletrônicos por sobretensão, por exemplo.

As distribuidoras de energia elétrica possuem meios de apuração contínua dos níveis de tensão por meio de medidores munidos de tecnologia de medição automatizada e comunicação remota. Esse sistema consiste na utilização de conjuntos de medição para média tensão com transformadores de tensão e de corrente encapsulados, garantindo maior proteção aos equipamentos e redução de fraudes e na instalação de remotas supervisoras de telemetria em um segmento de clientes com carga instalada superior a 75 kW (clientes com perfil de fornecimento de média tensão). Os módulos de telemetria são encarregados de enviar medidas de consumo de energia, alarmes e monitoramento de fases (tensão, corrente) ao Centro de Controle de Medição. Essas informações são abrigadas nos servidores da empresa e, portanto, a instituição dispõe de um conhecimento expressivo sobre a operação do sistema elétrico em diversos pontos da área de concessão. Na atualidade, os registros de tensões, provenientes de telemedição, são aproveitados para avaliação da tensão de atendimento de unidades consumidoras durante os procedimentos de tratamento de uma reclamação de tensão realizada por um cliente, podendo ser compensado somente após a comprovação de sua procedência. Em outras palavras, ocorre que a situação irregular do fornecimento de tensão em um ponto específico do sistema elétrico só é descoberta quando há o arquivamento de uma reclamação de tensão e, por isso, a obtenção dos valores de tensões medidos continuamente por medição

remota, por si só, não é suficiente para conter os gastos devidos a não conformidade da tensão em regime permanente.

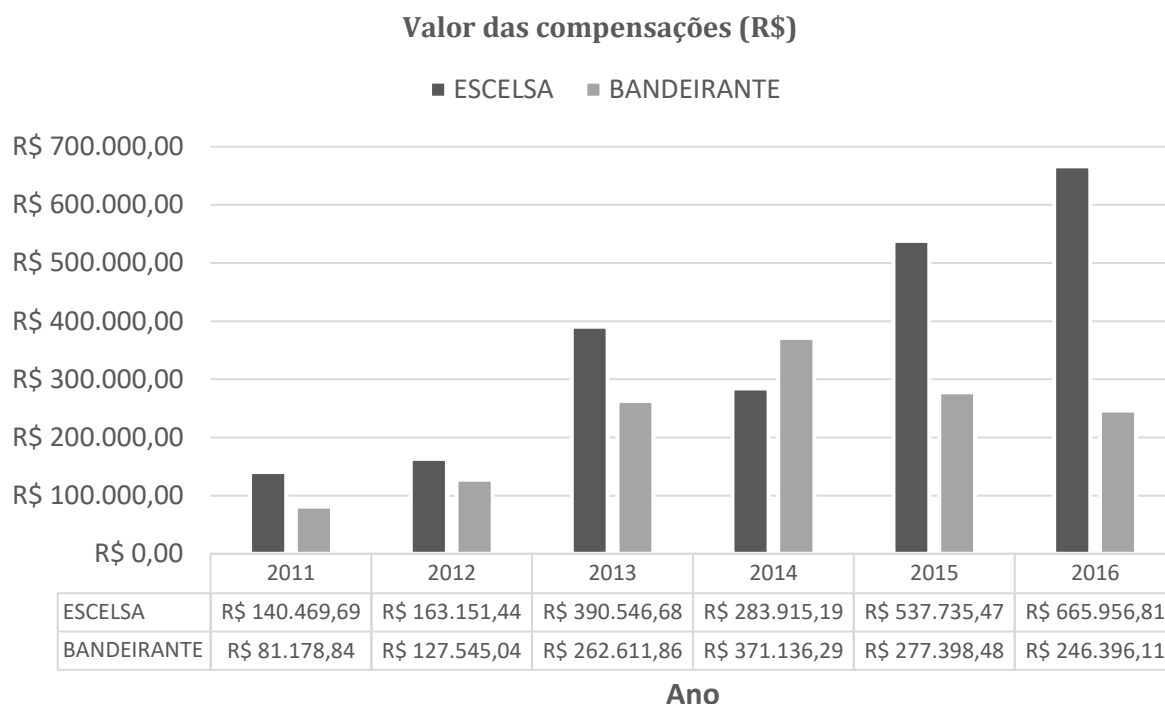
Seguindo como exemplo duas concessionárias do grupo EDP, a Escelsa e a Bandeirante, situadas nos estados do Espírito Santo e São Paulo, respectivamente, observa-se que a quantidade (Gráfico 1) e os valores relativos aos gastos por compensações devido a não conformidade (Gráfico 2) são expressivos. No ano de 2015, a Escelsa pagou uma quantidade de 1930 compensações, totalizando um valor de R\$ 537.735,47, ao passo que a Bandeirante pagou, no mesmo ano, 4155, totalizando um valor de R\$ 277.398,48. Percebe-se que o valor pago não é necessariamente proporcional à quantidade de compensações, uma vez que a apuração desse valor depende de parâmetros específicos de cada unidade consumidora. A ampliação contínua da rede elétrica devido ao aumento de carga em desequilíbrio com os serviços de manutenção e investimentos para a modernização e aperfeiçoamento do sistema físico é um dos fatores preeminentes que justificam a tendência de elevação do valor das compensações nos últimos cinco anos.

Gráfico 1 - Quantidade de compensações pagas



Fonte: ANEEL (2016).

Gráfico 2 - Valor das compensações devido às violações dos indicadores DRP e DRC



Fonte: ANEEL (2016).

Segundo a ABRADDEE, distribuidoras correm o risco de perder concessão devido à má qualidade do serviço prestado. A ANEEL cogita rejeitar parte dos pedidos de renovação das concessões de um conjunto de distribuidoras. Uma alternativa para essa situação é a imposição de planos detalhados de investimentos para melhorar indicadores de qualidade em curto prazo. Para isso, serão avaliados diversos aspectos da prestação de serviço das empresas, entre eles, os indicadores de conformidade do nível de tensão.

Esclarecida a situação atual, emerge uma necessidade de pôr em prática um sistema capaz de reunir e processar informações pertinentes das unidades consumidoras, incluindo os registros de tensão adquiridos por telemetria, para que seja possível identificar os pontos críticos do sistema elétrico e otimizar a mobilização de equipes técnicas para execução de manutenção corretiva, tendo como objetivo principal antecipar-se às reclamações dos clientes e evitar que esses sejam compensados se a procedência de sua reclamação for comprovada.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos gerais

Pretende-se, com o desenvolvimento do projeto, criar um instrumento de grande utilidade para as distribuidoras de energia elétrica. Esse instrumento tem como principal propósito a detecção dos pontos de fornecimento de tensão irregular no sistema elétrico através de varreduras diárias do banco de dados que abrigam as medições dos consumidores dotados de tecnologia de medição automatizada e comunicação remota (telemetria).

1.3.2 Objetivos específicos

Em primeira instância, é necessário efetuar o reconhecimento da infraestrutura de rede pertencente ao Centro de Controle de Medição da concessionária e estudar, com a devida autorização, os possíveis modos de acesso aos servidores de armazenamento e comunicação dos equipamentos medidores em campo. Essa etapa tem o objetivo de estabelecer o acesso aos registros das medições de faturamento de uma base amostral de clientes.

O segundo passo refere-se à implementação de uma aplicação designada a executar varreduras periódicas na base de dados amostral, realizar o processamento dos registros de medição e gerar relatórios que apontem as condições de fornecimento de tensão em cada cliente do conjunto considerado.

Por fim, será possível reconhecer as regiões do sistema elétrico com a conformidade da tensão comprometida, que podem vir a acarretar custos ao distribuidor e ao cliente. O elemento chave é ter em mãos um recurso que seja capaz de orientar, de modo eficiente e com prioridade, os serviços de manutenção corretiva. É esperado que a implementação deste projeto colabore expressivamente para a diminuição dos prejuízos relativos às compensações por violação dos indicadores de conformidade e dos gastos relativos ao ressarcimento de danos, contribuindo com a elevação da qualificação da empresa e com a satisfação dos clientes.

1.4 Alocação de recursos

Dispondo da colaboração da EDP Escelsa, foi possível reunir informações como dados cadastrais de clientes, valores de EUSD mensais, que são valores, em moeda corrente nacional, do uso das instalações de distribuição, e os registros de leituras de tensão de consumidores possuidores de telemetria, recursos primordiais para a elaboração do projeto.

Para a fundamentação teórica, o Módulo 8 pertencente ao PRODIST, disponibilizado digitalmente na página da ANEEL, permitiu o conhecimento dos preceitos regulatórios acerca da conformidade de tensão e dos procedimentos relativos à gestão da não-conformidade.

Para a implementação do aplicativo foram necessários *softwares* específicos para desenvolvimento de *web sites*. Disponibilizados gratuitamente em suas respectivas páginas, foram usados: EasyPHP DevServer 14.1 VC9, MySQL Workbench 6.3 CE, IntelliJ Idea Community Edition 2016.2.2, Notepad++ e o navegador Google Chrome. O EasyPHP é um pacote que inclui diversos *softwares* que dão suporte ao desenvolvimento de aplicativos para navegadores, como o servidor Apache e o banco de dados MySQL. O MySQL Workbench é um programa para criação e gerenciamento de bancos de dados desenvolvidos em SQL. O *software* IntelliJ Idea é um ambiente completo de programação em linguagem Java. O Notepad++ é um editor de texto usado para escrita das rotinas de um programa e o Google Chrome foi usado para efetuar testes e depuração do aplicativo implementado, visto que esse navegador possui uma ótima ferramenta para desenvolvedores.

1.5 Descrição das atividades desenvolvidas

A implementação do projeto foi subdividida em cinco etapas, cuja descrição encontra-se a seguir:

1.5.1 Pesquisa e estudo bibliográfico

Inicialmente, foi necessário reunir o conhecimento necessário para que o projeto pudesse ser planejado e desenvolvido de maneira correta. O Módulo 8 do PRODIST, acompanhado de livros acadêmicos de distribuição de energia elétrica, de livros de programação e de trabalhos científicos, serviram como conteúdo bibliográfico para a aquisição de informações fundamentais. Esse material possibilitou o estudo do regulamento da qualidade da energia elétrica, da programação em banco de dados e em navegadores. Não menos importante, o contato com profissionais ligados ao tema foi essencial para um desenvolvimento orientado do projeto.

1.5.2 Implementação

Essa etapa consiste na programação estrutural e dos procedimentos lógicos do aplicativo. As tarefas contidas nessa etapa são: programação de procedimentos de conexão e consulta em

banco de dados, dos procedimentos de análise de registros de medição de tensões e de procedimentos de geração de diagnóstico.

1.5.3 Testes e depuração

Os testes e a verificação de erros têm como objetivo detectar e corrigir falhas nos algoritmos do aplicativo. Essa etapa foi executada paralelamente à implementação.

1.5.4 Verificação dos resultados

Após a conclusão das etapas de implementação e dos testes e depuração, é necessário certificar se o aplicativo em execução segue um comportamento estável, previsível e se este fornece os resultados esperados.

1.5.5 Apresentação do projeto

A etapa final resume-se na apresentação do trabalho e aprovação pelo Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Espírito Santo.

1.6 Estrutura do trabalho

Planejando atingir os propósitos estabelecidos na seção 1.3 desse capítulo, este trabalho foi sistematizado nos cinco capítulos relatados a seguir:

Os tópicos fundamentais relativos ao projeto como conceituação, análise situacional, propósito, motivação e organização encontram-se no primeiro capítulo.

O segundo capítulo expõe os termos regulatórios voltados aos níveis de tensão em regime permanente estabelecidos pela ANEEL por meio do Módulo 8 pertencente aos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional.

O processo de coleta e preparação dos dados pertinentes, bem como a implementação dos procedimentos estruturais e lógicos relativos ao aplicativo são apresentados no terceiro capítulo.

O quarto capítulo descreve os resultados obtidos pela execução do aplicativo, os relatórios gerados, a interação com o usuário e a metodologia de utilização.

Por fim, o quinto capítulo apresenta as conclusões, sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo propõe uma descrição minuciosa com relação às diretrizes regulatórias estabelecidas pela ANEEL através do Módulo 8 do PRODIST quanto à conformidade de tensão e demais assuntos afins. Os critérios contidos neste módulo relativos à qualidade do produto derivam das resoluções normativas 505/2001, 395/2009 e 424/2010. Essas resoluções tratam, basicamente, das obrigações das concessionárias de distribuição de energia elétrica no que diz respeito ao fornecimento de tensão em regime permanente, estabelecendo princípios de avaliação, prazos para regularização da tensão de atendimento e atribuições de multas em caso de violação dos termos acordados entre concessionários e consumidores.

2.1 O valor eficaz da tensão

Por intermédio da quantificação de certos aspectos apresentados por uma onda senoidal de tensão, é possível avaliar de modo mais preciso o quanto ela é afetada pelos distúrbios. Considerando que o projeto ressaltará, principalmente, a análise de conformidade dos níveis de tensão eficaz contidos em registros de medidores de faturamento da energia elétrica, é possível avaliar o grau de uma subtensão ou uma sobretensão. Essa análise da magnitude de tensão é feita a partir do cálculo do seu valor eficaz, conforme apresentado na Equação 1.

$$V_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} v(t)^2 dt} \quad (1)$$

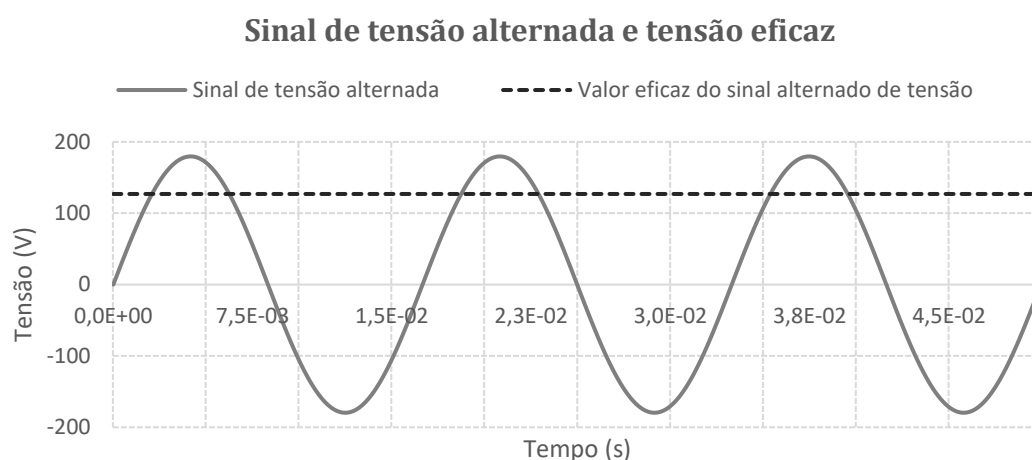
Onde:

- V_{rms} : Valor eficaz da tensão;
- T : Período do sinal de tensão;
- t_0 : Instante arbitrário;
- v : Sinal de tensão alternada.

O valor eficaz é calculado ao longo de um ciclo do sinal de tensão, sendo T o intervalo de tempo de uma ciclo, e $v(t)$ o sinal de tensão alternada. Existem várias maneiras de obter a magnitude de uma subtensão a partir da tensão eficaz. Muitos sistemas de monitoramento usam o valor mínimo obtido durante um evento. Como o afundamento normalmente possui tensão eficaz constante na parte mais inferior do decaimento, usar o valor mínimo é uma aproximação aceitável (GRIGSBY, 2012). Pode-se afirmar que o valor eficaz de um sinal de tensão alternada

equivale ao valor de um sinal de tensão contínua. Em outras palavras, a mesma quantidade de potência seria dissipada se um resistor fosse alimentado por uma fonte de tensão senoidal com valor eficaz de 127 V, ou sendo alimentado por uma fonte de tensão contínua de 127 V. Supondo que a onda senoidal, ilustrada no Gráfico 3, seja um sinal de tensão visualizado no intervalo de três ciclos com amplitude em torno de 180 V, o seu valor eficaz estimado é de 127 V.

Gráfico 3 - Sinal de tensão alternada e sua tensão eficaz



Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor eficaz é um instrumento muito usado em processamento de sinais e garante uma aproximação rigorosa da amplitude da componente de frequência fundamental. A grande vantagem desse método é a simplicidade, velocidade de cálculo e pequena demanda de memória, porque o cálculo pode ser armazenado periodicamente, ao invés de ser computado amostra por amostra. No entanto, sua dependência ao comprimento da janela de amostras é uma desvantagem, pois quanto maior é o número de amostras por ciclo mais preciso é o resultado. O perfil das tensões eficazes trifásicas pode ser usado para análise e classificação automática de eventos com baixo grau de incerteza (FLORES, 2003).

2.2 Distúrbios elétricos

Segundo Gönen (2008), os distúrbios podem ser classificados como distúrbios em regime permanente, que são periódicos e perduram por longo período de tempo, e distúrbios transitórios, que geralmente duram poucos milissegundos e dizem-se. A primeira classificação é menos prejudicial, porém os custos envolvidos em sua ocorrência podem ser

altos enquanto que a segunda possui efeitos prejudiciais notáveis e os custos associados são extremamente altos.

Existem múltiplas categorias de distúrbios elétricos, sendo os mais comuns: afundamentos, elevações, deslocamento de componente contínua, harmônicos, cortes de tensão, ruídos, picos de tensão, subtensão e sobretensão.

O afundamento é a redução da tensão eficaz entre 0.1 e 0.9 pu. A elevação é o aumento da tensão eficaz para níveis superiores à 1,1 pu (ANEEL, 2016). Os afundamentos e elevações de tensão são comumente associados às faltas no sistema elétrico. O deslocamento de componente contínua é a existência de sinal contínuo combinado à forma de onda da tensão sendo causados por retificadores de tensão e circuitos eletrônicos de chaveamento. Falta de fase em máquinas elétricas podem causar severos deslocamentos por componente contínua. Os harmônicos são distorções periódicas na tensão devido à inclusão de componentes de frequência múltiplas à frequência fundamental. São causados pela inserção de cargas não lineares no sistema elétrico. Cortes de tensão são distorções periódicas na forma de onda da tensão. São causadas pela comutação de corrente de uma fase para outra durante operação contínua de dispositivos eletrônicos. Os ruídos são sinais elétricos indesejados de baixa potência com frequência inferior a 200 kHz combinados à tensão de fornecimento. São causados por retificadores, chaveamento de banco de capacitores, interferência por circuitos de comunicação e são capazes de comprometer o funcionamento de computadores e controladores programáveis. Os picos de tensão são descritos por elevações abruptas na amplitude da tensão e são causados, geralmente, por eventos de chaveamento, curto circuito e incidência de raios. As interrupções, distúrbios que afetam a confiabilidade do serviço, podem ser momentâneas em ocorrências que durem três segundos ou menos, e temporárias se durarem entre três segundos e três minutos.

Conforme mencionado por Paulilo e Teixeira (2013), as variações de tensão de longa duração (VTLD) são consideradas distúrbios de regime permanente, pois seus efeitos podem ser observados em um período superior a um minuto. São caracterizados por desvios que ocorrem no valor eficaz da tensão e essas variações podem estar associadas a sobretensão ou subtensão, distúrbios responsáveis por prejudicar a conformidade dos níveis de tensão em regime permanente.

A sobretensão pode ser designada como uma elevação no valor eficaz da tensão alternada superior a 110% do valor de referência, na frequência do sistema e por uma duração maior do que um minuto. Sobretensões usualmente resultam do desligamento de grandes cargas ou da energização de um banco de capacitores. Os *taps* dos transformadores configurados

incorretamente e anomalias em equipamentos de regulação também podem ocasionar sobretensão no sistema.

Em oposição, a subtensão representa um decréscimo no valor eficaz da tensão alternada inferior a 90% do valor de referência, na frequência do sistema e por uma duração maior do que um minuto. São decorrentes do carregamento excessivo de circuitos alimentadores, os quais são submetidos a determinados níveis de corrente que, ao interagir com a impedância da rede, resulta em quedas de tensão acentuadas. Outros fatores que contribuem com o surgimento desse distúrbio são: conexão de cargas à rede elétrica, desligamento de bancos de capacitores, excesso de reativo transportado pelo sistema, que age como limitador da capacidade do sistema em fornecer potência ativa, acarretando a elevação da queda de tensão.

Em síntese, as variações de tensão de longa duração incorporam as variações diárias normais de tensão, como as variações causadas por alterações de carga e por equipamentos de regulação (mudanças de *taps*, reguladores de tensão, banco de capacitores).

2.3 Conformidade dos níveis de tensão

A seção 8.1 do Módulo 8 do PRODIST determina um termo que classifica a adequação dos níveis de tensão em regime permanente (valor eficaz) com relação aos limites pré-estabelecidos. Esse termo, denominado conformidade, refere-se à comparação do valor de tensão obtido por medição apropriada, no ponto de conexão (ponto de entrega da energia elétrica à uma unidade consumidora), em relação aos níveis de tensão especificados como adequados, precários e críticos.

A tensão deve ser avaliada por meio de um conjunto de leituras aferidas por medição apropriada e os valores obtidos devem ser comparados a uma tensão de referência, podendo ser a tensão nominal ou contratada, de acordo com o nível de tensão no ponto de conexão. Os valores de tensão de referência entre fase e neutro mais comuns são 127 V e 220 V. O Quadro 1 informa os valores dos limites correspondentes à cada faixa de classificação em função da tensão nominal para os pontos de conexão em baixa tensão enquanto que o Quadro 2 informa os valores dos limites correspondentes à cada faixa de classificação em função da tensão nominal para os pontos de conexão em média tensão.

Quadro 1 - Faixas aplicadas às tensões nominais inferiores a 1 kV

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL) em Relação à Tensão Nominal (TN)
Adequada	$0,92 \text{ TN} \leq \text{TL} \leq 1,05 \text{ TN}$
Precária	$0,87 \text{ TN} \leq \text{TL} < 0,92 \text{ TN}$ ou $1,05 \text{ TN} < \text{TL} \leq 1,06 \text{ TN}$
Crítica	$\text{TL} < 0,87 \text{ TN}$ ou $\text{TL} > 1,06 \text{ TN}$

Fonte: ANEEL (2016).

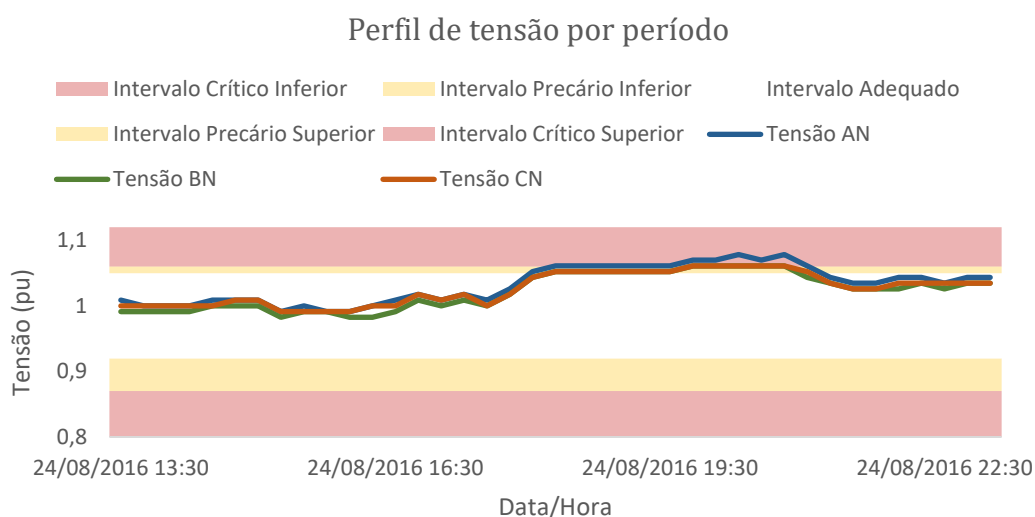
Quadro 2 - Faixas aplicadas às tensões nominais superiores a 1 kV e inferiores a 69 kV

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL) em Relação à Tensão Nominal (TN)
Adequada	$0,93 \text{ TN} \leq \text{TL} \leq 1,05 \text{ TN}$
Precária	$0,90 \text{ TN} \leq \text{TL} < 0,93 \text{ TN}$
Crítica	$\text{TL} < 0,90 \text{ TN}$ ou $\text{TL} > 1,05 \text{ TN}$

Fonte: ANEEL (2016).

O Gráfico 4 ilustra como as tensões medidas são dispostas graficamente em relação às faixas referentes aos pontos de conexão em baixa tensão. No exemplo dado, percebe-se que, a partir de 18h00 os níveis de tensão medidos elevam-se, saem da faixa adequada, em seguida, invadem a faixa precária e, posteriormente, chegam à faixa crítica.

Gráfico 4 - Perfil de tensão ao longo do tempo em um ponto de entrega



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.4 Indicadores da qualidade do produto

Os indicadores individuais são gerados a partir de um conjunto de leituras contendo 1008 registros de medição válidos obtidos em intervalos consecutivos (período de integralização) de dez minutos cada. Exige-se que os valores eficazes sejam calculados por meio de amostras aferidas em janelas sucessivas correspondentes a uma sequência de doze ciclos (0,2 segundos) a quinze ciclos (0,25 segundos). É importante ressaltar que a medição de tensão deve corresponder ao tipo de ligação da unidade consumidora, abrangendo medições entre todas as fases e o neutro fornecidos no ponto de conexão. Caso o condutor neutro não seja disponibilizado pela distribuidora no ponto de entrega, realiza-se medição entre fases (ANEEL, 2016).

Com intenção de classificar a conformidade de tensão, a ANEEL define dois indicadores que representam a duração relativa da transgressão para tensão precária (DRP) e a duração relativa de transgressão para tensão crítica (DRC). A apuração desses índices é simples e direta, pois cada um representa o percentual dos registros contidos no conjunto de leituras que estão situados fora do intervalo adequado. O valor dos indicadores DRP e DRC são obtidos por meio da Equação 2 e da Equação 3, respectivamente.

$$DRP = \frac{nlp}{1008} \cdot 100 [\%] \quad (2)$$

$$DRC = \frac{nlc}{1008} \cdot 100 [\%] \quad (3)$$

Onde:

DRP: Duração Relativa da Transgressão de Tensão Precária;

DRC: Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica;

nlp: Número de leituras situadas nas faixas precárias;

nlc: Número de leituras situadas nas faixas críticas;

1008: Número de leituras válidas a cada dez minutos no período de observação semanal (168 horas).

Complementados os preceitos ligados aos índices, também são definidos valores relativos à duração permissível das leituras de tensão, nas faixas de tensão precárias e críticas, no período de observação definido. Esses limites são expressos pelos indicadores DRP_M (Duração Relativa

da Transgressão Máxima de Tensão Precária), fixado pelo valor percentual de 3%, e DRC_M (Duração Relativa da Transgressão Máxima de Tensão Crítica), fixado pelo valor percentual de 0,5%. Na ocasião em que os indicadores DRP e DRC superarem os valores de DRP_M e DRC_M , a concessionária deve adotar providências para regularizar a tensão de atendimento bem como realizar as compensações financeiras mensais pelas transgressões dos limites.

2.5 Procedimentos de gestão da qualidade de tensão

O órgão regulador estabelece um método de tratamento na ocorrência de uma reclamação de tensão por parte do cliente. Insatisfeito com a condição dos níveis de tensão que chegam em seu estabelecimento, percebida muitas vezes pela intensidade luminosa de lâmpadas, pelo mal funcionamento de equipamentos eletrônicos, o cliente tem o direito de fazer uma reclamação e solicitar as devidas providências para regularização à central de atendimento ou ouvidoria da concessionária.

Posteriormente, a empresa deverá efetuar inspeção técnica até o ponto de conexão da unidade consumidora para avaliar a procedência da reclamação, devendo executar a medição instantânea de duas leituras da tensão no ponto de conexão, com um intervalo mínimo de cinco minutos entre elas. Caso seja comprovada a procedência da reclamação com base na medição instantânea e haja impossibilidade da regularização do nível de tensão durante a inspeção técnica, a distribuidora deve instalar um equipamento de medição (medidor de qualidade de energia) no ponto de entrega da unidade consumidora, para averiguar os níveis de tensões de atendimento, durante um intervalo de tempo mínimo de 168 horas (sete dias), até que complete 1008 registros válidos.

Após esse período, os registros das leituras de tensões são utilizados para a apuração dos indicadores DRP e DRC , para que sejam constatadas possíveis transgressões dos limites constituídos pelos índices DRP_M e DRC_M . Com todos os dados reunidos desse processo, a empresa deve elaborar um laudo técnico com os resultados completos da medição dos níveis de tensão em regime permanente e enviar ao cliente dentro do prazo de trinta dias, a contar da data em que houve a reclamação de tensão.

Sob a ótica da concessionária, após a reclamação ser recebida pela central de atendimento ou pela ouvidoria, é criada uma nota de reclamação de tensão para que seja programada inspeção técnica no ponto de entrega de energia da unidade consumidora. Após a execução da inspeção técnica, a concessionária deve avaliar as informações obtidas por meio da análise do circuito realizada e dos valores das duas medições instantâneas de tensões aferidas consecutivamente

em um intervalo de cinco minutos. Caso seja comprovada a procedência da reclamação nessa análise deve-se criar um plano de medição, para que seja programada a instalação de um medidor de qualidade de energia elétrica para a aferição dos níveis de tensão em regime permanente durante um período de 168 horas. Passado esse tempo, se confirmado, através da medição, que os valores de tensão se encontram fora da faixa adequada, com valores de DRP e/ou DRC acima dos limites máximos estabelecidos, realiza-se um estudo dos registros de tensões obtidos para identificar as possíveis causas da não-conformidade e encaminhar a situação ao setor responsável para regularização. Exemplificando, se forem constatados níveis de tensão predominantemente nas faixas precária e/ou crítica inferiores, é necessário que a área de projetos, em conjunto com a central de serviços de distribuição, redistribua cargas ou redimensione o circuito elétrico para reduzir perdas ou sobrecarga nos condutores e/ou transformadores. Se forem constatados níveis de tensões predominantemente nas faixas precárias e/ou críticas superiores é necessário que a área de operação realize simulações da rede elétrica para identificar se algum banco de capacitores ou regulador de tensão encontra-se alocado ou configurado inadequadamente. Posteriormente aos encaminhamentos e às devidas providencias de melhoria, programa-se uma nova medição para verificar se houve regularização dos níveis de tensão em regime permanente.

2.6 Compensações

Uma vez que seja constatada violação dos indicadores de conformidade com relação aos seus respectivos valores admissíveis, a empresa é obrigada a compensar o titular da unidade consumidora até que os níveis de tensões no ponto de entrega sejam regularizados, devendo a quantia ser creditada na fatura de energia elétrica. O valor da compensação é calculado a partir de três parâmetros principais, os indicadores DRP e DRC e o valor de EUSD, por intermédio da Equação 4.

$$\text{Valor} = \left[\frac{\text{DRP} - \text{DRP}_M}{100} \cdot k_1 + \frac{\text{DRC} - \text{DRC}_M}{100} \cdot k_2 \right] \cdot \text{EUSD} \quad (4)$$

Onde:

$k_1 = 0$: se $\text{DRP} \leq \text{DRP}_M$;

$k_1 = 3$: se $\text{DRP} > \text{DRP}_M$;

$k_2 = 0$: se $\text{DRC} \leq \text{DRC}_M$;

$k_2 = 7$: para unidades consumidoras atendidas em baixa tensão, se $\text{DRC} > \text{DRC}_M$;

$k_2 = 5$: para unidades consumidoras atendidas em média tensão, se $DRC > DRC_M$;

$k_2 = 3$: para unidades consumidoras atendidas em alta tensão, se $DRC > DRC_M$;

DRP: valor de DRP expresso em percentual, apurado na medição;

DRP_M : 3%;

DRC: valor de DRC expresso em percentual, apurado na medição;

DRC_M : 0,5%;

EUSD: valor do encargo de uso do sistema de distribuição correspondente ao mês de referência da última medição.

3 IMPLEMENTAÇÃO DO APLICATIVO

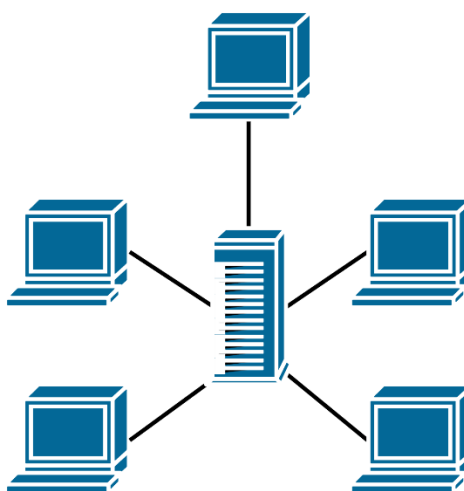
Este capítulo relata o curso da implementação do aplicativo de monitoramento da qualidade do produto. Relata-se aqui como e quais informações foram coletadas, quais diretrizes foram seguidas para a criação do banco de dados que suporta a aplicação, como o *software* foi planejado e quais procedimentos lógicos foram codificados.

3.1 Infraestrutura básica de uma rede de computadores

3.1.1 Modelo de rede cliente-servidor

O modelo cliente-servidor é uma estrutura de comunicação de processos de rede entre os solicitantes de serviços, clientes, e os prestadores de serviços, servidores. Conforme ilustrado na Figura 1, cada instância de um cliente pode enviar requisições de dados para um servidor conectado e aguardar pela resposta. Por sua vez, o servidor pode aceitar tais requisições, processá-las e retornar o resultado para o cliente. O modelo de comunicação cliente-servidor pode ser empregado em uma rede de computadores ou em um mesmo sistema lógico. Para exemplificar, um navegador pode ser considerado uma aplicação cliente que solicita serviços ao servidor como, por exemplo, transferência de dados de uma página *web*.

Figura 1 - Interconexão de computadores terminais e um servidor



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1.2 Banco de dados

Um banco de dados é uma coleção de informações que é organizada de modo que possa ser facilmente acessada, gerenciada e atualizada. Os bancos de dados podem ser classificados de acordo com os tipos de conteúdo: bibliográfico, texto, numérico e imagens. Na computação, bancos de dados são comumente classificados de acordo com sua abordagem organizacional. A abordagem mais comum é a base de dados relacional, que consiste em um banco baseado em tabelas pelo qual os dados podem ser reorganizados e acessados por variados modos. Uma base distribuída é aquela que pode ser dispersada ou replicada em diferentes pontos de uma rede. Um banco baseado em programação orientada ao objeto é aquele cujos dados são definidos em classes e/ou subclasses. Dentre os diversos tipos de servidores disponíveis nas redes, há o servidor de banco de dados que possui e manipula informações contidas em um banco de dados, como, por exemplo, um cadastro de usuários.

3.2 Desenvolvimento em navegadores

3.2.1 Ambientes *server-side* e *client-side*

O ambiente *server-side* (no lado do servidor) que executa *scripts* é um servidor *web*. Sua codificação é usada para gerar páginas *web* dinâmicas com *scripts* executados no servidor. As linguagens disponíveis para programação no lado do servidor são C, Pearl, Shell Scripts e PHP. No presente trabalho, a linguagem PHP foi adotada para procedimentos no lado do servidor.

O ambiente *client-side* (no lado do cliente) é usado para executar *scripts* em um navegador. O processamento situa-se no terminal do cliente. O código fonte é transferido para o servidor *web* para que os computadores conectados à internet possam executá-lo no navegador. *Scripts* no lado do cliente referem-se a uma classe de programas que são executados no navegador presente no terminal do usuário. Esse tipo de *script* permite que páginas da *web* exibam algum conteúdo dependente da entrada do usuário. Os *scripts* no lado do cliente devem ser programados em linguagens que são suportadas pelos navegadores como, por exemplo, JavaScript e Visual Basic Script. A linguagem JavaScript é usada neste projeto.

3.2.2 HTML

HTML é a linguagem para a *web*. Um navegador como Google Chrome, Edge ou Safari são incumbidos de carregar e exibir HTML, que é considerado como um documento que pode ser armazenado em qualquer computador. Para que vários clientes possam ter acesso a um

documento HTML, é preciso deixá-lo armazenado num servidor *web* conectado à rede. Desse modo, os aplicativos no lado do cliente, como os navegadores, podem carregar e exibir uma página *web* por meio da solicitação de envio de um documento HTML pelo servidor. Os documentos HTML representam basicamente a estrutura de uma página *web* e possuem elementos organizados em uma ordem específica para que os navegadores saibam como realizar sua leitura e exibi-los.

3.2.3 JavaScript

No presente momento, JavaScript é considerado parte integral das páginas *web*, pois é responsável por oferecer funcionalidades e comportamentos dinâmicos a elas. Toda vez que alguma janela aparece quando posicionamos o cursor do mouse em algum item no navegador, ou ocorre alteração de cores, ou um surgimento de uma imagem na tela, JavaScript está por trás disso. Somente com essa linguagem pode-se realizar efeitos como esses, pois JavaScript é executado no próprio navegador e possui acesso aos elementos pertencente aos documentos HTML.

3.2.4 MySQL

MySQL é um sistema rápido e robusto para o gerenciamento de bancos de dados relacionais, de acordo com Welling e Thomson (2009). Um banco de dados gerenciado nesse sistema possibilita, de modo eficiente, armazenamento, consultas, seleção, ordenação e recuperação de informações. Um servidor, configurado com MySQL, controla o acesso dos seus dados para assegurar que múltiplos usuários possam trabalhar simultaneamente. A linguagem padrão de consulta ao banco de dados do sistema é a SQL.

3.3 Planejamento do programa

Os procedimentos do aplicativo a serem desenvolvidos no presente trabalho seguem a ideologia do modelo de comunicação cliente-servidor, uma vez que o programa é responsável pela consulta e processamento de registros de tensões provenientes de telemedição abrigadas em um banco de dados situado em um servidor.

Inicialmente, foi necessário reconhecer a infraestrutura da rede do sistema de aquisição e armazenamento de registros de telemedição da EDP Escelsa. Cogitou-se integrar o aplicativo diretamente ao sistema corporativo para promover o acesso à base completa de dados das unidades consumidoras. Contudo, os registros telemedidos são armazenados em um servidor

que encontra-se sobre direito, estabelecido em contrato, de acesso direto e exclusivo por uma empresa terceirizada que fornece uma plataforma de consulta interna. Por esse motivo, a possibilidade de conexão direta ao servidor que abriga os registros de medição foi inviabilizada e a alternativa encontrada foi desenvolver uma infraestrutura de rede local que simule a operabilidade de uma rede convencional proporcionando a execução de um aplicativo projetado para navegadores.

Com a inviabilização do acesso à base completa dos registros de telemedição das unidades consumidoras, foi preciso criar um banco de dados estático (sem atualização das leituras diárias apuradas). Por meio do acesso à plataforma de consulta interligada ao Centro de Controle de Medição, seria possível descarregar arquivos, em formato CSV, dos registros de tensões entre fase e neutro de um conjunto selecionado de clientes de média tensão (tensão entre fases dentro do intervalo compreendido entre 1 kV e 69 kV).

A telemedição é uma tecnologia que permite que a leitura do medidor seja feita a distância. Geralmente, os medidores estão localizados no secundário de transformadores de potencial, com valor referencial de tensão entre fase e neutro de 115 V, presentes nos alimentadores, ou no secundário de transformadores de distribuição, com valor referencial de tensão entre fase e neutro de 127 V ou 220 V, de clientes atendidos por média tensão. Esses equipamentos possibilitam leituras do consumo de energia, alerta de alarmes, execução de comandos de corte/ligação, monitoramento de fases (tensão e corrente). Os dados telemedidos são transmitidos, por tecnologia GPRS, para o Centro de Controle de Medição, que é responsável pela aquisição e armazenamento desses dados em tempo real.

Com o propósito de definir o conjunto de clientes para efetuar a coleta de todas as informações pertinentes para a criação do banco de dados que dará suporte ao aplicativo, foram pesquisados alimentadores de diferentes subestações situadas em municípios distintos que continham uma quantidade considerável de clientes de média tensão e um número razoável de planos de medição durante os anos de 2015 e 2016 (Quadro 3).

Quadro 3 - Circuitos primários selecionados para a elaboração do projeto

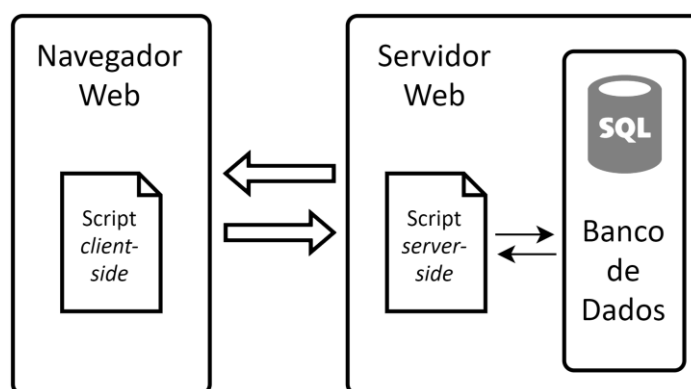
Código do circuito	Planos de Medição MT	Unidades consumidoras MT
CIT04	5	50
JNE04	4	11
PIH01	4	29
SFR01	5	32

Fonte: EDP Escelsa.

Posteriormente à escolha de um conjunto de quatro alimentadores localizados nos municípios de Cachoeiro de Itapemirim, João Neiva, Pinheiros e Barra de São Francisco, foram reunidas informações dos dados cadastrais, dos valores de EUSD mensais e dos registros telemedidos de tensões entre fase e neutro aferidos no período compreendido entre 01/06/2016 e 31/08/2016 (três meses) em um total de 122 unidades consumidoras atendidas em média tensão.

A estrutura do aplicativo deve oferecer suporte ao acesso ordenado das informações reunidas na base de dados. Pretendeu-se instaurar uma pesquisa geral, para que a aplicação efetue uma varredura completa da base, pesquisas por conjunto ou por alimentador e pesquisas individuais ou por instalações. O aplicativo, por meio de um *script* no lado do cliente, deve solicitar consultas filtradas no banco de dados e, por meio de um *script* no lado do servidor, deve realizar as buscas, processar as informações coletadas e enviar o resultado desse processo para o navegador *web*. De volta ao navegador, o aplicativo, por meio do *script* no lado do cliente, deve organizar os resultados recebidos para serem visualizados sob a forma de relatórios gráficos a fim de garantir que o usuário possa compreender os resultados da análise com maior eficiência e rapidez. Para esse fim, o aplicativo foi planejado para obedecer ao fluxo de operação retratado pela Figura 2.

Figura 2 - Intercâmbio de dados entre um navegador e um servidor



Fonte: Elaborado pelo autor.

A página *web* a ser exibida terá um menu pelo qual o usuário poderá inserir o código do circuito de média tensão, o número da instalação da unidade consumidora, datas inicial e final do intervalo da medição dos níveis tensão, além de ícones para gerar relatório global da base e para o carregamento de arquivos de medição em formato CSV, caso a unidade consumidora não esteja contida no banco de dados.

3.4 Elaboração do banco de dados

Os dados cadastrais dos clientes contêm os números das instalações, nome e sobrenome dos titulares, rua, bairro, município, código do circuito de média tensão, tensão de operação do alimentador e as coordenadas geográficas da unidade consumidora. Os valores de EUSD consistem em uma quantia, em moeda corrente nacional, devida pelo uso das instalações de distribuição e calculado pelo produto da tarifa de uso (TUSD) pelos respectivos montantes de uso de distribuição e de energia contratados ou verificados. Os arquivos de medição, em formato CSV, foram retirados de uma plataforma ligada ao Centro de Controle de Medição e forneceram registros de tensões entre fases aferidos pontualmente em intervalos consecutivos de quinze minutos, abrangendo um período de medição total de três meses. Tanto os valores de EUSD quanto os arquivos de medição correspondem ao mesmo período de apuração entre 01/06/2016 e 31/08/2016.

Os arquivos de dados reunidos, com exceção dos arquivos de medição, foram convertidos em CSV para que fossem lidos e repassados às tabelas constituintes do banco de dados de modo automatizado por meio de uma rotina escrita em SQL.

Os arquivos de medição vêm acompanhados de cabeçalhos e rodapés contendo informações irrelevantes que precisam ser eliminadas antes de serem repassados às tabelas. Para retirar esses campos, foi codificado um programa escrito em Java para efetuar a leitura sequencial dos arquivos em um diretório de entrada e, então, remover as linhas pertencentes aos cabeçalhos e rodapés, gerando os arquivos CSV pré-processados em um diretório de saída.

Em SQL, para construir tabelas de dados, é necessário especificar as características dos dados de entrada pertinentes às colunas das tabelas que integram o banco de dados. Cada coluna é delimitada enumerando-se os dados a serem inseridos declarando o nome de identificação de cada um, acompanhado do tipo e tamanho de cada variável. As variáveis podem ser declaradas como números, texto ou data. Neste trabalho foram usados com frequência os tipos de dados *int*, *varchar* e *datetime*. O tipo *int* representa um número inteiro no intervalo entre -2.147.483.648 e 2.147.483.647 ou de 0 a 4.294.967.295 se for declarado sem sinal. O tipo *varchar* constitui uma cadeia de caracteres (*string*) e acompanha como parâmetro o número máximo de caracteres que a variável pode possuir. O tipo *datetime* corresponde a uma combinação de data e hora no formato padrão AAAA-MM-DD HH:MI:SS.

A tabela de dados cadastrais reuniu informações do número da instalação, nome, rua, bairro, município, código do circuito, tensão de operação e coordenadas geográficas da unidade

consumidora (Quadro 4). O número da instalação é um valor único de identificação para cada unidade consumidora e, portanto, essa entrada foi considerada como a chave primária da tabela de dados cadastrais.

Quadro 4 - Estrutura da tabela dos dados cadastrais dos consumidores

Coluna	Variável	Descrição	Exemplo
NUMERO (chave primária)	int	Número da instalação da unidade consumidora	17071208
NOME	varchar (50)	Nome do cliente titular da unidade consumidora	"ALICE SOSSAI GUIMARAES "
NOME_LOGRADOURO	varchar (50)	Nome da rua	"ROD BR 101"
NOME_BAIRRO	varchar (50)	Nome do bairro	"SAFRA"
NOME_MUNICIPIO	varchar (50)	Nome do município	"CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM"
COD_CIRCUITO	varchar (50)	Código do circuito de média tensão que supre a unidade consumidora	"CIT04"
TENSAO_OPERACAO	varchar (50)	Nível da tensão de operação do alimentador	"13.800 KV"
COORDENADA_X	varchar (50)	Valor da coordenada geográfica X	"293620,17"
COORDENADA_Y	varchar (50)	Valor da coordenada geográfica Y	"7685623,11"

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela de valores de EUSD agregou informações do nome da empresa pertencente ao grupo EDP, número da instalação da unidade consumidora, período da apuração e o valor do encargo do uso do sistema de distribuição (Quadro 5).

Quadro 5 - Estrutura da tabela EUSD

Coluna	Variável	Descrição	Exemplo
EMPRESA	varchar(50)	Nome da empresa do grupo EDP	"ESCELSA"
NUMERO	int	Número da instalação da unidade consumidora	95000
PERIODO	varchar(50)	Mês e ano correspondentes à apuração do valor do encargo	"07.2016"
EUSD	varchar(50)	Quantia do encargo em reais	"1.707,00"

Fonte: Elaboração do autor.

As tabelas dos registros de medição de tensão agruparam informações referentes à data e hora da leitura, dia da leitura e valores de tensão entre fases e neutro (Quadro 6).

Quadro 6 - Estrutura da tabela de medição

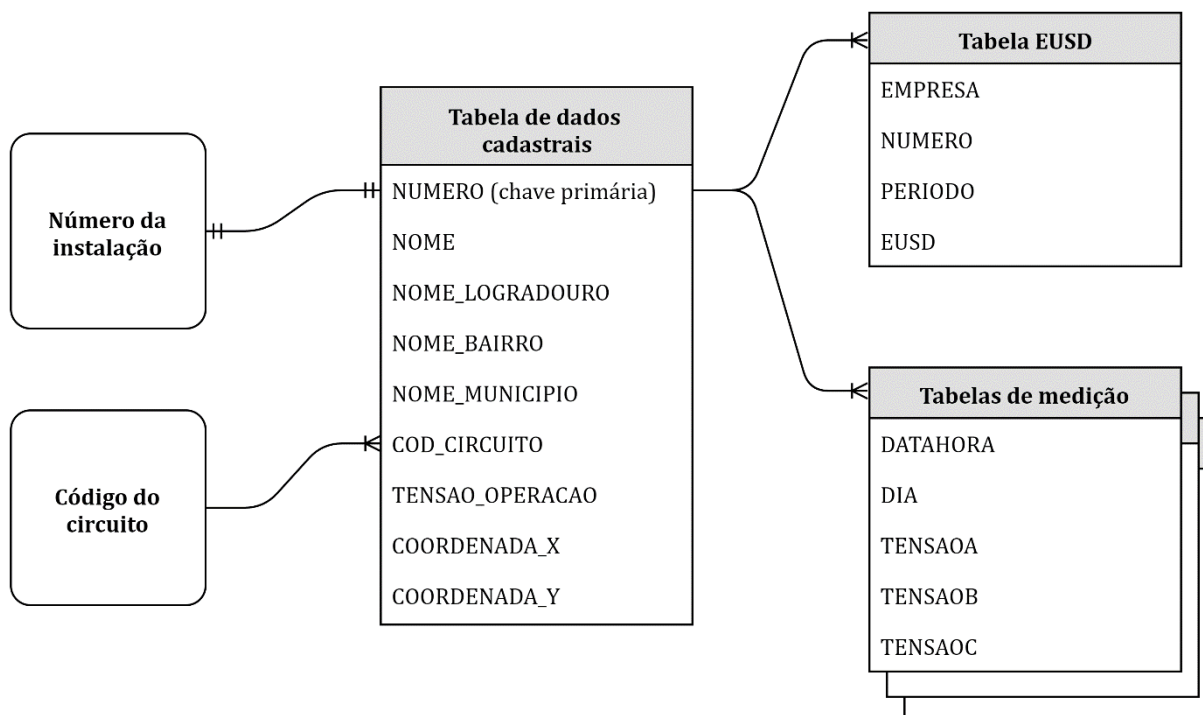
Coluna	Variável	Descrição	Exemplo
DATAHORA	datetime	Data e hora da leitura	17/07/2016 13:00
DIA	varchar(50)	Dia da leitura	"Domingo"
TENSAOA	int	Valor de tensão entre fase A e neutro em volts	113
TENSAOB	int	Valor de tensão entre fase B e neutro em volts	110
TENSAOC	int	Valor de tensão entre fase C e neutro em volts	111

Fonte: Elaborado pelo autor.

O sistema de buscas a ser desenvolvido no aplicativo é dirigido por dois dados: código do circuito de média tensão, que consiste em uma sequência de caracteres alfanuméricos e o

número da instalação da unidade consumidora, composta por uma sequência numérica. Enquanto a consulta através do código do circuito é uma solicitação de informações de um conjunto, a consulta por meio da instalação resume-se em uma solicitação individual. Os dois métodos de consulta seguem o mesmo encadeamento entre as tabelas relacionais que compõem o banco de dados desenvolvido (Figura 3).

Figura 3 - Esquema do relacionamento das tabelas no banco de dados



Fonte: Elaborado pelo autor.

Percebe-se que o relacionamento entre a entidade de entrada do usuário (número da instalação) e a tabela de dados cadastrais é de um para um. O relacionamento entre a entidade de entrada do usuário referente ao código do circuito e a tabela de dados cadastrais é de um para vários. O relacionamento entre a tabela de dados cadastrais e a tabela de EUSD e as tabelas de medição é de um para vários. O relacionamento um para um significa que um único elemento de uma entidade pode ser ligado a um único elemento de outra entidade. No caso do banco de dados implementado neste projeto, o número da instalação refere-se a apenas uma unidade consumidora presente nas linhas da tabela de dados cadastrais. O relacionamento um para vários significa que um elemento de uma entidade pode ser ligado a diversos elementos de outra entidade. Neste projeto, o código do circuito liga-se a um conjunto de unidades consumidoras

e uma unidade consumidora liga-se a diversos valores de EUSD mensais ou a vários registros de leituras de medição.

3.5 Procedimentos lógicos integrantes do aplicativo

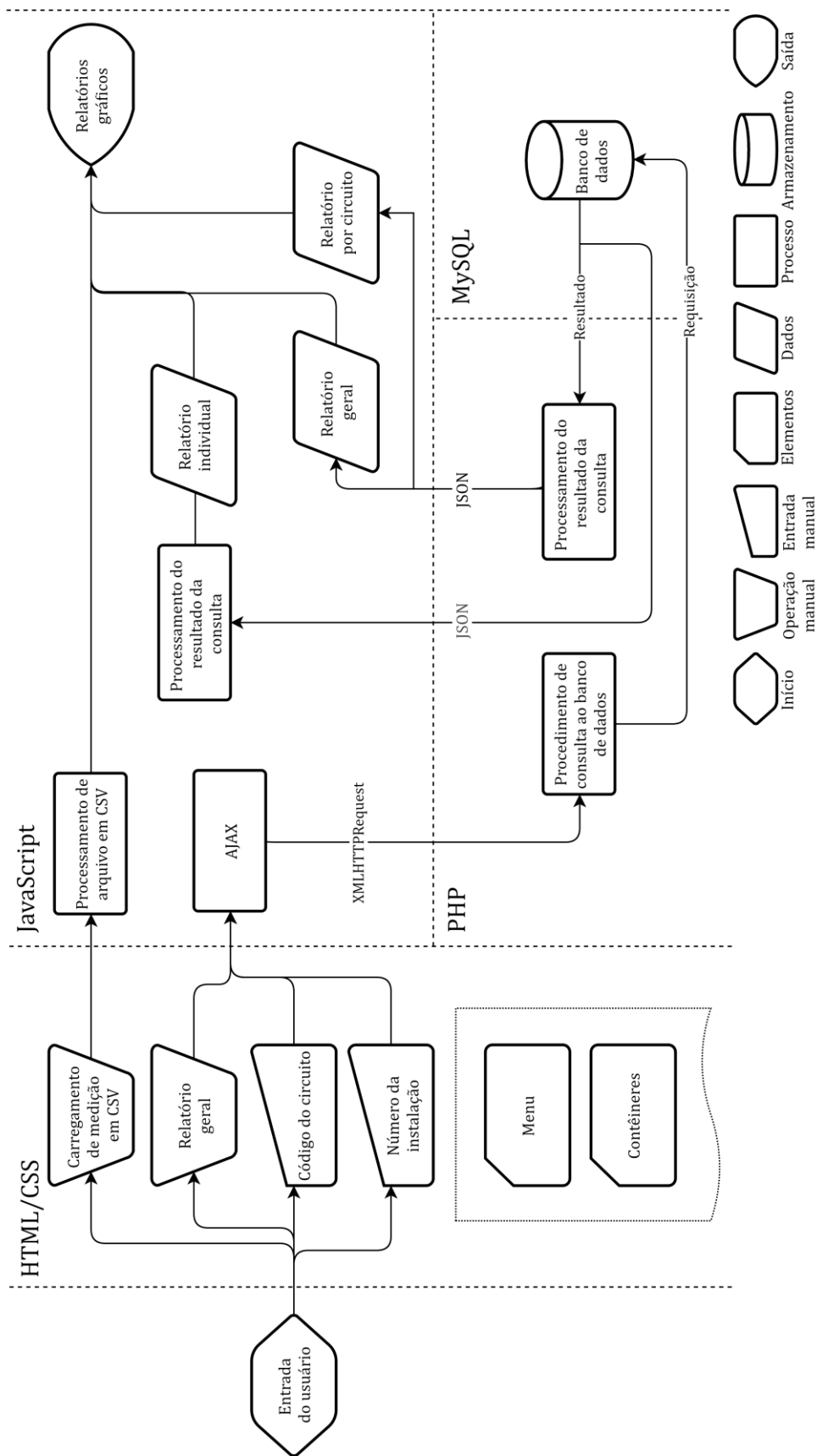
Esta seção encarrega-se de minudenciar a implementação lógica deste projeto. O aplicativo foi desenvolvido seguindo as considerações delineadas na fase de planejamento e, por esse motivo, foi indispensável a criação de diversos procedimentos codificados em *scripts* no lado do cliente e no lado do servidor. Esses procedimentos desempenham inúmeras funções, como estruturação do *layout* da página *web*, solicitação e resultados de consultas em banco de dados, processamento dos dados pertencentes aos resultados das consultas, cálculo estimado dos indicadores DRP e DRC com base nos registros de tensões, cálculo das compensações estimadas em caso de violação dos indicadores, geração de elementos visuais e interativos como mapas e gráficos. A Figura 4 descreve a operação lógica do aplicativo expondo as relações entre o documento HTML, códigos escritos em JavaScript e PHP e o banco de dados desenvolvido em SQL. São demonstrados, simultaneamente, os fluxos de execução para os quatro tipos possíveis de entradas e operações manuais: carregamento de arquivos de medição em formato CSV, requisição do relatório geral, pesquisa por código do circuito e pesquisa por número da instalação da unidade consumidora.

A seção em HTML/CSS possui a estrutura básica do documento HTML com formatações de seus elementos em CSS, pelo qual o usuário pode interagir com um menu elaborado para executar algum evento ou inserir as entradas. Os contêineres são elementos HTML que podem abrigar textos de cabeçalhos, gráficos e mapas.

A seção escrita em JavaScript possui, essencialmente, métodos de transferências de dados entre navegador e servidor *web*, procedimentos de processamento de dados contidos em arquivos em formato CSV e provenientes dos resultados das buscas no banco de dados, funções de geração dos gráficos e mapas que compõem os relatórios.

A seção em PHP executa a solicitação de consulta direta ao banco de dados e efetua o processamento das informações contidas na resposta quando a requisição envolve um conjunto ou a base completa de unidades consumidoras.

Figura 4 - Procedimentos lógicos do aplicativo



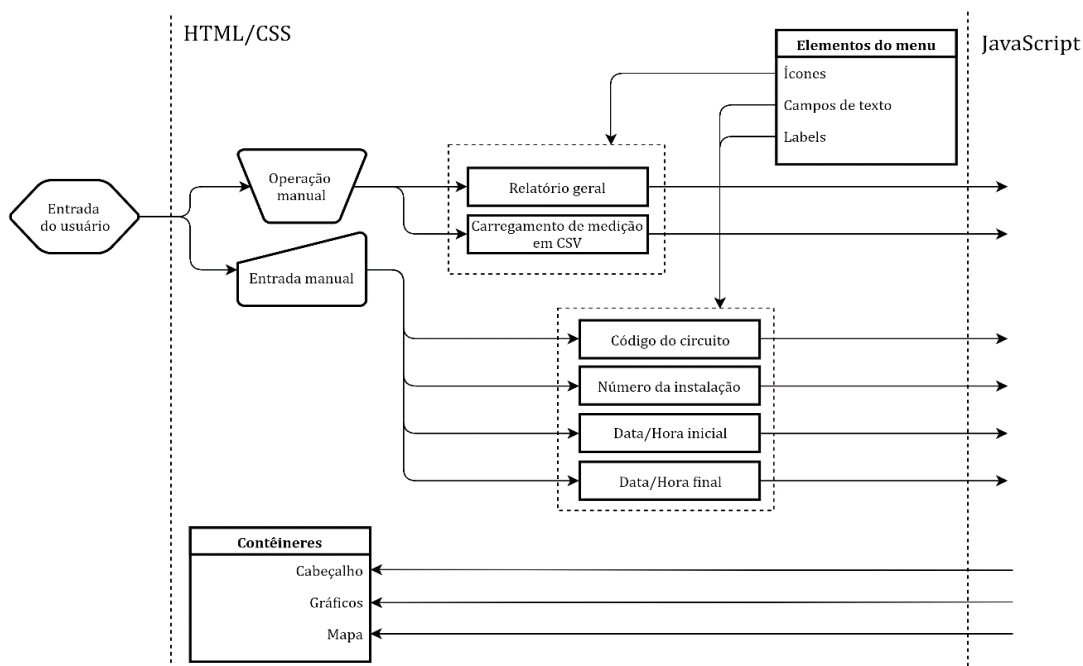
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.5.1 O documento HTML/CSS

Esta parte é destinada a estruturar a interface do usuário por meio de um menu e elementos gráficos contidos em uma página *web*. É por meio do documento HTML que é possível estabelecer a interação entre o usuário e o aplicativo através de ícones para operações manuais e campos de textos para entradas manuais, além de dispor de recursos visuais para exibição das informações contidas nos relatórios gerados. A linguagem CSS é usada para descrever o modo de apresentação do documento escrito em HTML.

O segmento lógico desta parte resume-se na aquisição dos comandos e eventos executados pelo usuário por meio do menu que contém ícones para geração de um relatório geral e carregamento de arquivos em CSV, campos de texto para inserção do código do circuito, número da instalação e datas iniciais e finais que delimitam o intervalo de busca dos registros de medição. O seguimento estrutural constitui-se de elementos gráficos e contêineres. Os elementos gráficos são representados por ícones, caixas de inserção de texto e rótulos, enquanto os contêineres são espaços reservados para a acomodação de elementos criados e modificados em tempo de execução do aplicativo, como cabeçalhos, mapas e gráficos dos relatórios gerados. A Figura 5 detalha os componentes descritos da parte em HTML/CSS.

Figura 5 - Procedimentos da seção em HTML/CSS



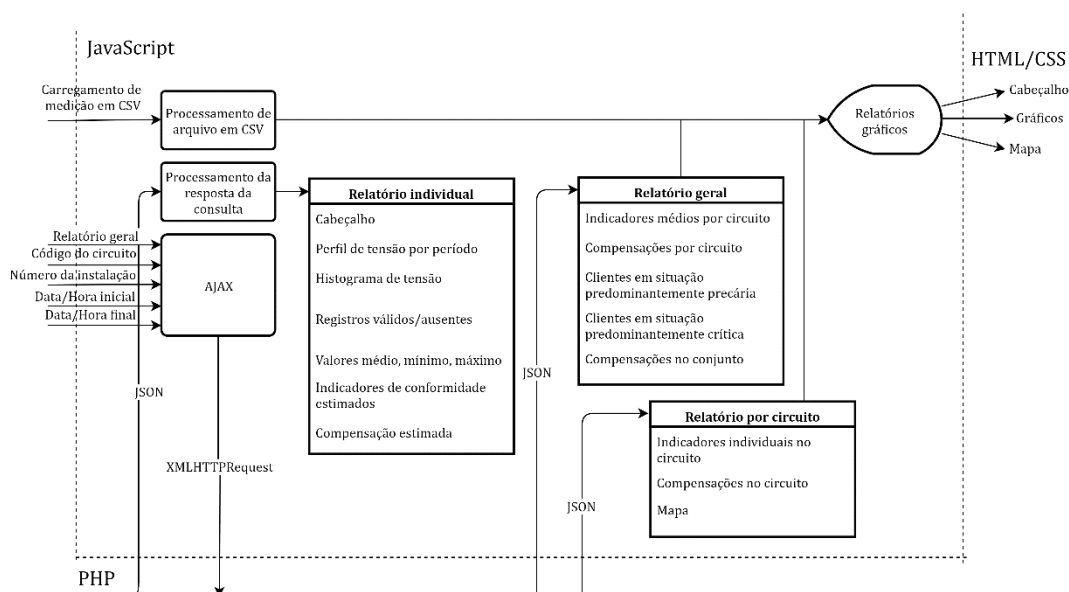
Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que as operações e entradas manuais interagem com o usuário por meio dos elementos do menu e são interpretadas posteriormente por código JavaScript. Em contrapartida, os contêineres são controlados pelas saídas dos procedimentos implementados em JavaScript. O documento HTML interliga-se aos arquivos externos escritos em JavaScript, incluindo os endereços dos diretórios onde os arquivos estão localizados.

3.5.2 Procedimentos no lado do cliente

Esta parte é reservada ao encaminhamento de requisições e carregamento de dados contidos em um servidor de modo indireto, ao processamento dos dados recebidos, ao carregamento de arquivos em CSV e processamento dos dados nele contidos, e à geração de relatórios gráficos a serem exibidos no documento HTML. O aplicativo possui três tipos de relatórios que são gerados conforme a entrada do usuário, que são os relatórios individuais da unidade consumidora, relatórios por circuito e o relatório geral. O esquema de operação lógica no lado do cliente (navegador *web*) é descrito no fluxograma da Figura 6.

Figura 6 - Procedimentos da seção em JavaScript



Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma vez que a operação manual do usuário na interface da página *web* consistir na geração do relatório geral, o aplicativo, por meio do código em JavaScript, encaminhará ao servidor uma requisição de consulta de todos dos dados cadastrais, EUSD, e registros de medição de todas unidades consumidoras contidas no banco de dados através de uma API chamada

XMLHttpRequest. Essa API pertence à tecnologia AJAX e é usada para se comunicar com *scripts* do lado do servidor. O objeto XMLHttpRequest é capaz de enviar e receber informações em uma variedade de formatos, incluindo JSON, XML, HTML, e até mesmo arquivos de texto. O recurso mais fascinante da tecnologia AJAX é seu modo assíncrono de operação, o que significa que seus procedimentos podem ser executados sem a necessidade de atualizar a página. Isso permite a utilização de trechos de uma página com base em eventos do usuário.

Concluída a requisição, é efetuada a consulta ao banco de dados e o seu resultado é processado ainda no lado do servidor. Como a requisição abrange informações de todas as unidades consumidoras presentes na base, seria muito dispendioso repassar toda essa quantidade de informação ao lado do cliente para, então, processá-la. O processamento fundamenta-se na preparação dos parâmetros para a geração de gráficos que compõem os relatórios. Esses parâmetros contêm informações relativas ao nome dos titulares e ao número das instalações, provenientes do resultado da consulta à tabela de dados cadastrais, valores de EUSD, oriundos da consulta à tabela EUSD, indicadores estimados das unidades consumidoras, resultantes da contabilização dos registros de níveis de tensão em regime permanente que encontram-se na faixa crítica e/ou precária para o período de consulta estabelecido pela data e hora iniciais e finais, quantia das compensações estimadas, procedentes do cálculo que engloba o valor de EUSD e os indicadores de conformidade estimados.

O fluxograma da Figura 7 retrata o algoritmo desenvolvido para calcular os índices e a compensação. Após o retorno dos registros de tensões entre fases e neutro pela consulta ao banco de dados, é calculada a média aritmética dos conjuntos de leituras de cada fase (Equação 5).

$$V_{\text{médio}} = \frac{\sum_{i=1}^N V_i}{N} \quad (5)$$

Onde:

$V_{\text{médio}}$: Valor médio do conjunto de leituras de tensão;

i : Índice da amostra da série de leituras de tensão;

N : Número total de leituras do conjunto de leituras de tensão.

Em seguida, as médias são comparadas aos valores de tensão de referência de 115 V, quando as leituras são feitas no secundário de um transformador de potencial, ou aos valores de 127 V ou 220 V, quando as leituras são feitas no secundário de um transformador de distribuição. Por

conta da ausência de um registro que indique onde o medidor está localizado, isto é, se está no secundário de um transformador de distribuição ou de um transformador de potencial, esse cálculo foi a alternativa encontrada para identificar qual tensão de referência teria o menor desvio com relação à média aritmética das tensões entre fase e neutro. Completada a comparação, é decidido qual valor de tensão de referência será adotado como base para o cálculo das tensões de cada fase em valores por unidade (Equação 6).

$$V_{pu} = \frac{V_{medido}}{V_{base}} \quad (6)$$

Onde:

V_{pu} : Valor de tensão por unidade;

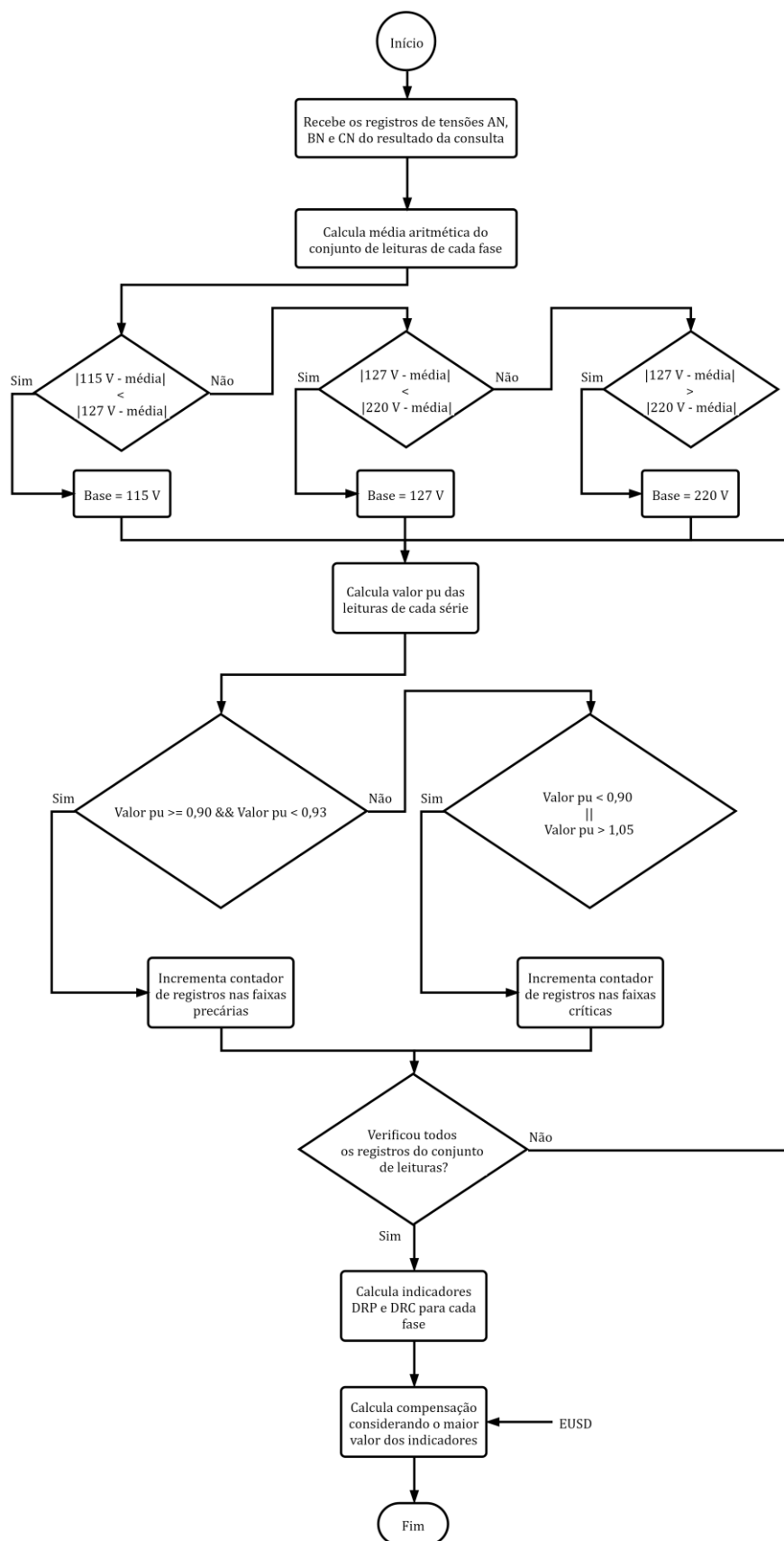
V_{medido} : Valor da leitura de tensão;

V_{base} : Valor da base de tensão.

Com os conjuntos de leituras de tensão em valores por unidade, efetua-se a contagem dos registros presentes nas faixas precárias e críticas comparando cada valor de tensão, presente nas séries, aos intervalos estabelecidos pelo Módulo 8. Depois da contagem dos registros, são apurados os indicadores DRP e DRC estimados para cada fase. O maior valor de cada índice entre as tensões em cada uma das fases é usado para o cálculo da compensação, juntamente com a quantia de EUSD, para o mês corresponde ao período de consulta. Esse algoritmo de processamento dos indicadores de conformidade estimados e compensações estimadas é replicado para os procedimentos de geração do relatório geral, por circuito e individual.

É imprescindível salientar que os valores dos indicadores e compensações apurados pelo aplicativo são uma estimação dos valores reais, pois os registros da medição incluídos no banco de dados são obtidos por telemedição que segue um ciclo de leituras pontuais em intervalos de quinze minutos, enquanto a medição dos níveis de tensão realizada pelo medidor de qualidade instalado no ponto de entrega de energia de uma unidade consumidora executa leituras em intervalos integralizados consecutivos de dez minutos. Contudo, o erro existente entre os indicadores e compensações apurados pelos dois métodos não inviabiliza o aplicativo, visto que o seu principal objetivo não é alcançar níveis precisos de índices ou quantias, mas, sim, indicar os pontos críticos do sistema elétrico com risco de propiciarem prejuízos à concessionária pelas compensações devido à violação dos indicadores de conformidade caso houvesse reclamação de tensão.

Figura 7 - Algoritmo de cálculo dos indicadores e da compensação



Fonte: Elaborado pelo autor

Após a preparação dos parâmetros, o *script* no lado do servidor encaminha, por intermédio do formato JSON, o resultado do processamento ao *script* no lado do cliente, para que seja usado na geração dos gráficos que compõem o relatório geral. JSON é um formato que permite o intercâmbio de dados computacionais em texto e pode ser interpretado por diversas linguagens de programação. Esse formato é um subconjunto da notação de objeto de JavaScript. Os gráficos incluídos no relatório geral informam os indicadores médios por circuito, compensações totais por circuito, clientes em situação predominantemente precária (com indicador DRP superior ao DRC), clientes em situação predominantemente crítica (com indicador DRC superior ao DRP) e as compensações individuais no conjunto.

A entrada manual do usuário que implica numa busca por código do circuito dispara o mesmo sequenciamento de procedimentos descritos anteriormente para a geração do relatório geral. Com exceção da quantidade de unidades consumidoras, incluídas na requisição de consulta ao banco de dados, e os elementos presentes no relatório do circuito, ocorrem as mesmas etapas de processamento do relatório geral, como o processamento e a geração de parâmetros no lado do servidor e, em seguida, o encaminhamento dos resultados ao *script* no lado do cliente para a formalização dos elementos presentes no relatório do circuito. Esse relatório contém um gráfico dos indicadores individuais no circuito, outro gráfico das compensações no circuito e um mapa contendo o traçado do alimentador específico em conjunto com marcadores que indicam a distribuição geográfica das unidades consumidoras ao longo do circuito.

A entrada manual do usuário também pode implicar numa pesquisa pelo número da instalação da unidade consumidora. Essa operação dispara uma requisição XMLHTTPRequest, que encaminha uma consulta ao banco de dados das informações cadastrais de uma unidade consumidora, seu valor de EUSD para o mês correspondente da pesquisa e os registros de medição de tensão no intervalo de tempo pré-estabelecido na operação. O resultado da consulta é enviado diretamente ao *script* no lado do cliente sob formatação JSON, para possibilitar o processamento dos parâmetros e a geração do cabeçalho e dos gráficos componentes do relatório individual. Observa-se que, por questões de desempenho do aplicativo, o processamento dos parâmetros para gerar o relatório geral e por conjunto ocorre no lado do servidor, enquanto o processamento dos parâmetros para gerar o relatório individual ocorre no lado do cliente. O relatório individual possui um cabeçalho contendo o nome, número da instalação e o circuito do cliente titular da unidade consumidora, gráficos do perfil de tensão por período, do histograma das leituras de tensão, da quantidade de registros de medição válidos

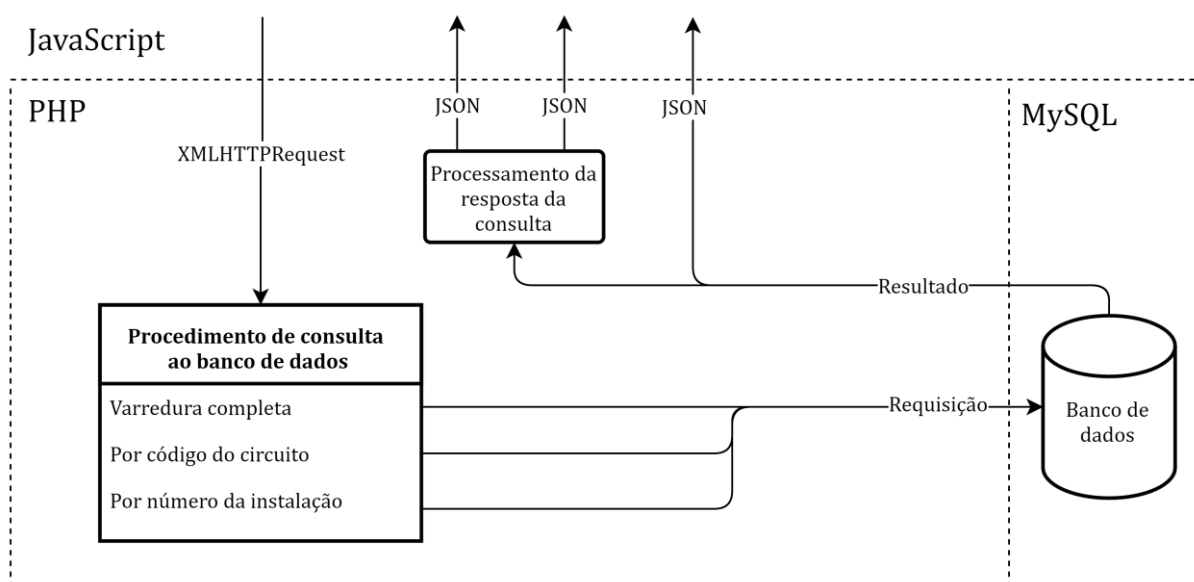
e ausentes, dos valores médio, mínimo e máximo do conjunto de leituras, dos indicadores de conformidade estimados e o valor da compensação estimada.

Uma vez que a operação manual do usuário na interface da página *web* consistir no carregamento de arquivos CSV, após o carregamento do referido arquivo, os registros nele contidos serão extraídos e processados para gerar o relatório individual da unidade consumidora. Esse relatório possui os mesmos elementos citados do relatório individual com exceção do valor da compensação estimada, visto que, nessa operação, o aplicativo não dispõe do valor de EUSD específico para contabilizá-la.

3.5.3 Procedimentos no lado do servidor

Esta parte, executada no lado do servidor, é destinada ao estabelecimento da conexão ao banco de dados para possibilitar a realização dos procedimentos de consulta, o processamento dos parâmetros provenientes dos dados consultados e o encaminhamento destes ao *script* no lado do cliente em formato JSON. O esquema de funcionamento deste integrante do aplicativo é retratado na Figura 8.

Figura 8 - Procedimentos da seção em PHP



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os procedimentos de consulta variam de acordo com a operação ou entrada manual do usuário emitente de uma solicitação XMLHTTPRequest. A consulta que consiste numa varredura completa do banco é usada para a geração do relatório geral, a consulta baseada no circuito,

para a geração do relatório por circuito e a consulta baseada no número da instalação, para a geração do relatório individual de uma unidade consumidora. Esses procedimentos encarregam-se de enviar a requisição de consulta específica para cada opção através de uma *query* escrita em linguagem SQL. Caso a conexão seja estabelecida com êxito e uma consulta seja realizada, o resultado dessa operação pode ser processado ainda pelo *script* em PHP, no lado do servidor, ou pode ser enviado diretamente aos *scripts* em JavaScript, para serem tratados no lado do cliente.

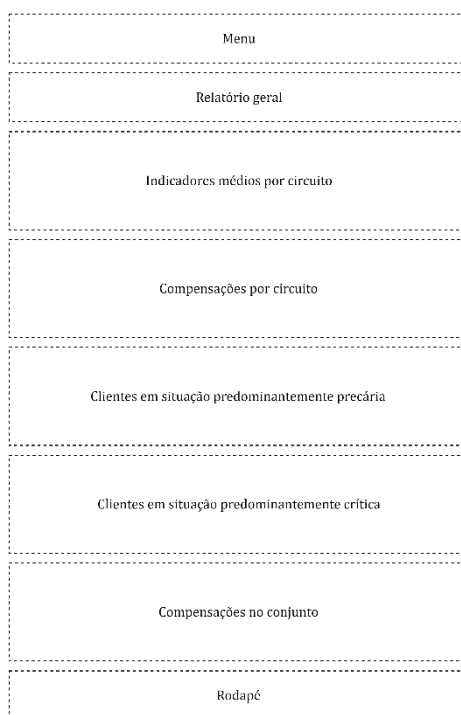
4 EXECUÇÃO DO APLICATIVO

Este capítulo descreve os resultados obtidos pela execução do aplicativo, a interação com o usuário, exibe os relatórios gerados em cada tipo de entrada e operação manual do usuário e demonstra a metodologia de utilização da ferramenta.

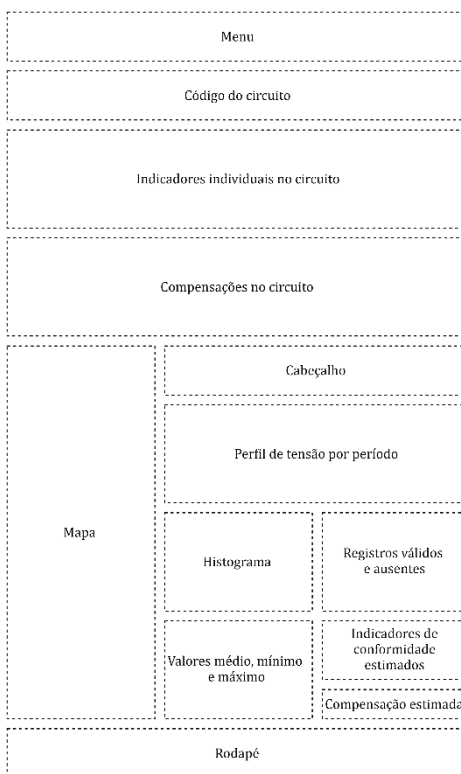
4.1 Interface do usuário

Pretendeu-se confeccionar um *layout* simples e objetivo para facilitar a utilização do aplicativo. Para isso, adotaram-se páginas tabuladas com divisões suficientes para acomodar todos os elementos presentes no menu e nos três tipos de relatórios de modo organizado. A Figura 9 ilustra o esquema de *layout* adotado para a visualização do relatório geral, a Figura 10 ilustra o layout do relatório por circuito e a Figura 11 ilustra o layout do relatório por unidade consumidora.

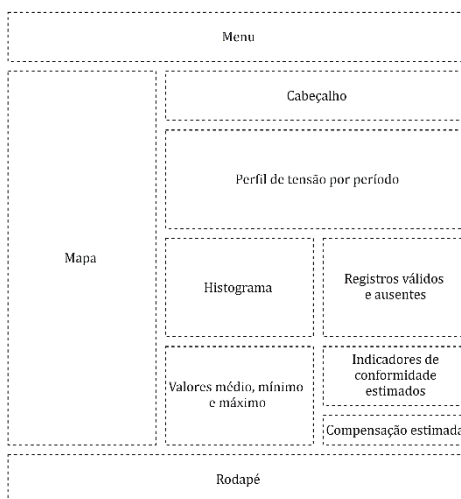
Figura 9 - *Layout* da página do relatório geral



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 10 - *Layout* da página do relatório por circuito

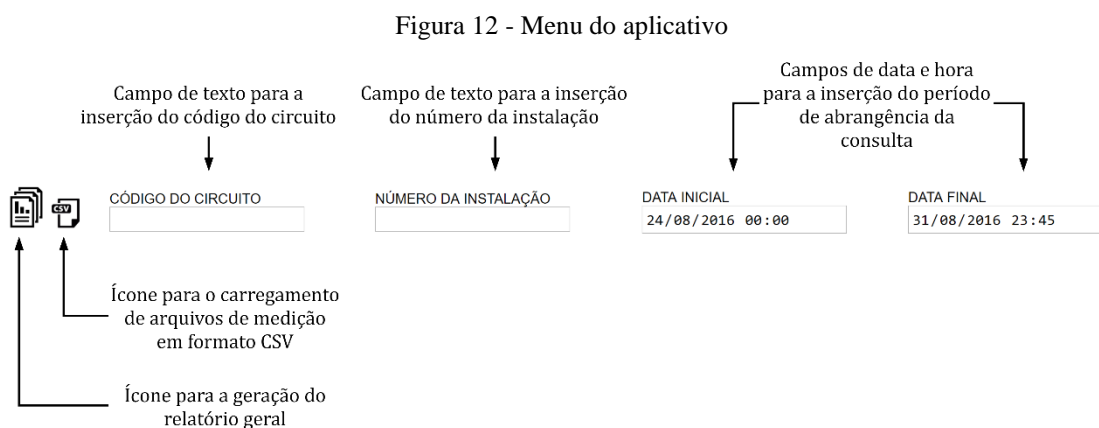
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 11 - *Layout* da página do relatório por unidade consumidora

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 Menu

O menu possui elementos para operação e entrada manual do usuário dispostos em alinhamento horizontal centralizado na parte superior da página. Para as operações manuais, foram incluídos ícones para a geração do relatório geral e para o carregamento de arquivos de medição em formato CSV. Para a entrada manual, foram incluídos campos de textos para a inserção do código do circuito, para a geração do relatório por conjunto, para a inserção do número da instalação, para geração do relatório individual e mais dois campos de inserção de data e hora para delimitar o período da consulta. A Figura 12 mostra a visualização do menu na página exibida em um navegador.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 Relatório geral

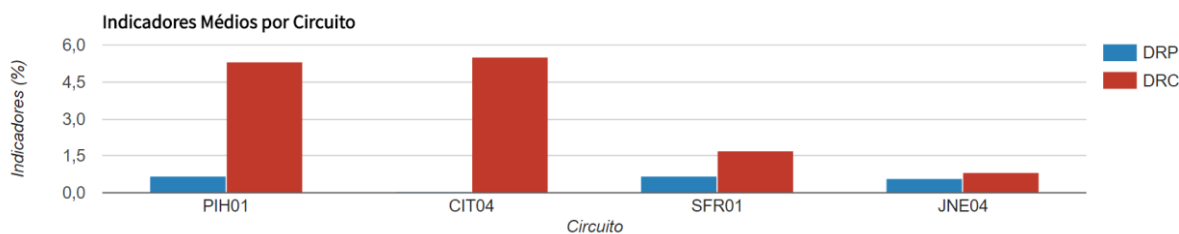
O relatório geral é composto por gráficos de barras e diagramas de Pareto que agrupam os valores dos indicadores de conformidade estimados e das compensações estimadas de modo ordenado, distribuindo os valores processados por ordem decrescente da esquerda para a direita. Essa organização permite realçar os circuitos e as unidades consumidoras que possuem os maiores indicadores DRP e DRC e as maiores compensações de todo o conjunto da base de dados. O objetivo é privilegiar a percepção dos pontos que podem oferecer maior prejuízo à concessionária e priorizar o monitoramento das regiões do sistema elétrico que devem ser tratados com maior urgência.

O gráfico de barras é uma maneira de sintetizar um conjunto de dados categóricos. Ele mostra os dados utilizando um número de barras de mesma largura, cada uma delas reproduzindo uma

categoria particular. A altura de cada barra é proporcional a uma agregação específica pertencente a cada categoria. O diagrama de Pareto é um gráfico de barras que ordena as agregações de categorias, da maior para a menor, permitindo a priorização dos problemas. Nele também é apresentado uma curva de porcentagens acumuladas. A maior vantagem desse diagrama é que ele permite uma fácil visualização, identificação e a concentração de esforços sobre as causas ou problemas mais importantes.

Em seguida, encontram-se listados os gráficos contidos no relatório geral. O primeiro gráfico listado no relatório geral exibe os valores médios dos indicadores de conformidade estimados para cada circuito da base de dados em formato de gráfico de barras, conforme observado na Figura 13.

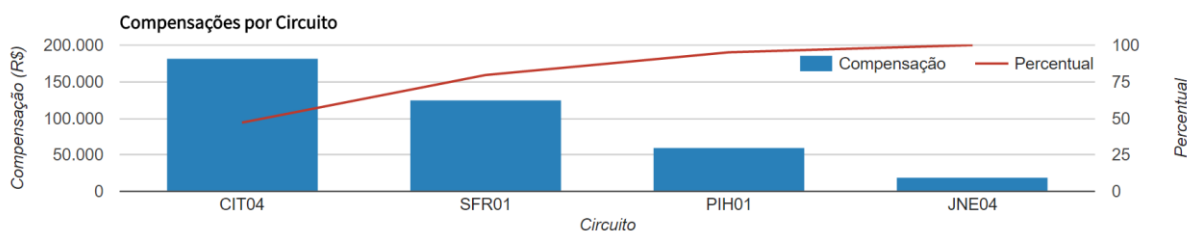
Figura 13 - Captura do gráfico de indicadores médios por circuito



Fonte: Elaborado pelo autor.

O segundo gráfico listado exibe os valores dos montantes das compensações iminentes para cada circuito da base de dados em formato de diagrama de Pareto, conforme observado na Figura 14.

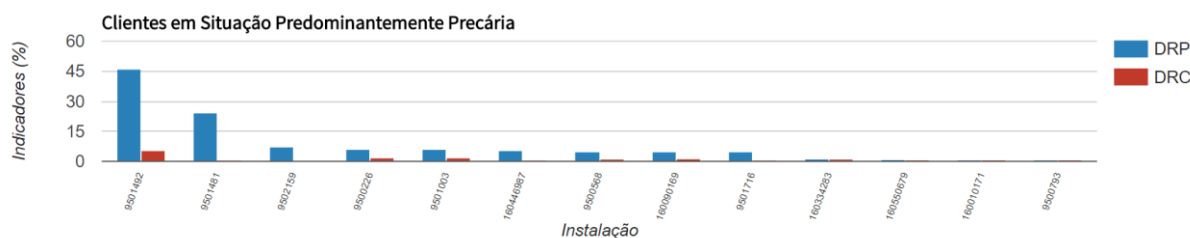
Figura 14 - Captura do gráfico das compensações por circuito



Fonte: Elaborado pelo autor.

O terceiro gráfico listado exibe uma distribuição dos clientes com o indicador DRP superior ao DRC da base de dados em formato de gráfico de barras mostrando os valores dos indicadores de conformidade para cada cliente, conforme é observado na Figura 15.

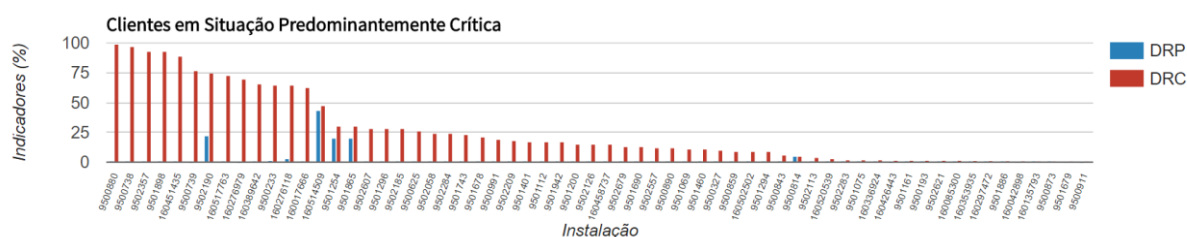
Figura 15 - Captura do gráfico dos clientes em situação precária



Fonte: Elaborado pelo autor.

O quarto gráfico listado exibe uma distribuição dos clientes com o indicador DRC superior ao DRP da base de dados em formato de gráfico de barras mostrando os valores dos indicadores de conformidade para cada cliente, conforme é observado na Figura 16.

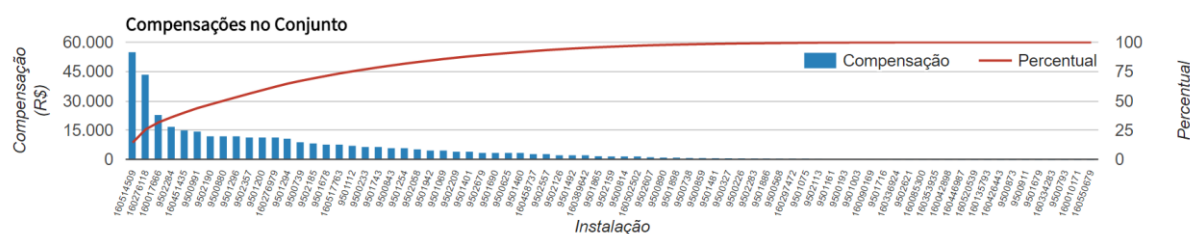
Figura 16 - Captura do gráfico dos clientes em situação crítica



Fonte: Elaborado pelo autor.

O quinto e último gráfico listado exibe os valores das compensações individuais iminentes para cada unidade consumidora do conjunto da base de dados em formato de diagrama de Pareto, conforme observado na Figura 17.

Figura 17 - Captura do gráfico das compensações no conjunto



Fonte: Elaborado pelo autor.

Averiguando os resultados obtidos pelo relatório geral, observa-se que o circuito com os maiores indicadores médios é o PIH01, sendo o DRP igual a 0,66% e o DRC igual a 5,30%.

Isso revela que esse alimentador possui as unidades consumidoras atendidas com as maiores transgressões dos níveis de tensão do conjunto completo da base de dados ou que nele há uma maior quantidade de unidades consumidoras com os indicadores de conformidade violados. A compensação total no alimentador CIT04, estimada em R\$ 181.615,54 e correspondendo a 47,03% do total das compensações contabilizadas, supera as quantias dos demais alimentadores. Nota-se uma peculiaridade entre os dois primeiros gráficos, retratados na Figura 13 e na Figura 14, uma vez que os circuitos assumem posições trocadas em cada um. Essa ocorrência pode ser justificada pela divergência entre o número de unidades consumidoras situadas em cada circuito ou pelos valores de EUSD particulares das unidades consumidoras. Os demais gráficos permitem que o usuário tenha noção das unidades consumidoras que podem oferecer os maiores prejuízos para a empresa. O terceiro gráfico, demonstrado pela Figura 15, sinaliza que a unidade consumidora com os maiores indicadores, com DRP superior ao DRC, possui o número da instalação 9501492, sendo que seu indicador DRP vale 46,02% e seu DRC vale 5,48%. O quarto gráfico, visualizado na Figura 16, possui a mesma abordagem do anterior para as unidades consumidoras com DRC superior ao DRP e, segundo este, a unidade consumidora com as piores condições tem número da instalação 9500880 e seu indicador DRC vale 98,70%, ao passo que seu indicador DRP vale 0,00%, condição essa que denota que os níveis de tensão em regime permanente persistiram na faixa crítica superior ou inferior durante a maior parte do período de consulta.

O quinto gráfico, conforme exposto pela Figura 17, informa que o cliente que ofereceria o maior prejuízo no conjunto em termos de compensação, caso realizasse uma reclamação de tensão, possui número da instalação 160514509 e sua compensação aproximada seria de R\$ 55.387,40, correspondendo a 14,34% do total de compensações do conjunto completo da base. Esse gráfico é importante porque indica quantos clientes necessitam ter sua tensão de atendimento regularizada para alcançar uma meta de economia dos possíveis gastos com as compensações. Por exemplo, se fosse estipulada uma meta para uma redução em torno de 50% do total de compensações iminentes, seria necessário regularizar os nove primeiros clientes listados no diagrama.

4.4 Relatórios por circuito

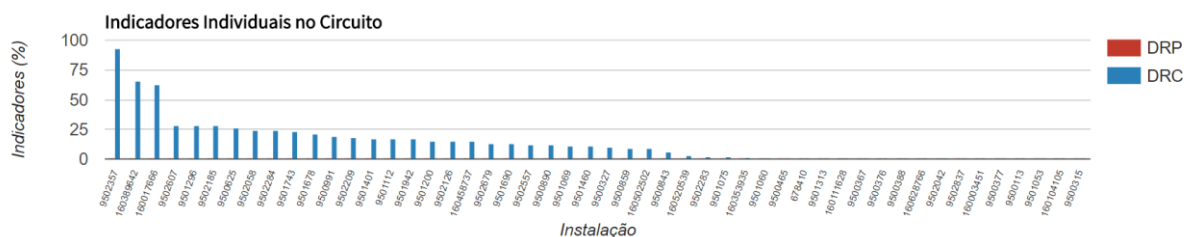
O relatório por circuito engloba gráficos dos indicadores individuais de conformidade, das compensações estimadas no circuito, um mapa interativo contendo o traçado do alimentador

acompanhado com marcadores representativos das unidades consumidoras, e o relatório individual.

O primeiro gráfico listado no relatório por circuito exibe os valores dos indicadores de conformidade estimados para cada unidade consumidora com tensão de atendimento irregular do circuito consultado em formato de gráfico de barras. O segundo gráfico listado exibe os valores das compensações iminentes para cada unidade consumidora situada no circuito em formato de diagrama de Pareto.

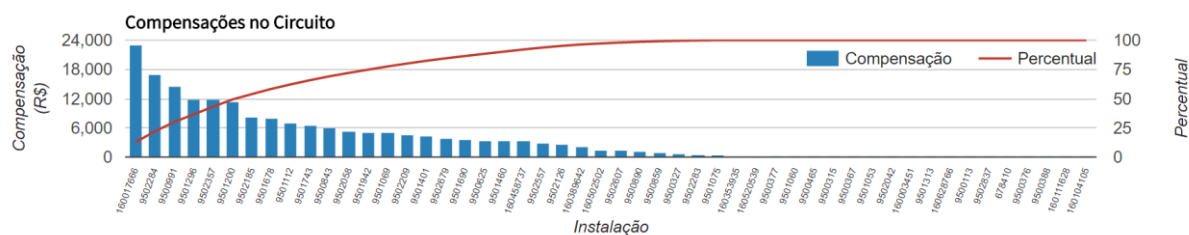
Averiguando os gráficos do relatório do circuito CIT04, percebe-se o mesmo princípio de organização dos dados, no qual as informações são dispostas para destacar as unidades consumidoras com as piores condições da tensão de atendimento no conjunto. O primeiro gráfico, conforme observado na Figura 18, destaca que a unidade consumidora que detém os maiores indicadores de conformidade nesse conjunto possui número da instalação 9502357, DRC de 92,70% e DRP de 0,00%. O segundo gráfico, conforme ilustrado na Figura 19, indica que a unidade consumidora que ofereceria o maior prejuízo econômico devido à violação dos indicadores DRP e DRC possui número da instalação 160017666 e compensação iminente de R\$ 23.126,21. Caso fosse estipulada uma meta para uma redução em torno de 50% do total de compensações iminentes nesse circuito, seria necessário regularizar os sete primeiros clientes listados no diagrama.

Figura 18 - Captura do gráfico dos indicadores no circuito CIT04



Fonte: Elaborado pelo autor.

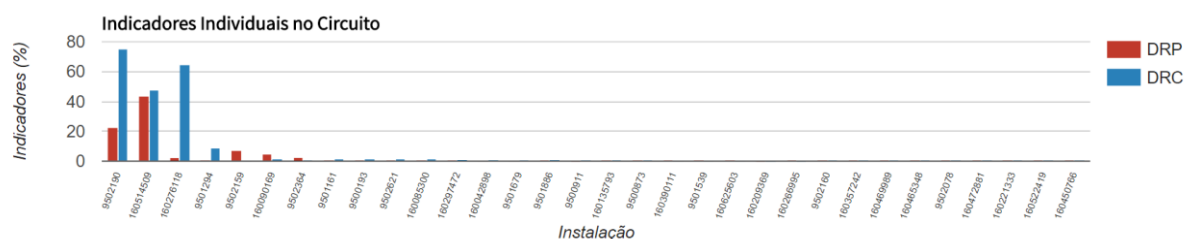
Figura 19 - Captura do gráfico das compensações no circuito CIT04



Fonte: Elaborado pelo autor.

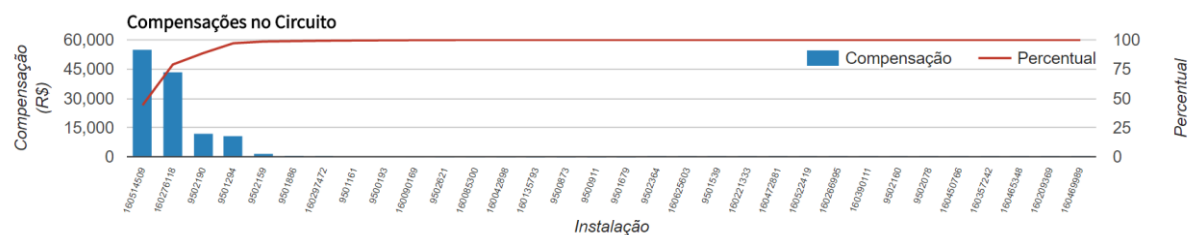
Examinando o relatório do circuito SFR01, percebe-se que o primeiro gráfico, conforme observado na Figura 20, destaca que a unidade consumidora que detém os maiores indicadores de conformidade nesse conjunto possui número da instalação 9502190, DRP de 22,72% e DRC de 74,94%. O segundo gráfico, conforme ilustrado na Figura 21, indica que a unidade consumidora que ofereceria o maior prejuízo econômico devido à violação dos indicadores DRP e DRC possui número da instalação 160514509 e compensação iminente de R\$ 55.387,40. Caso fosse estipulada uma meta para a contenção dos possíveis gastos em torno de 80% do total de compensações iminentes nesse circuito, seria necessário regularizar os dois primeiros consumidores listados no diagrama.

Figura 20 - Captura do gráfico dos indicadores no circuito SFR01



Fonte: Elaborado pelo autor.

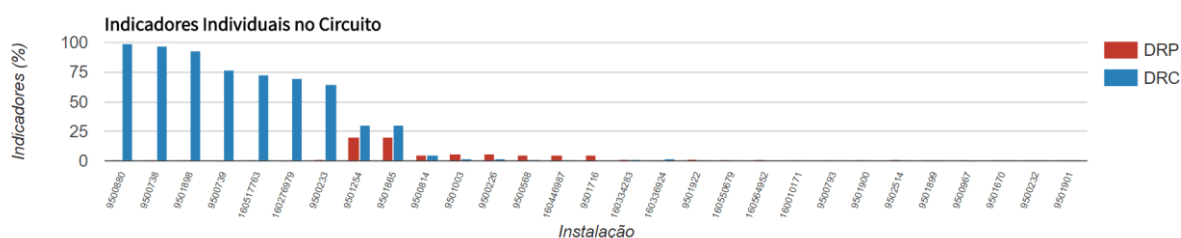
Figura 21 - Captura do gráfico das compensações no circuito SFR01



Fonte: Elaborado pelo autor.

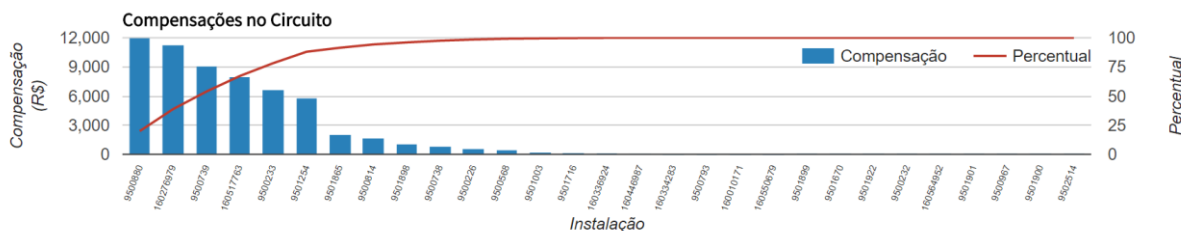
Averiguando o relatório do circuito PIH01, percebe-se que o primeiro gráfico, conforme observado na Figura 22, destaca que a unidade consumidora que detém os maiores indicadores de conformidade nesse conjunto possui número da instalação 9500880, DRP de 0,00% e DRC de 98,70%. O segundo gráfico, conforme ilustrado na Figura 23, indica que a unidade consumidora que ofereceria o maior prejuízo econômico devido à violação dos indicadores DRP e DRC possui número da instalação 9500880 e compensação iminente de R\$ 11.987,59. Caso fosse estipulada uma meta para a contenção dos possíveis gastos em torno de 50% do total de compensações iminentes nesse circuito, seria necessário regularizar os três primeiros consumidores listados no diagrama.

Figura 22 - Captura do gráfico dos indicadores no circuito PIH01



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 23 - Captura do gráfico dos indicadores no circuito PIH01

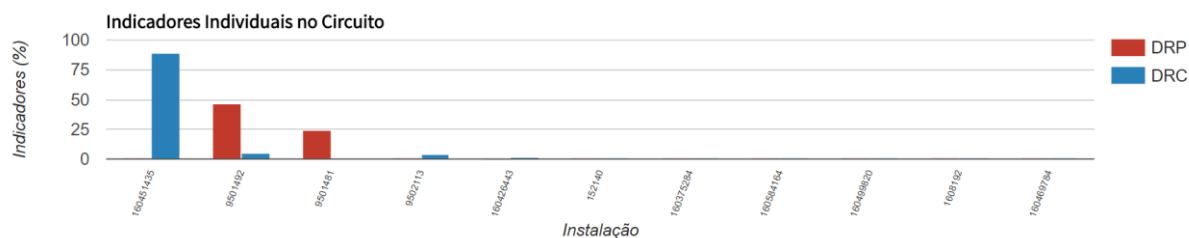


Fonte: Elaborado pelo autor.

Examinando o relatório do circuito JNE04, percebe-se que o primeiro gráfico, conforme observado na Figura 24, destaca que a unidade consumidora que detém os maiores indicadores de conformidade nesse conjunto possui número da instalação 160451435, DRP de 0,00% e DRC de 88,53%. O segundo gráfico, conforme ilustrado na Figura 25, indica que a unidade consumidora que ofereceria o maior prejuízo econômico devido à violação dos indicadores DRP e DRC possui número da instalação 160451435 e compensação iminente de R\$ 15.335,14. Caso fosse estipulada uma meta para a contenção dos possíveis gastos em torno de 80% do total

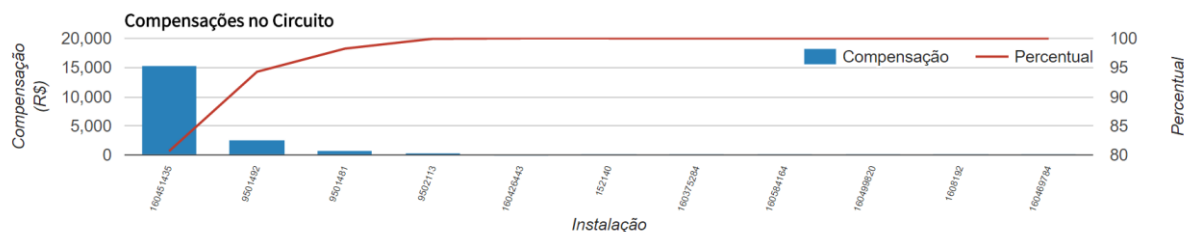
de compensações iminentes nesse circuito, seria necessário regularizar somente a primeira unidade consumidora listada no diagrama.

Figura 24 - Captura do gráfico dos indicadores no circuito JNE04



Fonte: Elaborado pelo autor.

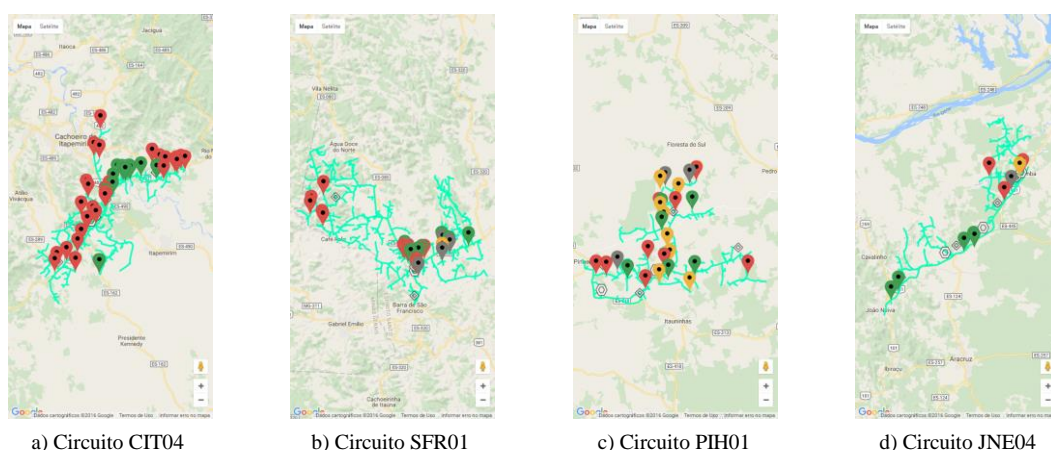
Figura 25 - Captura do gráfico das compensações no circuito JNE04



Fonte: Elaborado pelo autor.

O relatório por circuito possui um mapa interativo com o traçado do alimentador, possibilitado pelo carregamento de arquivos em formato KML contendo as coordenadas de cada segmento do circuito, acompanhado com marcadores representativos das unidades consumidoras classificados por um esquema de cores verde, amarelo, vermelho e cinza (Figura 26). Os marcadores em verde indicam que a unidade consumidora não apresenta violação de seus indicadores de conformidade e, portanto, não possui compensações iminentes. Os marcadores em amarelo indicam as unidades consumidoras em situação predominantemente precária e os indicadores em vermelho indicam as unidades consumidoras em situação predominantemente crítica. Os marcadores em cinza representam as unidades consumidoras que encontram-se com os registros de medição indisponíveis. A interatividade do mapa consiste na possibilidade de visualizar o relatório individual clicando diretamente nos marcadores. O mapa permite visualizar a distribuição geográfica das unidades consumidoras, a localização de equipamentos, como reguladores de tensão e bancos de capacitores, e as condições da tensão de atendimento ao longo do circuito.

Figura 26 - Mapas dos circuitos



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5 Relatório individual

O relatório individual pode ser visualizado ou a partir de uma consulta pelo número da instalação inserida no menu, ou pela interação com os marcadores no mapa do relatório por circuito, como descrito anteriormente. Os elementos componentes deste relatório são os gráficos do perfil de tensão por período, histograma de tensão, registros válidos e ausentes, valor médio, mínimo e máximo do conjunto de leituras de cada fase, indicadores de conformidade estimados e compensação iminente estimada.

O primeiro elemento deste relatório é um cabeçalho que lista o nome do cliente, o número da instalação da unidade consumidora e o alimentador ao qual ela pertence (Figura 27).

Figura 27 - Captura do cabeçalho do relatório individual

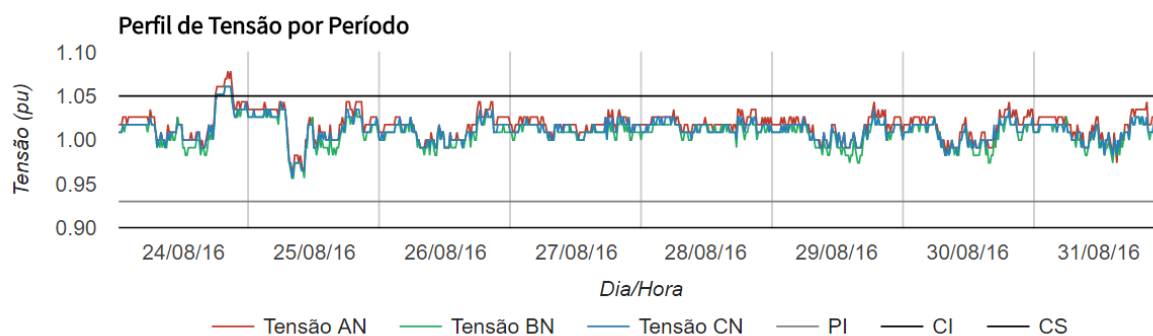
ALICE SOSSAI GUIMARÃES
 17071208
 CIT04

Fonte: Elaborado pelo autor.

O primeiro gráfico expõe os níveis de tensão por unidade entre fase e o neutro durante o período da consulta acompanhado com as delimitações das faixas precárias e críticas. O gráfico do perfil de tensão retratado na Figura 28 compreende o período entre 24/08/2016 e 31/08/2016 (uma semana). Para essa unidade consumidora, observa-se que, nesse período de consulta, os níveis

de tensões entre fase e neutro encontram-se predominantemente confinados na faixa adequada, apesar das transgressões registradas em um período do dia 24/08/2016.

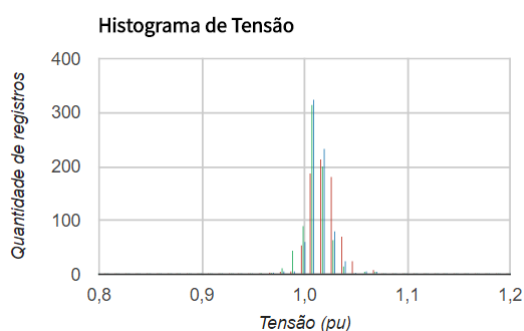
Figura 28 - Captura do gráfico do perfil de tensão por período



Fonte: Elaborado pelo autor.

O segundo gráfico, ilustrado na Figura 29, é um histograma dos registros de tensão que expressa o modo como os valores das leituras distribuem-se ao longo do intervalo compreendido entre 0,8 pu e 1,2 pu, conforme é exigido pelos critérios de documentação da medição dos níveis de tensão em regime permanente estabelecidos pelo Módulo 8 do PRODIST. Para essa unidade consumidora, observa-se que a maioria dos registros de tensão possuem valores próximos a 1 pu.

Figura 29 - Captura do gráfico do histograma de tensão

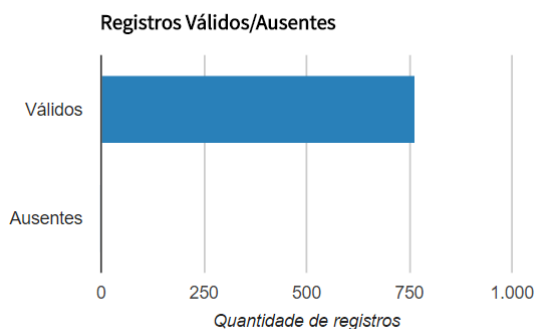


Fonte: Elaborado pelo autor.

O terceiro gráfico, demonstrado na Figura 30, exhibe os valores dos registros válidos e ausentes do conjunto de leituras. Os registros válidos são provenientes de uma leitura de tensão realizada com êxito, enquanto os registros ausentes são aqueles provenientes de leituras que não foram apuradas por algum motivo, como, por exemplo, interrupção de energia elétrica ou defeito

interno do medidor. Para exemplificar, se em um período do conjunto de leituras um registro for executado no instante 13h00 e o registro subsequente ocorrer às 13h45, dois registros encontram-se ausentes nos instantes de 13h15 e 13h30. No gráfico da Figura 28 todos os registros do conjunto de leituras no período de consulta são válidos e totalizam 766 registros.

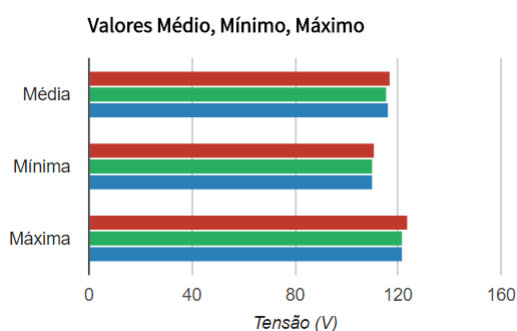
Figura 30 - Captura do gráfico dos registros válidos e ausentes



Fonte: Elaborado pelo autor.

O quarto gráfico, retratado na Figura 31, expõe o valor médio, mínimo e máximo do conjunto de leituras para cada fase no período de consulta. Nesse relatório, percebe-se que a fase A, em vermelho, possui os valores mais elevados em comparação com as outras fases, possuindo valor médio de 116,94 V, mínimo de 111 V e máxima de 124 V.

Figura 31 - Captura do gráfico dos valores de tensão médio, mínimo e máximo

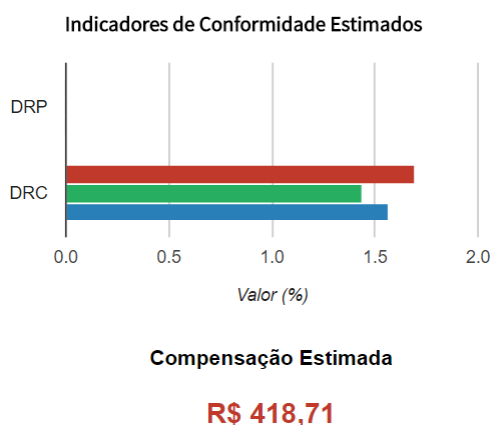


Fonte: Elaborado pelo autor.

O quinto e último gráfico, retratado na Figura 32, expõe os indicadores de conformidade estimados para cada fase acompanhados do valor da compensação estimada. Nesse relatório, observa-se que o indicador usado para o cálculo da compensação de R\$ 418,71 foi apenas o

DRC da fase A com valor de 1,70%, pois os indicadores DRP de cada fase não ultrapassam o limite de 3%, sendo que os seus valores para cada fase são nulos.

Figura 32 - Captura do gráfico dos indicadores estimados e da compensação estimada

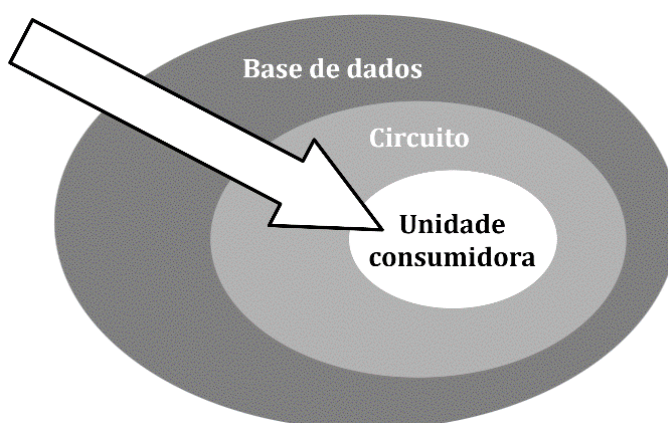


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.6 Metodologia de utilização

O aplicativo foi projetado com o objetivo de possibilitar a identificação dos pontos críticos no sistema elétrico com relação à conformidade de tensão a partir da análise sistematizada de um superconjunto para um subconjunto (Figura 33).

Figura 33 - Ordenação da análise instaurada pelo aplicativo



Fonte: Elaborado pelo autor.

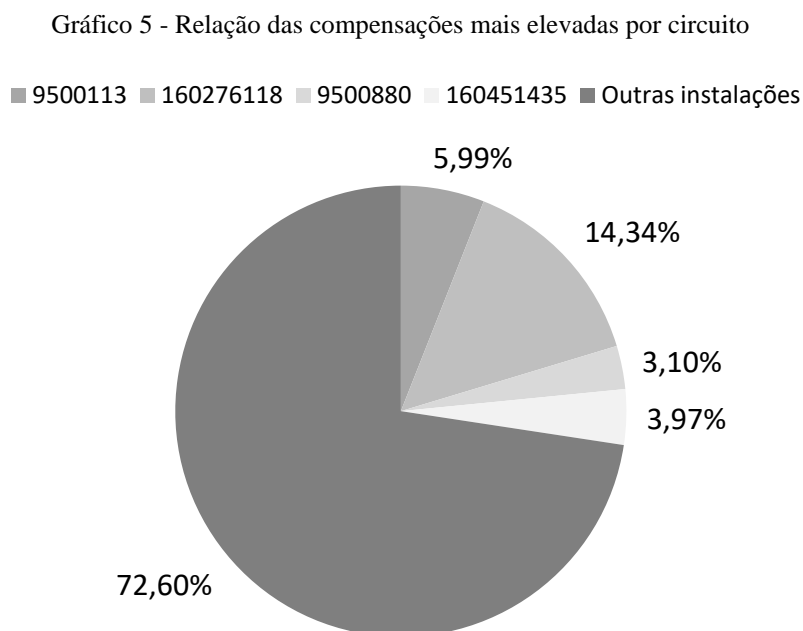
Para o caso específico deste projeto, o superconjunto é representado pela união dos quatro alimentadores e os subconjuntos são os circuitos individuais e as unidades consumidoras. O

relatório geral permite que o usuário possua uma visão abrangente do impacto dos indicadores e compensações iminentes para os quatro alimentadores e sinaliza o circuito que necessita ser investigado com prioridade, por conta dos seus índices médios e do seu montante de compensação superiores aos dos demais. Em particular, observou-se, pela Figura 13 e pela Figura 14, que o alimentador detentor dos maiores valores de indicadores médios é o PIH01 e o alimentador detentor do maior montante de compensações é o CIT04. A Figura 34 ilustra um diagrama que descreve a metodologia de utilização do aplicativo implementado neste projeto. Efetuando uma busca pelo código do circuito é possível gerar o relatório específico do alimentador e reconhecer qual unidade consumidora desse subconjunto ofereceria o maior prejuízo pela compensação devido à violação dos indicadores no período da consulta. Com o número da instalação dessa unidade consumidora é possível gerar o seu relatório individual para investigar as possíveis causas da tensão de atendimento irregular a partir da análise do gráfico do perfil de tensão que pode ser validado se a quantidade de registros ausentes for desprezível em comparação com a quantidade de registros presentes no conjunto de leituras. Esse gráfico permite verificar a presença de certas características dos níveis de tensão em regime permanente, como variações de tensão de longa duração e desequilíbrio entre as fases. Essa verificação auxilia o usuário a adotar as medidas cabíveis para solucionar o problema antes que o cliente possa realizar uma reclamação de tensão. Para detalhar, se for identificado desequilíbrio entre as fases, é necessário redistribuir as cargas no circuito para poder reequilibrá-lo. Caso for identificada sobretensão, talvez seja preciso reajustar reguladores de tensão ou bancos de capacitores e, se o problema for subtensão, é provável que o redimensionamento do circuito regularize os níveis de tensão. Outro modo de investigação é a alteração do intervalo da consulta nos campos das datas inicial e final no menu, para avaliar se o problema persistiu ou não em períodos anteriores, para saber se algum remanejamento no circuito provocou as anomalias observadas.

O mapa presente no relatório por circuito é um recurso relevante para verificar as similaridades nos perfis de tensão que atendem unidades consumidoras próximas entre si. Essa investigação facilitaria a detecção dos pontos críticos com maior precisão e determinaria o agrupamento das unidades consumidoras que teriam seus níveis de tensão regularizados com apenas uma intervenção.

É importante salientar que um ponto problemático em um circuito pode propagar níveis de tensão críticos ou precários para inúmeras unidades consumidoras a jusante do local. Portanto, regularizar uma unidade consumidora pode refletir na regularização de muitas outras.

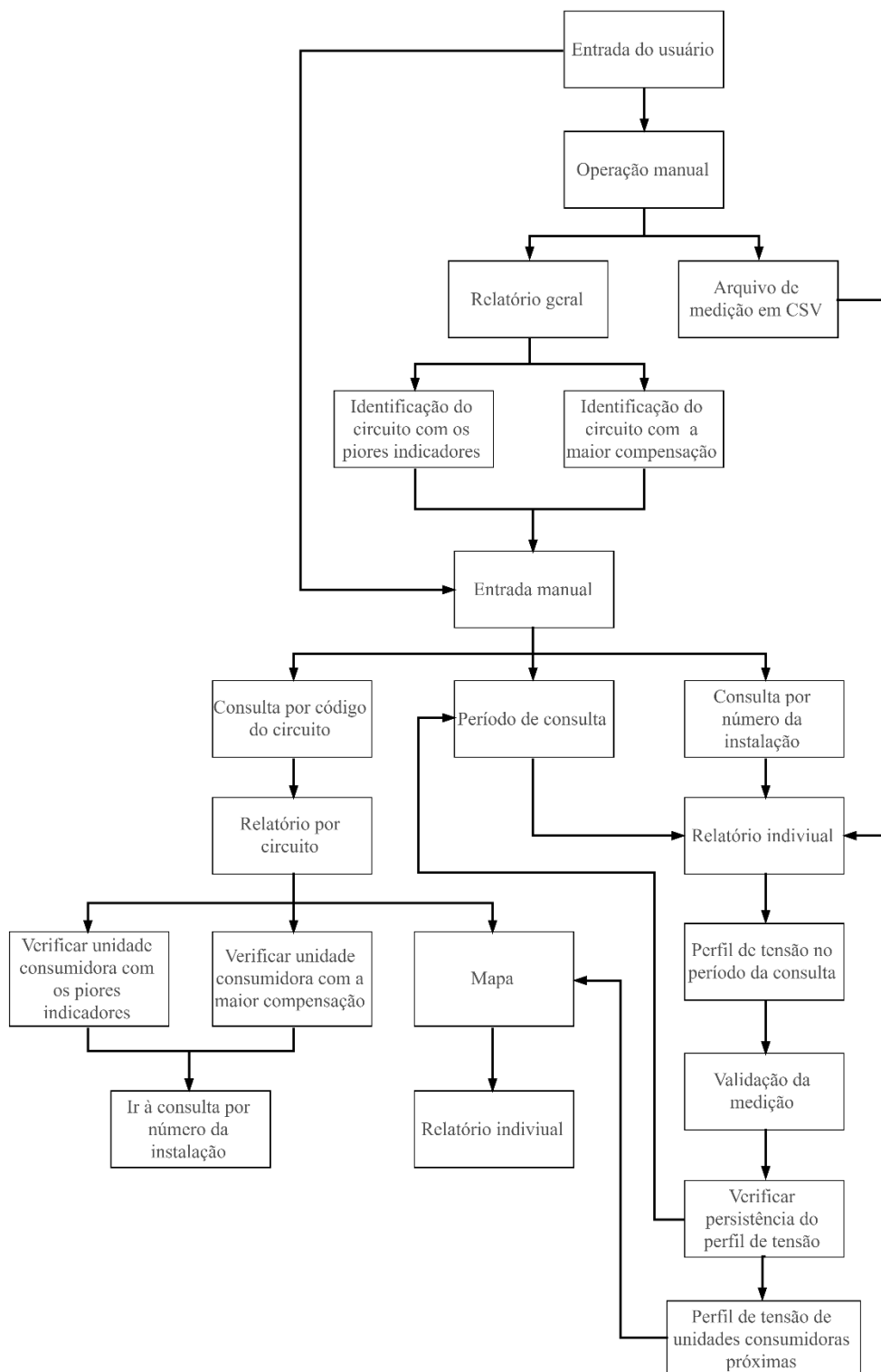
Para ter uma noção do benefício que essa metodologia implicaria ao possibilitar uma potencial retenção dos gastos ao rastrear as unidades consumidoras detentoras das compensações iminentes mais elevadas de cada circuito do banco de dados, seria possível conter, para esse conjunto de quatro alimentadores, ao menos, 27,40% do total de R\$ 386.193,44 correspondente às compensações iminentes de toda a base de dados, considerando que a tensão de atendimento seja regularizada antes das eventuais reclamações das quatro unidades consumidoras identificadas. As parcelas dos gastos com as compensações das unidades consumidoras detentoras das compensações iminentes mais elevadas de cada circuito com relação ao total dos gastos no conjunto completo são ilustradas no Gráfico 5.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Essa abordagem de utilização do aplicativo viabiliza e ordena o rastreamento das unidades consumidoras com as piores condições da tensão de atendimento quanto à conformidade ou que teriam as maiores compensações caso houvesse reclamações de tensão.

Figura 34 - Fluxograma do método de uso do aplicativo



Fonte: Elaborado pelo autor.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho propôs o desenvolvimento de uma ferramenta de grande utilidade para distribuidoras de energia elétrica que, sob fiscalização do órgão regulador, a ANEEL, estão sujeitas a pagarem quantias expressivas caso seja comprovado que essas empresas entregam um produto fora dos padrões estabelecidos pelo Módulo 8 do PRODIST.

Os gastos relativos às compensações por conta da violação dos indicadores de conformidade impactam diretamente no faturamento da concessionária, comprometendo os lucros e os investimentos da empresa. Segundo ABRADDEE (2015), o setor de distribuição de energia elétrica investiu, em 2015, aproximadamente 12,3 bilhões de reais em compra de novos equipamentos, treinamento pessoal, conscientização da população sobre cuidados com a rede elétrica, expansão, melhorias e modernização da rede, atendimento aos consumidores, combate a furtos e fraudes, programas de pesquisa e desenvolvimento, entre outros.

Diante dessas circunstâncias, o aplicativo foi desenvolvido para permitir que o usuário tenha uma visão abrangente da qualidade do produto no sistema elétrico da empresa. Com a utilização deste, é esperado que o usuário seja capaz de rastrear, por meio de uma interface simples e objetiva, os pontos críticos específicos que necessitam ser regularizados com maior urgência tendo como objetivo principal antecipar-se às reclamações dos clientes que teriam seus indicadores violados caso fossem apurados e, conseqüentemente, possibilitar a contenção dos gastos com compensações.

Graças à distribuidora EDP Escelsa foi possível reunir informações essenciais para o desenvolvimento de uma base de dados de uma amostra de unidades consumidoras para dar suporte ao projeto, visto que não foi possível estabelecer o acesso direto ao Centro de Controle de Medição da empresa.

Por meio das linguagens de programação e dos API's disponíveis para o desenvolvimento em navegadores *web* foi possível criar um aplicativo dinâmico e intuitivo com um ótimo desempenho na execução de consultas ao banco de dados e na geração do relatório geral, dos relatórios por circuito e dos relatórios individuais das unidades consumidoras. Foi estabelecida uma metodologia de utilização da ferramenta para demonstrar a rastreabilidade das unidades consumidoras que ofereceriam os maiores prejuízos econômicos caso as reclamações de tensão fossem realizadas.

Os benefícios do uso deste aplicativo sustentam-se por diversos fatores, entre eles estão a eficiência no monitoramento da qualidade do produto, o reconhecimento das regiões do sistema

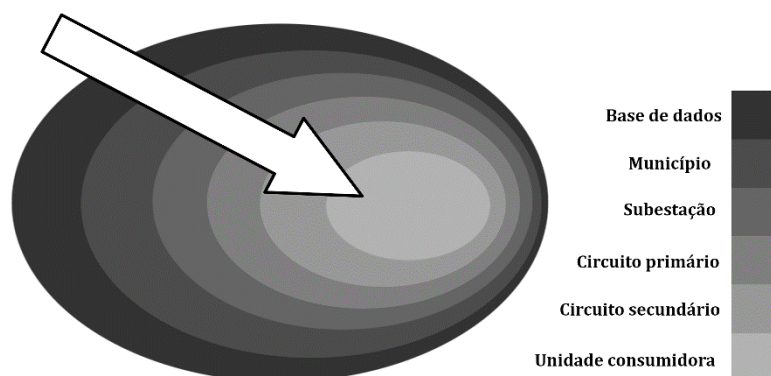
elétrico com a qualidade da tensão comprometida indicando situações que possam vir a acarretar custos ao distribuidor e ao cliente, a potencial contenção dos prejuízos relativos às compensações devido à violação dos indicadores DRP e DRC e ao ressarcimento de danos, a capacidade de orientar de modo otimizado e com prioridade os serviços de manutenção corretiva e a elevação da qualificação da empresa e da satisfação dos clientes.

5.1 Trabalhos futuros

Os indicadores de conformidade e as compensações calculadas pelo aplicativo são estimativas dos valores reais, pois os registros de tensão que integram a base de dados do aplicativo são provenientes de telemedições com ciclos de leituras pontuais em intervalos consecutivos de quinze minutos, em contraste com a medição dos níveis de tensão em regime permanente em um plano de medição feito por um medidor de qualidade que é configurado para realizar leituras integralizadas em intervalos consecutivos de dez minutos. Portanto, pretende-se minimizar o erro existente entre os indicadores e compensações estimadas pelo aplicativo e os indicadores e compensações apurados no plano de medição. Para isso, será necessário adotar um método numérico que realize aproximações entre duas séries temporais.

Outra medida planejada é a concessão do acesso ao Centro de Controle de Medição com o intuito de abranger o monitoramento da qualidade do produto para toda a base de clientes da empresa. Com a interligação deste aplicativo à base de telemedições das unidades consumidoras atendidas em média e baixa tensão, a distribuidora de energia elétrica possuiria uma ferramenta analítica promissora, implantando no sistema corporativo uma rede de monitoramento da qualidade do produto que é o conceito originado e demonstrado por esse projeto. Isso promoveria uma análise ordenada mais abrangente, sendo que o superconjunto, composto por toda a base de unidades consumidoras atendidas pela distribuidora, englobaria os municípios na área de concessão, subestações, circuitos primários e secundários. A Figura 35 ilustra o direcionamento analítico almejado com o aplicativo integrado ao sistema corporativo.

Figura 35 - Ordenação da análise do aplicativo interligado à base da concessionária



Fonte: Elaborado pelo autor.

Há, também, a possibilidade de integrar esse sistema às atividades de planejamento da empresa, visto que o aplicativo abriga e organiza dados de grandezas elétricas reais para execução de um fluxo de potência mais preciso. Existe a possibilidade de integrá-lo ao *software* de gerenciamento da concessionária para que seja possível implementar disparos automáticos de ordens de serviços para realização de inspeção técnica nos clientes atendidos com tensão irregular.

Por ser um aplicativo criado em ambiente *web*, é possível expandir ou acrescentar novas funcionalidades sem comprometer drasticamente o seu desempenho, posto que, na atualidade, os programas em navegadores usam API's que são compartilhados por servidores conectados à internet. Esses API's permitem agregar poderosos recursos aos programas e, conseqüentemente, garantem que os projetos sejam ainda mais valorizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução nº 505, de 26 de novembro de 2001**. Brasília, 2001.

_____. **Resolução Normativa nº 395, de 15 de dezembro de 2009**. Brasília, 2009.

_____. **Resolução Normativa nº 424, de 17 de dezembro de 2010**. Brasília, 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Indicadores de Conformidade do Nível de Tensão em Regime Permanente**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/Indicadores_de_conformidade_nivel_tensao/>. Acesso em: 06 nov. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Indicadores de Conformidade do Nível de Tensão (DRP e DRC)**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/conformidade>>. Acesso em: 08 nov. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica**. Brasília, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA (ABRADEE). **Distribuidoras correm o risco de perder concessão - Valor Econômico**. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/imprensa/noticias/428-distribuidoras-correm-o-risco-de-perder-concessao-valor-economico>>. Acesso em: 14 nov. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA. **Investimentos do Setor**. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/investimentos-do-setor>>. Acesso em: 15 nov. 2016.

BOWERMAN, Bruce L.; O'CONNELL, Richard; KOEHLER, Anne. **Forecasting, Time Series, and Regression**. 4. ed. Boston: Cengage Learning, 2005.

BROWN, Richard E. **Electric Power Distribution Reliability**. 2. ed. Boca Raton: Crc Press Taylor & Francis Group, 2009.

CRUZ, Matheus Palma. **Metodologia para avaliação dos impactos econômicos associados a problemas de qualidade de energia.** 2007. 164 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

FLORES, Rafael. **Signal Processing Tools for Power Quality Event Classification.** 2003. 126 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Chalmers University Of Technology, Göteborg, 2003.

GARVIN, David A. **What Does "Product Quality" Really Mean?** Disponível em: <<http://sloanreview.mit.edu/article/what-does-product-quality-really-mean/>>. Acesso em: 06 nov. 2016.

GÖNEN, Turan. **Electric Power Distribution System Engineering.** 2. ed. Boca Raton: Crc Press Taylor & Francis Group, 2008.

GRIGSBY, Leonard L. **Electric Power Generation, Transmission, And Distribution.** Boca Raton: Crc Press Llc, 2004. p. 735-752.

GUIMARÃES, Renato Oliveira. **Avaliação dos riscos de violações de conformidade de tensão em sistemas de distribuição, utilizando método probabilístico e conjuntos fuzzy.** 2008. 135 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **STD 1159-2009:** IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. Piscataway, 2009.

LIGHT. **Medição Eletrônica Na Baixa Tensão:** Contribuição Consulta Pública nº 015/2009. Rio de Janeiro, 2009.

MOMOH, James A. **Electric Power Distribution, Automation, Protection, And Control.** Boca Raton: Crc Press Taylor & Francis Group, 2007.

NIXON, Robin. **Learning PHP, MySQL, JavaScript, CSS & HTML5.** 3. ed. Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2014.

PAULILO, Gilson; TEIXEIRA, Mateus Duarte. Variações de tensão de longa duração. **O Setor Elétrico**, Santa Cecília, v. 87, n. 8, abr. 2013.

SHORT, Tom. **Electric Power Distribution Handbook.** Boca Raton: Crc Press Llc, 2004.

SKLAR, David; TRACHTENBERG, Adam. **PHP Cookbook**. 3. ed. Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2014.

SUEHRING, Steve; VALADE, Janet. **PHP, MySQL, JavaScript® & HTML5 All-in-One For Dummies**. 3. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2013.

ULLMAN, Larry. **Visual QuickPro Guide: PHP and MySQL for Dynamic Web Sites**. 4. ed. Berkeley: Peachpit Press, 2012.

WELLING, Luke; THOMSON, Laura. **PHP and MySQL® Web Development**. 4. ed. Boston: Pearson Education, Inc., 2009.