

CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

Luana Lima de Freitas

**SISTEMA COMPUTACIONAL PARA TOMADA DE DECISÕES E GERENCIAMENTO DA
ENERGIA ELÉTRICA EM SISTEMAS INDUSTRIAIS**

Santa Cruz do Sul
2013

Luana Lima de Freitas

**SISTEMA COMPUTACIONAL PARA TOMADA DE DECISÕES E GERENCIAMENTO DA
ENERGIA ELÉTRICA EM SISTEMAS INDUSTRIAIS**

Trabalho de Conclusão II apresentado ao
Curso de Engenharia de Computação da
Universidade de Santa Cruz do Sul, para ob-
tenção do título de Bacharel em Engenharia
de Computação.

Orientador: Profº Dr. Leonel Pablo Tedesco

Co-Orietador: Profª Msc. Daniela Saccol Pe-
ranconi

**Santa Cruz do Sul
2013**

CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

Luana Lima de Freitas

**SISTEMA COMPUTACIONAL PARA TOMADA DE DECISÕES E GERENCIAMENTO DA
ENERGIA ELÉTRICA EM SISTEMAS INDUSTRIAIS**

Prof^o. Dr. Leonel Pablo Tedesco
Orientador

Prof^a. Msc. Daniela Saccol Peranconi
Co-Orietadora

Prof^o. Dr. João Carlos Furtado
Prof^o. Professor Fantasma
Avaliadores

Santa Cruz do Sul
2013

Dedicatória...

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador, ao meu co-orientador, aos meus colaboradores, aos técnicos, à seção administrativa, à fundação que liberou verba para minhas pesquisas, aos meus amigos, à minha família e ao meu grande amor.

Resumo

O constante crescimento econômico pelo qual passa o país tem influenciado diretamente no aquecimento do setor industrial. Isto se reflete na modernização de parques e processos industriais, os quais trazem consigo uma demanda considerável de energia elétrica. A gestão de energia elétrica é um problema que atinge a sociedade em geral e diversos segmentos da atividade humana. Tal fato influi diretamente em despesas para a sua manutenção, assim como no impacto ambiental de uma região. A Qualidade de Energia Elétrica (QEE) e a Eficiência Energética (EE) são dois importantes parâmetros a serem considerados quando se trata de gestão energética e o desenvolvimento de sistemas computacionais que auxiliem na análise, monitoração e controle desses parâmetros. Neste contexto, este trabalho tem como principal objetivo a implementação de um método de tomada de decisão e gerenciamento da energia elétrica como ferramenta de auxílio em processos industriais.

Palavras-chave: Qualidade da Energia Elétrica, Eficiência Energética, Sistemas Embarcado, Tomada de decisão.

Abstract

The constant economic growth which passes through the country has directly influenced the heating industry. This is reflected in the upgrading of parks and industrial processes, which bring considerable demand for electricity. The management of electric power is a problem that affects society in general and various segments of human activity. This fact has a direct influence on costs for maintenance, as well as the environmental impact of a region. The Quality Electrical Energy (QEE) and Energy Efficiency (EE) are two important parameters to consider when it comes to energy management and the development of computer systems that assist in the analysis, monitoring, and control of these parameters. In this context, this paper has as main objective the implementation of a method of decision making and management of electrical energy as a tool to aid in industrial processes.

Keywords: Quality Electrical Energy, Energy Efficiency, Embedded System, Decision Making.

LISTA DE FIGURAS

2.1	Distúrbios Elétricos	16
-----	--------------------------------	----

LISTA DE TABELAS

2.1	Principais causas dos fenômenos eletromagnéticos conforme recomendação [IEE95].	26
2.2	Perturbações mais Comuns: Causas e Equipamentos Afetados	28
2.3	Perdas Financeiras em Grandes Consumidores Industriais e Comerciais (Interrupções e Afundamentos de Tensão)	28

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA	12
2.1	QEE e EE	12
2.2	Normas Brasileiras	13
2.3	Distúrbios Eletromagnéticos	15
2.3.1	Transitórios	17
2.3.2	Variações de tensão de longa duração	18
2.3.3	Variações de tensão de curta duração	18
2.3.4	Distorções da Forma de Onda	22
2.3.5	Desequilíbrios de Tensão	25
2.3.6	Variações na Frequência do Sistema Elétrico	25
2.3.7	Quantificação de QEE (Causas, Origens e Efeitos)	27
3	ANÁLISE DE SINAIS	30
	GLOSSÁRIO	31
	REFERÊNCIAS	36
	REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

Mobilizar a sociedade para o uso eficiente da energia elétrica, combatendo o seu desperdício é a missão estratégica do PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica). A economia de energia elétrica proporciona inúmeras vantagens, entre elas a liberação de recursos para outras áreas e a contribuição para a preservação do meio ambiente (ELETROBRAS, OPORTUNIDADES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A INDÚSTRIA, 2010).

Os fatores que influenciam na Qualidade da Energia Elétrica (QEE) podem ser originados tanto nas concessionárias como nos sistemas consumidores (MELO, 2008). Estes distúrbios podem ser gerados por fenômenos naturais, por operações da concessionária ou pelos próprios consumidores. Da mesma forma que uma maior demanda em horário de ponta causa perturbações e desequilíbrio na rede, além de penalizações por parte da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) caso o consumo ultrapasse o limite contratado.

Contextualizando a QEE no cenário industrial, torna-se importante que as indústrias tenham um gerenciamento eficaz das demandas energéticas consumidas diariamente, evitando tanto o desperdício de energia quanto a diminuição da qualidade da mesma. Tendo em vista que a QEE pode chegar ao consumidor com um excelente padrão de qualidade, o mau gerenciamento, ou até mesmo problemas decorrentes da própria infraestrutura da empresa, podem implicar na diminuição da qualidade da energia consumida no processo industrial.

Conforme (SILVA, 2009) e (SOLA A. V. H.; KOVALESKI, 2004), as indústrias são peças importantes no contexto estudado, devido ao grande consumo de energia elétrica necessário em seus processos de produção. Em função disto, (SOLA A. V. H.; KOVALESKI, 2004) define

como pontos relevantes para a pesquisa dentro desta área:

- Conscientização para Eficiência Energética (EE);
- Gestão energética eficaz;
- Política de uso de tecnologias energeticamente eficientes;
- Monitoração da qualidade da energia consumida.

Com isso, justifica-se o estudo e desenvolvimento de um sistema que implementa uma metodologia de gerenciamento de energia elétrica que atenda aos requisitos propostos, servindo de apoio à tomada de decisão e controle, além de uma solução eficiente em termos de EE para o setor industrial (GARCIA, 2009).

Este trabalho além de focar no desenvolvimento de um sistema que proporcione o gerenciamento da energia elétrica, também oferece a tomada de decisão não sendo somente uma ferramenta de apoio, mas sim um controle inerente de operadores e avaliadores. A linha de simulação desde trabalho deve proporcionar aos usuários a realização de perguntas when-if, buscando apontar outros comportamentos do sistema elétrico dadas situações específicas.

O objetivo principal deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema de tomada de decisão e gerenciamento da energia elétrica, aplicado a sistemas industriais. Os objetivos específicos para direcionamento do trabalho proposto seguem listados abaixo:

- Realizar estudo aprofundado sobre parâmetros QEE, distúrbios eletromagnéticos e dos métodos utilizados na identificação dos mesmos;
- Realizar a modelagem matemática e simulação do sistema;
- Estudar e implementar um modelo de comunicação para o sistema;
- Desenvolver os algoritmos ligados à tomada de decisão e software de gerenciamento de QEE;
- Implementar a tomada de decisão e software de gerenciamento no sistema.

Reefazer. O presente trabalho encontra-se dividido em três capítulos. O capítulo 2 contém o referencial teórico deste trabalho e aborda a Qualidade da Energia Elétrica em sua conceitualização, normalização e índices, juntamente com os distúrbios eletromagnéticos causadores e motivadores deste controle de qualidade. Em seguida, neste mesmo capítulo, trata-se da análise de sinais, considerando três ferramentas de trabalho, e são abordados os conceitos gerais que serão a base computacional para construção do sistema proposto. No capítulo 3 consta a explanação da metodologia proposta e seu respectivo cronograma.

2 QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

QEE é o principal tema motivador deste trabalho, no qual se aborda uma proposta de um sistema de tomada de decisões visando os parâmetros QEE em sistemas industriais. Precedendo maiores explanações sobre características de QEE e as perturbações elétricas, torna-se importante explicitar as definições literárias para esse conceito tão importante nos sistemas elétricos e neste trabalho.

2.1 QEE e EE

A QEE é bem difundida e recebe diferentes definições que se justificam pelas diversificadas referências, pois concessionárias, consumidores e fabricantes de equipamentos têm diferentes pontos de vista em relação às definições deste termo (FERNANDES, 1999).

Em (DUGAN, 1996) a qualidade da energia é definida como qualquer problema manifestado na tensão, corrente ou desvio de frequência, que resulte em falha ou má operação dos equipamentos dos consumidores. Segundo (FERNANDES, 1999), QEE pode ser definida como a ausência relativa de variações de tensão provocadas pelo sistema da concessionária, particularmente a ausência de desligamentos, flutuações de tensão, transitórios e harmônicos medidos no ponto de entrega de energia. Esta é uma definição vista sob o enfoque da identificação de qual é o nível de qualidade da energia fornecida pela concessionária.

Do ponto de vista do consumidor, a QEE pode ser definida como sendo a ausência de variações manifestadas na tensão, corrente ou frequência que resultem em falhas ou má operação de seus equipamentos (DUGAN, 1996). Segundo (ABREU, 1996), citado por (FERNANDES,

1999), uma abordagem acadêmica para QEE, sendo a disponibilidade da energia elétrica, com forma de onda senoidal e pura, sem alterações na amplitude, emanando de uma fonte de potência infinita.

A Eficiência Energética está diretamente ligada a QEE, segundo (INEE, INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, ???), o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE). Para se constatar se a eficiência energética é ou não obtida por uma ação, é preciso medir os resultados relacionados com a redução de consumo de energia e com os ganhos associados. Para se garantir que os resultados obtidos se mantenham ao longo do prazo contratual, é preciso verificar, por meio de monitoramento contínuo ou não, os seus valores.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) possui um plano de ação voltado a EE, nomeado de Programa de Eficiência Energética (PEE). Este plano é voltado para as empresas de distribuição de energia elétrica, mas também se aplicam neste trabalho no enfoque do melhoramento da eficiência energética ocasionada pelo emprego do sistema proposto. Para mais informações sobre o INEE e PEE podem ser consultadas as referências (INEE, INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, ???) e (ANNEEL, EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, ???).

2.2 Normas Brasileiras

No trabalho de (JUNIOR, 2009), é distinto que a padronização da QEE ainda se encontra em um estágio de desenvolvimento. A Europa é uma das regiões mais avançadas em relação à normalização da QEE, onde está vigente a EN50160. Já nos Estados Unidos, grande parte das concessionárias tem utilizado diversas normas como referência, como a IEEE 519. Entretanto, devido à desregulamentação existente, em contratos futuros à inclusão de cláusulas sobre a QEE devem se tornar padrões. No cenário nacional, a QEE é monitorada pelas próprias concessionárias de energia elétrica, por meio de indicadores, que quantificam alguns distúrbios da QEE fornecida. Tais indicadores são definidos através das portarias e resoluções publicadas por órgãos reguladores, estabelecendo metas, ações e prazos a serem cumpridos pelas concessionárias a cada ano.

A ANEEL, autarquia em regime especial vinculada ao Ministério de Minas e Energia, foi criada para regular o setor elétrico brasileiro, por meio da Lei nº 9.427/1996 e do Decreto nº 2.335/1997. A ANEEL iniciou suas atividades em dezembro de 1997, tendo como principais atribuições (ANEEL, HOMEPAGE INSTITUCIONAL, ????):

- Regular a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica;
- Fiscalizar, diretamente ou mediante convênios com órgãos estaduais, as concessões, as permissões e os serviços de energia elétrica;
- Implementar as políticas e diretrizes do governo federal relativas à exploração da energia elétrica e ao aproveitamento dos potenciais hidráulicos;
- Estabelecer tarifas; item Mediar, na esfera administrativa, os conflitos entre os agentes e entre esses agentes e os consumidores.

Porem é delegação do governo federal, promover as atividades relativas às outorgas de concessão, permissão e autorização de empreendimentos e serviços de energia elétrica.

O documento (ANEEL, 2012) integra os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), juntamente com outros oito módulos. Esses documentos foram criados e são mantidos pela ANEEL, objetivando a normalização e padronização das atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica, relacionados às distribuidoras, demais integrantes do sistema elétrico e alguns tópicos relevantes aos consumidores.

As distribuidoras de energia são avaliadas em diversos aspectos no fornecimento de energia elétrica pela ANEEL, entre eles, está à qualidade do serviço e do produto oferecidos aos consumidores e fiscalização de concessionárias, permissionárias e autorizadas dos serviços de geração distribuída e de distribuição de energia elétrica. A qualidade dos serviços prestados compreende a avaliação das interrupções no fornecimento de energia elétrica. Destacam-se no aspecto da qualidade do serviço os indicadores de continuidade coletivos e os indicadores de continuidade individuais, são eles:

- Indicadores de continuidade coletivos:
 - Duração equivalente de interrupção por unidade consumidora (DEC);
 - Frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora (FEC).
- Indicadores de continuidade individual:
 - Duração de interrupção individual por unidade consumidora (DIC);
 - Frequência de interrupção individual por unidade consumidora (FIC);
 - Duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora ou ponto de conexão (DMIC).

O DEC exprime o espaço de tempo em que, em média, cada consumidor do conjunto considerado ficou privado do fornecimento de energia elétrica, o FEC representa o número de interrupções que, em média, cada consumidor do conjunto considerado foi atingido durante um determinado intervalo de tempo. DIC expressa o intervalo de tempo que, no período de apuração, em cada unidade consumidora ou ponto de conexão ocorreu descontinuidade da distribuição de energia elétrica, o FIC representa número de interrupções ocorridas, no período de apuração, em cada unidade consumidora ou ponto de conexão e o DMIC é o tempo máximo de interrupção contínua de energia elétrica, em uma unidade consumidora ou ponto de conexão.

A qualidade do produto avalia a conformidade de tensão em regime permanente e as perturbações na forma de onda de tensão. Destacam-se, neste quesito, os indicadores coletivos DRP e DRC, obtidos a partir da campanha de medição amostral instituída pela ANEEL dentro da respectiva área de concessão (ANNEE, QUALIDADE DO SERVIÇO E DO PRODUTO, ???).

2.3 Distúrbios Eletromagnéticos

Na literatura encontram-se diversificadas nomenclaturas objetivando a conceituação dos fenômenos descritos nos próximos capítulos, os termos distúrbios e perturbações são os mais difundidos nesses casos.

Conforme explicado por /citeFER99, a ocorrência de distúrbios eletromagnéticos está relacionada a uma série de fatores identificados da operação normal de determinadas cargas ou dispositivos em um sistema elétrico, ou da ocorrência de fenômenos naturais que afetam o sistema elétrico.

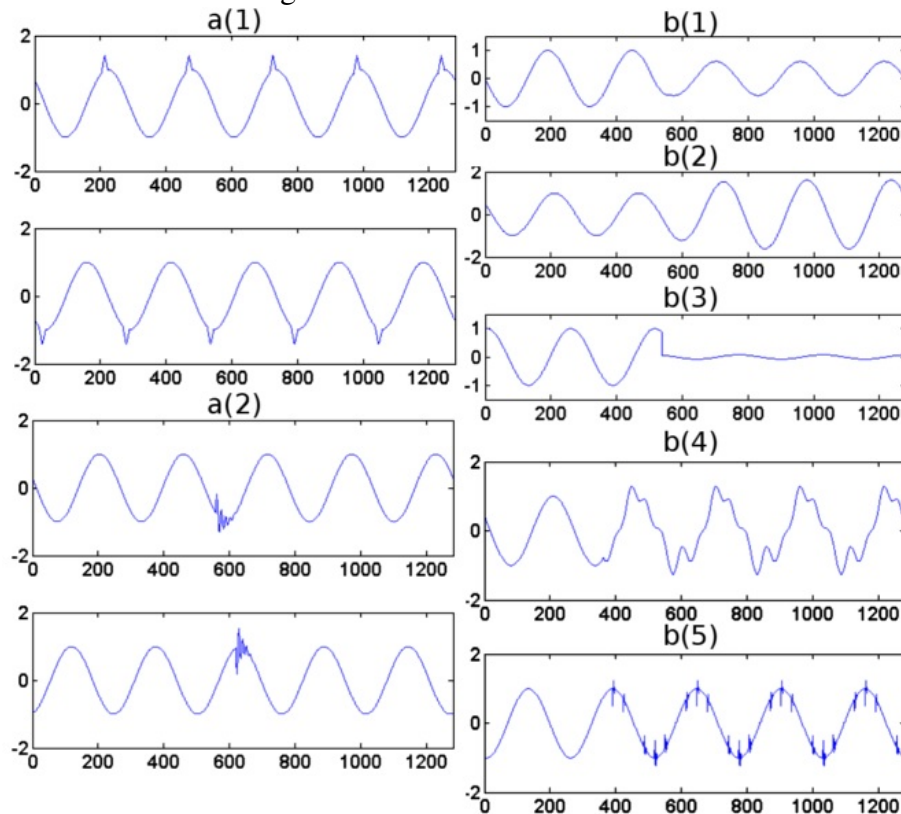
Segundo (JUNIOR, 2009), os distúrbios que afetam a QEE podem ser originados tanto nos sistemas quanto nos equipamentos das concessionárias, ou ainda em última milha nos equipamentos dos consumidores. No entanto, as causas destes distúrbios em grande parte não estão no controle das concessionárias, pelo fato que se tratam de fenômenos gerados por causas aleatórias (atividades de construção, acidentes e falhas no sistema elétrico), fenômenos naturais (relâmpagos, ventos, gelo, etc.) e as operações cotidianas da concessionária (chaveamentos, operações com banco de capacitores e manutenção) que pode gerar distúrbios para o sistema.

A Figura 2.1, demonstra uma onda inicialmente sem perturbações, e a mesma com a aplicação de alguns dos mais ocorrentes distúrbios elétricos de tensão, tais distúrbios são explanados brevemente nesta seção 2, onde destaca-se principalmente os Transitórios oscilatórios de baixa frequência, as variações de tensão de curta duração (VTCDs) e as distorções na forma de onda.

Distúrbios a e b

- a(1) Transitórios impulsivos
- a(2) Transitórios oscilatórios
- b(1) Afundamento de tensão
- b(2) Elevação de tensão
- b(3) Interrupção
- b(4) Harmônicos
- b(5) Cortes

Figura 2.1: Distúrbios Elétricos



Fonte: Ambas as imagens foram adaptadas pelo autor de (FEREIRA, 2010).

2.3.1 Transitórios

Fenômenos transitórios ocorrem no sistema elétrico em função de diversas condições. Muitos transitórios são decorrentes de variações instantâneas na corrente, as quais interagem com a impedância do sistema, resultando em elevadas tensões instantâneas.

Em (HERMAN C. C.; MAGEE, 1995), citado por (DELMONT, 2003), transitórios podem ser consequência de cargas com operação intermitente, chaveamento de bancos de capacitores, faltas a terra, operação de dispositivos de semicondutores e falhas em condutores. Descargas atmosféricas são um caso especial de transitórios, devido aos níveis extremamente altos de energia e rápido tempo envolvido.

A duração de um transitório é pequena, porém de grande importância, uma vez que os equipamentos presentes nos sistemas elétricos estarão submetidos a grandes solicitações de tensão e/ou corrente. Fenômenos transitórios podem ser classificados em dois grupos: os chamados

transitórios impulsivos e os oscilatórios, causados por descargas atmosféricas e por chaveamentos respectivamente (DELMONT, 2003)

Segundo (BACK, 2011), os transitórios oscilatórios de baixa frequência (até 5 kHz), são bastante comuns na rede de distribuição. Na maioria das vezes são produzidos por chaveamento de bancos de capacitores ou energização de transformadores. De acordo com (JUNIOR, 2009), citado por (BACK, 2011), os transitórios são fenômenos eletromagnéticos oriundos de variações súbitas do valor instantâneo da tensão do sistema de energia elétrica. Em (DELMONT, 2003), citado por (BACK, 2011), é caracterizado por ser um evento indesejável com altas frequências em seu espectro e de curta duração, mas de vital relevância, já que submete os equipamentos a grandes solicitações tanto de tensão quanto de corrente. A intensidade do transitório depende da quantidade de energia armazenada no instante inicial do fenômeno e do comportamento transitório até o restabelecimento do novo ponto de operação do sistema.

2.3.2 Variações de tensão de longa duração

As variações de tensão de longa duração podem ser caracterizadas como desvios que ocorrem no valor eficaz da tensão, na frequência do sistema, com duração maior que 1 minuto (DUGAN, 1996).

Em (DELMONT, 2003), estas variações acontecem como subtensões, sobretensões ou interrupções sustentadas, ambas são geralmente causadas por variações de carga e operações de chaveamento no sistema.

Já (FERNANDES, 1999) define as variações de longa duração englobando os desvios de valor eficaz de tensão, à frequência industrial, maiores que 1 minuto. Sobretensões e subtensões não são, geralmente, causadas por faltas no sistema, mas por variações de carga e operações de chaveamentos no sistema elétrico.

2.3.3 Variações de tensão de curta duração

Em [DUG96], conceitua-se as variações de tensão de curta duração apresentado duração típica entre 0,5 ciclo a 1 minuto, podendo ser subdivididas em alterações instantâneas, momentâneas ou temporárias, dependendo da duração do fenômeno. Tais variações de tensão são,

geralmente, causadas por condições de falta, energização de grandes cargas, as quais requerem altas correntes de partida, ou por intermitentes falhas nas conexões dos cabos do sistema.

Dependendo do local da falta e das condições do sistema, a falta pode causar tanto um afundamento de tensão, como uma elevação de tensão, ou mesmo uma interrupção completa do sistema elétrico.

As variações de tensão de curta duração são fenômenos que apresentam duração entre 0,5 ciclo até 1 minuto e podem ser caracterizadas por alterações instantâneas, momentâneas ou temporárias [JUN09]. Tais alterações geralmente são ocasionadas por curtos circuitos no sistema elétrico e chaveamento de grandes cargas, demandam altas correntes ou perdas intermitentes da conexão com a rede.

Tais eventos descritos, geram instabilidade ao sistema causando transtornos ao processo de produção por distorcer a forma de onda da tensão, podendo até interromper o abastecimento de energia elétrica caso não sejam tomadas as medidas preventivas. Dependendo do local da falha e das condições do sistema, o distúrbio resultante pode ser um afundamento de tensão, uma elevação de tensão ou uma interrupção do fornecimento de energia [IEE95]. A seguir apresenta-se a descrição de cada um destes fenômenos.

2.3.3.1 Afundamento de Tensão

Afundamento de tensão é a terminologia mais utilizada no Brasil, na literatura internacional os termos correspondentes mais utilizados são voltage sag e voltage dip. Segundo [FER99], afundamentos de tensão consistem do decaimento de tensão ou corrente eficaz, à frequência industrial, para uma faixa entre 0,1 a 0,9 pu ¹, ocorrendo em um intervalo de 0,5 ciclo a 1 minuto, a duração dos afundamentos de tensão classifica-os entre três categorias: instantâneos, momentâneos e temporários.

As causas típicas para os afundamentos de tensão estão associadas à faltas no sistema em geral, grandes variações de carga e partidas de grandes motores. Quando há ocorrência de faltas no sistema, os afundamentos de tensão ocorrem devido à circulação de corrente de falta pela

¹Sistema por unidade.

impedância do sistema, ocasionando uma queda de tensão no ponto de interesse, nestes casos os afundamentos têm seu tempo determinado por dispositivos de eliminação de faltas.

Em [OLIVE] e [SIL01], citados por [DEL03], o fenômeno de afundamento de tensão é uma subtensão de curta duração caracterizada por uma redução no valor eficaz da tensão, entre 0,1 e 0,9 pu, na frequência fundamental, com duração entre 0,5 ciclo e 1 minuto. Este tipo de distúrbio está associado, principalmente, a faltas em sistemas de transmissão e de distribuição. Mas pode também ser causado pela energização de grandes cargas, partida de grandes motores e pela corrente de energização de um transformador.

O principal efeito destes distúrbios é o mau funcionamento dos equipamentos eletrônicos, em especial os computadores, que são alvo das preocupações de órgãos de pesquisa em QEE. Entretanto, determinar os níveis de sensibilidade de tais equipamentos torna-se uma tarefa difícil, devido ao grande número de medições necessárias para a coleta de dados, e ainda, as dificuldades de se ter equipamentos de medição em condições reais de campo [OLIVE], citado por [DEL03].

2.3.3.2 *Elevação de Tensão ou Salto de Tensão*

Elevação de tensão ou Salto de tensão são as terminologias mais utilizadas no Brasil, na literatura internacional o termo correspondente mais utilizado é voltage swell. De acordo com [FER99], consiste no aumento da tensão ou corrente eficaz, à frequência industrial, para uma faixa entre 1,1 e 1,8 pu, ocorrendo em um intervalo de 0,5 ciclo a 1 min. A duração dos saltos de tensão classifica-os entre três categorias: instantâneos, momentâneos e temporários.

Quando há ocorrência de faltas no sistema, os saltos de tensão ocorrem na fase não atingida pela falta. Nestes casos, a severidade do salto de tensão durante a condição de falta é determinada pela localização da falta, impedância do sistema e características de aterramento. Próximo à subestação haverá pouco ou nenhum salto de tensão pelo fato da usual conexão delta-estrela prover um caminho de baixa impedância de sequência zero para a corrente de falta. Segundo [OLIVE], citado por [DEL03], uma elevação de tensão é definida como um aumento entre 1,1 e 1,8 pu na tensão eficaz, para uma mesma frequência da rede, com duração entre 0,5 ciclo e 1

minuto.

Assim como os afundamentos de tensão, as elevações de tensão estão geralmente associadas com as condições de falta no sistema, principalmente aos curtos circuitos fase-terra, visto que nestas condições as fases não defeituosas tendem a sofrer uma elevação de tensão.

Este fenômeno pode também estar associado à saída de grandes blocos de cargas ou a energização de grandes bancos de capacitores, porém com uma incidência pequena se comparada com as sobretensões provenientes de faltas fase-terra nas redes de transmissão e distribuição [DUG96].

No trabalho de [DEL03] é relatado que as elevações de tensão são caracterizadas pelas suas magnitudes (valores eficazes) e suas durações. A severidade de uma elevação de tensão durante uma condição de falta é função do local da falta, da impedância do sistema e do aterramento do mesmo. A duração da elevação está intimamente ligada aos ajustes dos dispositivos de proteção, à natureza da falta (permanente ou temporária) e à sua localização na rede elétrica.

Em situações de elevação de tensão oriundas de saídas de grandes cargas ou energização de grandes bancos de capacitores, o tempo de duração das elevações depende da resposta dos dispositivos reguladores de tensão das unidades geradoras, do tempo de resposta dos transformadores de tap variável e da atuação de compensadores síncronos que porventura existam no sistema. As consequências de elevações de tensão em aparelhos de iluminação, por exemplo, pode ser o aumento da luminosidade; já em um banco de capacitores pode, frequentemente, causar sérios danos ao equipamento.

Dentro do exposto, a preocupação principal recai sobre os equipamentos eletrônicos, uma vez que estas elevações podem vir a danificar os componentes internos destes equipamentos, conduzindo-os à má operação, ou em casos extremos, à completa inutilização.

2.3.3.3 Interrupção

Uma interrupção de curta duração ocorre quando a tensão de suprimento decresce para um valor menor que 0,1 pu por um período de tempo não superior a 1 minuto. Este tipo de interrupção pode ser causada por faltas no sistema de energia, falhas de equipamentos e mau

funcionamento de sistemas de controle [OLIVE], citado por [DEL03].

Algumas interrupções podem ser precedidas por um afundamento de tensão quando estas são devidas a faltas no sistema supridor. O afundamento de tensão ocorre no período de tempo entre o início de uma falta e a operação do dispositivo de proteção do sistema.

Com o crescente emprego de cargas eletrônicas, como inversores e computadores, e com as faltas em redes aéreas sendo de natureza temporária, estas são responsáveis pela saída de operação de diversos equipamentos, interrompendo o processo produtivo e causando enormes prejuízos às indústrias [DEL03].

Em [FER99], uma interrupção rápida é caracterizada quando a tensão eficaz da fonte ou a corrente de carga decresce a menos que 0.1 pu, por um período de tempo entre 0,5 ciclo e 1 minuto. As interrupções rápidas são resultado de faltas no sistema, falhas em equipamentos e mau funcionamento de dispositivos de controle.

Tais interrupções quando causadas por faltas no sistema da concessionária, têm seu tempo determinado pelo tempo de operação de dispositivos de proteção do sistema elétrico (religadores). Quando causadas por mau funcionamento de equipamentos ou por falhas de conexões, têm um período de tempo irregular.

2.3.4 Distorções da Forma de Onda

A definição de [OLIVE], citado por [DEL03] para uma distorção da forma de onda, é que a mesma pode ser um desvio, em regime permanente, da forma de onda puramente senoidal, na frequência fundamental, e é caracterizada principalmente pelo seu conteúdo espectral. Existem quatro principais tipos de distorções da forma de onda, descritos a seguir [DUG96].

2.3.4.1 Harmônicos

Harmônicas são tensões ou correntes senoidais de frequências múltiplas inteiras da frequência fundamental na qual opera o sistema de energia elétrica. Estes harmônicos distorcem as formas de onda da tensão e corrente e são oriundos de equipamentos e cargas com características não lineares instalados no sistema de energia.

As distorções harmônicas estão em desacordo com os objetivos da qualidade de suprimento

promovido por uma concessionária de energia elétrica, a qual deve fornecer aos seus consumidores uma tensão puramente senoidal, com amplitude e frequência constantes.

Entretanto, o fornecimento de energia a determinados consumidores que causam deformações no sistema supridor prejudica não apenas o consumidor responsável pelo distúrbio, mas também outros conectados à mesma rede elétrica [DEL03].

De acordo com [FER99], harmônicos são correntes ou tensões senoidais de frequências múltiplas (de inteiros) da frequência que o sistema é designado a operar. Sendo esses componentes harmônicos, combinados com a tensão ou corrente fundamentais, produzindo alterações na forma de onda.

A distorção harmônica existe devido a características não lineares de dispositivos e cargas do sistema elétrico. Já a distorção de tensão resulta da queda de tensão provocada pela passagem de corrente (injetada por uma carga não linear) pela impedância do sistema.

Destacado por [DUG96], citado por [FER99], a importância da existência de uma distorção harmônica, sendo fenômeno que deve ser tratado como de regime permanente. A distorção de forma de onda, provocada pelos componentes harmônicos, deve estar presente, continuamente, por pelo menos alguns segundos.

2.3.4.2 *Interharmônicos, Ruídos e Nível Corrente Contínua (CC)*

Interharmônicos são componentes de frequência, em tensão ou corrente, que não são múltiplos inteiros da frequência fundamental do sistema supridor (50 ou 60Hz²). Elas podem aparecer como frequências discretas ou como uma larga faixa espectral.

Os interharmônicos podem ser encontrados em redes de diferentes classes de tensão. As suas principais fontes são conversores estáticos de potência, ciclo conversores, motores de indução e equipamentos a arco [DEL03].

Ruído é definido por [OLIVE], citado por [DEL03], como um sinal elétrico indesejado, contendo uma larga faixa espectral com frequências menores que 200 kHz, as quais são superpostas às tensões ou correntes de fase, ou encontradas em condutores de neutro em linhas de

²Hertz, unidade derivada do Sistema Internacional de Unidades (SI).

transmissão.

De acordo com [DUG96], os ruídos são basicamente uma distorção indesejada no sinal elétrico que não pode ser classificado como distorção harmônica ou transitório. A faixa de frequência e o nível da amplitude dependem da fonte que produz o ruído e das características do sistema.

A amplitude típica é menor que 1% da tensão fundamental, e os mesmos podem causar distúrbios em equipamentos eletrônicos, tais como microcomputadores e controladores programáveis. O problema pode ser minimizado utilizando-se filtros, transformadores isoladores e alguns condicionadores de linha.

A presença de tensão ou corrente CC em um sistema elétrico com corrente alternada (CA) é denominado “DC offset”. Este fenômeno pode ocorrer como resultado da operação ideal de retificadores de meia-onda [OLIVE].

O nível CC em redes de corrente alternada pode levar à saturação de transformadores, resultando em perdas adicionais e redução da vida útil. Pode também causar corrosão eletrolítica dos eletrodos de aterramento e de outros conectores [DEL03].

2.3.4.3 Flutuações ou Oscilações de Tensão

No trabalho de [DEL03] existe uma rápida explicação sobre as principais ocorrências sobre o assunto. As flutuações de tensão correspondem a variações sistemáticas dos valores eficazes da tensão de suprimento dentro da faixa compreendida entre 0,95 e 1,05 pu. Tais flutuações são geralmente causadas por cargas industriais e manifestam-se de diferentes formas.

A principal fonte das Flutuações Aleatórias são os fornos a arco, onde as amplitudes das oscilações dependem do estado de fusão do material, bem como do nível de curto-circuito da instalação. **Flutuações Repetitivas**

Dentre as principais fontes geradoras de flutuações desta natureza tem-se: Máquinas de solda, Elevadores de minas, Ferrovias.

Flutuações Esporádicas

A principal fonte causadora destas oscilações é a partida direta de grandes motores. Os

principais efeitos nos sistemas elétricos, resultados das oscilações causadas pelos equipamentos mencionados anteriormente são:

- Oscilações de potência e torque das máquinas elétricas;
- Queda de rendimento dos equipamentos elétricos;
- Interferência nos sistemas de proteção;
- Efeito Flicker ou cintilação luminosa.

2.3.5 Desequilíbrios de Tensão

De acordo com [DUG96], os desequilíbrios de tensão podem ser caracterizados como a relação entre a componente de sequência negativa pela componente de sequência positiva dos sinais de correntes ou tensões trifásicas.

As origens destes desequilíbrios estão geralmente nos sistemas de distribuição, os quais possuem cargas monofásicas distribuídas inadequadamente, fazendo surgir no circuito tensões de sequência negativa. Este problema se agrava quando consumidores alimentados de forma trifásica possuem uma má distribuição de carga em seus circuitos internos, impondo correntes desequilibradas no circuito da concessionária. Tensões desequilibradas pode ser também o resultado da queima de fusíveis em uma fase de um banco de capacitores trifásicos.

Ambos os fatores interferem diretamente na QEE sobre o ponto de vista do fornecimento de energia idealizado inicialmente pela concessionária, mas esta qualidade é prejudicada por esses fatores e alguns consumidores têm em suas alimentações um desequilíbrio de tensão, o qual se manifesta sob três formas distintas: amplitudes diferentes, assimetria nas fases e assimetria conjunta de amplitudes e fases. Destas, apenas a primeira é frequentemente evidenciada no sistema elétrico.

2.3.6 Variações na Frequência do Sistema Elétrico

Variações na frequência de um sistema elétrico são definidas como sendo desvios no valor da frequência fundamental deste sistema. No Brasil a frequência fundamental é de 60hz [DUG96].

A frequência do sistema de potência está diretamente associada à velocidade de rotação dos geradores que suprem o sistema.

Variações de frequência que ultrapassam os limites para operação normal em regime permanente podem ser causadas por faltas em sistemas de transmissão, saída de um grande bloco de carga ou pela saída de operação de uma grande fonte de geração.

Em sistemas isolados, entretanto, como é o caso da geração própria nas indústrias, na eventualidade de um distúrbio, a magnitude e o tempo de permanência das máquinas operando fora da velocidade, resultam em desvios da frequência em proporções mais significativas.

Na Tabela 2.1 estão dispostos os tipos de distúrbios elétricos, classificados juntamente com suas principais causas de ocorrência e tempo de duração típica. Para o melhor entendimento das informações apresentadas na Tabela 2.1, consultar o Glossário.

2.3.7 Quantificação de QEE (Causas, Origens e Efeitos)

De acordo com [ALV10], distúrbios de energia elétrica ocorrem desde o início da concepção de sistemas elétricos de potência, e com o transcorrer dos anos desde o Séc. XIX, as cargas cada vez mais adquiriram sensibilidade a esses distúrbios e em consequentemente surgiu à necessidade de que a energia elétrica possuísse maior qualidade.

As cargas sensíveis, como equipamentos eletrônicos, os microprocessados, Acionamentos a Velocidade Variável (AVVs), Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), dentre outros são cada vez mais numerosas nos setores: industrial, comercial e residencial e, o nível de QEE requerido tem aumentado muito nos últimos anos. De forma que a energia passou a ser vista como um produto e não mais como um serviço, e como todo produto, passa a ser analisado pela sua qualidade e preço.

Muitos consumidores não sabem a que tipo de distúrbios da QEE estão sendo expostos, basicamente por dois grandes motivos, pelo fato que os estudos e o trabalho de conscientização a população a respeito dos problemas de QEE são recentes. De forma utópica o equilíbrio esperado entre as expectativas dos consumidores e as limitações das concessionárias, seria que estas poderiam informar sobre a QEE entregue, e conhecer as expectativas dos consumidores

ligadas aos prejuízos causados pelos distúrbios da QEE.

No entanto não é desta forma que a relação entre concessionárias e consumidores acontece, e os resultados ficam explícitos em prejuízos associados à QEE, dentre as diversas perturbações elétricas causadores de problemas de QEE, destacam-se os afundamentos de tensão e os harmônicos. As tabelas 2.2 e 2.3 ilustram esta afirmação.

Também segundo [ALV10], afundamento de tensão é a perturbação número um entre as perturbações que afetam a QEE na indústria. Menos severo e mais comum do que uma interrupção momentânea (corte total da tensão na carga), o afundamento pode causar o mesmo dano. Ambos podem causar interrupções de alguns equipamentos e até mesmo do processo inteiro.

É economicamente inviável eliminar todas as faltas do sistema elétrico, para não haver afundamentos de tensão, e em contra partida não é eficaz reduzir o número de afundamentos se o custo por essa ação for maior do que o prejuízo causado pelos mesmos. Às vezes, existem soluções simples a serem aplicadas como mudanças nas especificações dos equipamentos para gerar uma redução significativa no número de interrupções de equipamentos e/ou processos.

Devido à generalidade dos parâmetros envolvidos (características do sistema elétrico, das cargas, do tipo de falta e proteção), o afundamento de tensão é um problema de análise complexa. Onde esta requer um conhecimento das características do distúrbio, informações estatísticas, probabilidade de ocorrência do afundamento, sensibilidade dos equipamentos e, informações do prejuízo causado pelo distúrbio [ALV10].

Quanto à sensibilidade dos Equipamentos aos Afundamentos, [ALV10] explicita que as cargas mais vulneráveis aos afundamentos são os equipamentos eletrônicos à base de microprocessadores, como os AVV e os CLP. Disfunções nos CLPs ou nos microprocessadores (μP) de controle causam interrupções de parte ou de todo o processo, atuação da proteção dos AVVs e o seu desligamento, desatracamento das bobinas de contadores e relés auxiliares, perda de programação dos (μP) etc. Isto causa perda de produtividade, redução da qualidade do produto e diminuição da satisfação do cliente. As explanações sobre a regulamentação, normativas e diretamente os índices da QEE introduzem e motivam o entendimento das causas motivadoras (distúrbios eletromagnéticos) para estudar e trabalhar com a QEE. Além disso, os conceitos

abordados nesse capítulo possuem um papel não somente de referencial teórico para o trabalho proposto, mas também possibilitam uma base de entendimento para as futuras análises de dados no qual o sistema proposto trabalhara massivamente.

Tabela 2.1: Principais causas dos fenômenos eletromagnéticos conforme recomendação [IEE95].

Categorias	Principais Causas	Duração Típica
Transitórios		
Impulsivos	Descargas atmosféricas	
Nanossegundos		< 50 ns
Microssegundos		50 ns – 1 ms
Milissegundos		> 1 ms
Oscilatórios	Energização de banco de capacitores	
Baixa frequência		0,3 – 50 ms
Média frequência		20 μ s
Alta frequência		5 μ s
Variações de curta duração		
Afundamentos de tensão	Faltas - Chaveamento de cargas pesadas, partida de grandes motores	
Instantâneo		0,5 – 30 ciclos
Momentâneo		30 ciclos – 3 s
Temporárias		3 s – 1 min
Salto de tensão	Faltas - Curto circuito fase-terra provocando elevação de tensão na fase sem falta	
Instantâneo		0,5 – 30 ciclos
Momentâneo		30 ciclos – 3 s
Temporárias		3 s – 1 min
Interrupções	Faltas, falhas em equipamentos, disfunção de controle	
Momentâneo		5 ciclos – 3 s
Temporárias		3 s – 1 min
Variações de longa duração		
Interrupção sustentada	Falhas de natureza permanente e que necessitam de intervenção manual para sua restauração.	
Subtensões	Ligação de cargas, desligamento de banco de capacitores	
Sobretensões	Desligamento de cargas, ligação de bando de capacitores	
Distorção de forma de onda		
Nível de CC	Distúrbios geomagnéticos, retificação de meia onda	
Harmônicos	Características não lineares de cargas e dispositivos	
Interharmônicos	Conversores estáticos de frequência, ciclo conversores, motores de indução e dispositivos a arco.	
Cortes	Operação normal de dispositivos de eletrônica de potência	
Ruído	Dispositivos eletrônicos, circuitos de controle, equipamentos a arco, retificadores de estado sólido, fontes chaveadas	
Flutuações de tensão	Fornos a arco	
Variações de frequência	Saída de grande bloco de cargas ou perda de um grande gerador	
Desequilíbrio de tensão	Cargas monofásicas distribuídas inadequadamente.	

Fonte: Adaptada pelo autor de [JUN09].

Tabela 2.2: Perturbações mais Comuns: Causas e Equipamentos Afetados

Causas associadas ao consumidor		Causas associadas à concessionária		Equipamentos afetados	
Aterramento Indevido/Surtos	28%	Afundamentos de tensão	55%	Computadores e μ Processadores	43%
Defeitos em Equipamentos	28%	Perda de Tensão	13%	Acionamentos a velocidade variável	13%
Afundamento e Saltos de Tensão	24%	Aterramento	10%	Iluminação-Flicker	8%
Harmônicos	17%	Surtos	6%	Motores	5%
Surtos	3%	Outros	16%	Relés	1%
				Outros	30%

Fonte: Ribeiro, P., Workshop on Power Quality, II SBQEE, nov. 1997, citado por [ALV10].

Tabela 2.3: Perdas Financeiras em Grandes Consumidores Industriais e Comerciais (Interrupções e Afundamentos de Tensão)

Ocorrências	Horas de produção perdidas	Percentual da Planta Paralizada	Perdas Financeiras Médias (US \$)
Desligamento de 04 horas sem notificação	6,67	91 %	74835,00
Desligamento de 01 hora sem notificação	2,96	91 %	39459,00
Desligamento de 01 hora com notificação	2,26	91 %	22973,00
Afundamento de Tensão (até 03 segundos)	0,36	37 %	7694,00

Fonte: Valores médios, USA. Pesquisa realizada no início dos anos 90, citado por [ALV10].

3 ANÁLISE DE SINAIS

Para a proteção dos Sistemas Elétricos de Potência, foram criados vários métodos para diagnóstico de faltas em linhas de transmissão. Os métodos podem ser divididos em métodos convencionais, métodos baseados em análise de sinais e métodos baseados em sistemas inteligentes. Os métodos convencionais utilizam uma variedade de parâmetros para tomada de decisão sobre a ocorrência da falta, sendo que os parâmetros mais comuns são a tensão e a corrente da linha. Os métodos baseados em análise de sinais utilizam os transitórios de alta frequência gerados pela falta na linha para sua detecção, onde os transitórios são extraídos dos sinais de tensão ou corrente, empregando ferramentas matemáticas, tais como a Root Mean Square (RMS), Transformada de Fourier (TF) e Transformada Wavelet (TW). Os métodos baseados em sistemas inteligentes utilizam dados extraídos da linha como padrões de entrada para o sistema inteligente, tais como Redes Neurais Artificiais (RNAs), Lógica Fuzzy ou Redes Neurofuzzy [INA10].

Aborda-se neste capítulo especialmente três métodos que envolvam a análise de sinais assim como conceitos sobre amostragem de dados, filtros e decomposição de sinais.

GLOSSÁRIO

Acionamentos a Velocidade Variável (AVVs) ou Adjustable Speed Drives - Although de motors are still used in many entries, they are being replaced by variable-frequency drives controlling squirrel-cage induction motors. The advantage of a motor compared to an ac motor is the fact that the speed of the dc motors can be controlled. Variable-frequency driver can give these same speed control and torque characteristics to squirrel-cage induction motors (SMITH L. R; HERMAN, 2004).

Aterramento - É a ligação intencional da carcaça de um equipamento elétrico com a terra (COTRIM, 2005).

Banco de capacitores - Os capacitores podem ser ligados em várias configurações, formando bancos, cujo número de células deve ser limitado, em função de determinados critérios (FILHO, 2005).

Capacitor - O capacitor é um componente de dois terminais usado para modelar um dispositivo construindo por duas placas condutoras separadas por um material isolante (DOR C. F.; SVO-CABA, 2008).

Carga - Quantidade de eletricidade responsável pelos fenômenos elétricos (DOR C. F.; SVO-CABA, 2008).

Ciclo conversores - É um tipo de conversor, empregado especialmente para acionar grandes motores síncronos e assíncronos a frequências relativamente baixas. É composto de um inversor que fornece uma tensão alternada á onda quadrada, a uma frequência 10 vezes superior aquela que se quer obter, e de 3 conversores monofásicos (FIGINI, 2002).

Compensadores síncronos - O compensador é uma máquina síncrona, em que não há nenhuma troca de energia entre o sistema elétrico e o sistema mecânico. Um conjunto mecânico gira livremente e apenas precisa de uma pequena potencia ativa para manter o atrito necessário para vencer a rotação e rolamento do ar (ANTONIO, 2003).

Componente de sequência negativa e positiva - Fazem parte do método das componentes simétricas, que transformam um conjunto de correntes e tensões desequilibradas em componentes de sequência positiva, negativa e zero (CABRAL, 2010).

Conexão delta - Circuito trifásico no qual os enrolamentos do sistema são ligados em forma de um anel fechado e a voltagem instantânea nos pontos do anel é igual a zero. Este sistema é usado apenas para circuitos ou geradores trifásicos (GARDINI G; LIMA, 1982).

Conexão delta-estrela - Delta e estrela são dois tipos de conexões onde o arranjo dos componentes possui uma disposição específica. Uma conexão delta-estrela é a união dessas conexões respectivamente (ALEXANDER, 2003).

Conexão estrela - Um circuito polifásico no qual todas as trilhas da corrente do circuito se estendem de um terminal de entrada para um terminal ou condutor comum, que pode ser o neutro (GARDINI G; LIMA, 1982).

Corrente - A taxa de variação do fluxo de carga elétrica em um ponto dado (DOR C. F.; SVO-CABA, 2008).

Corrente contínua - É uma corrente de valor constante (DOR C. F.; SVOCABA, 2008).

Corrente de falta (Corrente de curto-circuito) - Um curto-circuito pode ser definido como uma conexão intencional ou acidental, em geral de baixa impedância, entre dois ou mais pontos que normalmente estão em diferentes potenciais elétricos. Como consequência, resulta uma corrente elétrica que pode atingir valores muito elevados, dependendo do tipo de curto-circuito. A esta corrente dá-se o nome de corrente de curto-circuito ou corrente de falta (SANTOS, 2009).

Curto circuitos fase-terra - O curto-circuito entre a fase A e terra (fase-terra ou monofásico) (SANTOS, 2009).

Conteúdo espectral - No sentido de Espectro eletromagnético possui a seguinte definição: No vácuo, as ondas eletromagnéticas se propagam com a mesma rapidez e diferem entre si nas suas frequências. A classificação das ondas eletromagnéticas, baseada na frequência, constitui o espectro eletromagnético (?).

Controladores lógico programáveis (CLPs) - Um controlador programável é uma máquina de controle baseada na lógica digital de estado sólido e constituída de subsistemas de computador e planejada em primeiro lugar para substituir relés eletromecânicos em aplicações em que a religação é necessária, devida a mudanças periódicas de sequência (GARDINI G; LIMA, 1982).

Conversor CC-CC - O emprego combinado de inversores e retificadores permite efetuar conversores de corrente contínua/corrente contínua. Esta conversão de corrente contínua em corrente contínua se torna necessária quanto, de um alimentador à c.c a uma determinada tensão, se deseja obter um tensão diversa: nas redes a c.c, não é, de fato, possível o emprego de transformadores (FIGINI, 2002).

Conversores estáticos de frequência - Os conversores estáticos são sistemas que realizam a função de conversão da energia elétrica de uma forma a outra se valendo para isto da característica de comutação dos interruptores de potência. O controle desta transferência de energia é obtido ao serem aplicados sinais de controle nestes interruptores a fim de modificar os seus tempos de condução (ROEL, 2002).

Descargas atmosféricas - Descarga elétrica de origem atmosférica entre uma nuvem e a terra ou entre nuvens, consistindo em um ou mais impulsos de vários quiloamperes (NBR 5419, ???).

Disfunção de controle - Falhas no controle dos CLPs (GARDINI G; LIMA, 1982).

Dispositivos a arco - Arco elétrico é a fonte de calor mais utilizada na soldagem por fusão de materiais metálicos, pois apresenta uma combinação ótima de características, incluindo uma concentração adequada de energia para a fusão localizada do metal de base, facilidade de controle, baixo custo relativo do equipamento e um nível aceitável de riscos à saúde dos seus operadores. Atualmente equipamentos desse tipo são de grande importância industrial e utilizada na fabricação dos mais variados componentes e estruturas metálicas, e também na recuperação de peças danificadas ou desgastadas (MODENESI; MARQUES; BRACARENSE, 2009).

Dispositivos de eliminação de faltas - Existem dispositivos capazes de detectar e disparar sinais para interromper a linha de transmissão em que houve esta falta. Estes dispositivos são conhecidos como equipamentos de proteção e são responsáveis pela detecção e eliminação de

faltas ocorridas, e devem operar no menor tempo possível, evitando que a integridade física do sistema seja comprometida devido a estas faltas (SOUZA, 2008).

Distúrbios geomagnéticos - *The geomagnetic disturbance occurs when the magnetic field embedded in the solar wind is opposite that of the earth. This disturbance, which results in distortions to the earth's magnetic field, can be of varying intensity and has in the past impacted the operation of pipelines, communications systems, and electric power systems* (BARNES, ???).

DSP - Trata da representação de sinais em forma digital, do processamento desses sinais e da informação que eles transportam (HAYES, 1999).

Efeito Fickler - Efeito de tremulação, em um tubo a vácuo, pequenas variações na corrente anódica que se supõe serem provocadas pela emissão de íons positivos pelo cátodo (GARDINI G; LIMA, 1982).

Eletrônica de potência - *Power electronics involves the study of electronic circuits intended to control the flow of electrical energy. These circuits handle power flow at levels much higher than the individual device ratings* (RASHID, 2011).

Falta - Em um circuito elétrico é caracterizada por qualquer falha que interfira no fluxo de corrente deste circuito. (GRAINGER; STEVENSON; SOUSA, 1996).

Falta (permanente ou temporária) - As faltas temporárias são, na sua grande maioria, devido à ocorrência de descargas atmosféricas sobre o sistema elétrico, as quais não resultam em danos permanentes no sistema de isolamento. O sistema pode ser restabelecido tão rápido quanto o tempo de eliminação de falta pelos equipamentos de proteção. Já as faltas permanentes são causadas por danos físicos em algum elemento de isolamento do sistema. É necessária a intervenção da equipe de manutenção da rede elétrica (CARVALHO, 2010).

Faltas fase-terra - Tipo de falta de curto-circuito que ocorre entre um das fases e a terra (CARVALHO, 2010).

Fonte - É um gerador de tensão ou corrente capaz de fornecer energia a um circuito (DOR C. F.; SVOCABA, 2008).

Fontes chaveadas - Uma fonte chaveada, switched mode power supply, é um conversor CC-CC com uma entrada de tensão não regulada e uma saída de tensão regulada (FIGINI, 2002).

Frequência fundamental - A menor frequência que um cristal pode vibrar eficazmente e produzir uma saída. Esta frequência é dependente do material da constante K do cristal e de sua espessura t onde. $f = K/t$ (B., 2007).

Fusíveis - Um dispositivo fusível é um dispositivo de proteção que, pela fusão de uma parte especialmente projetada, abre o circuito no qual se acha inserido e interrompe a corrente, quando esta excede um valor de referência durante um tempo especificado (COTRIM, 2005).

Impedância - *The impedance Z of a circuit is the ratio of the phasor voltage V to the phasor current I, measured in ohms* (ALEXANDER, 2003).

Interrupção sustentada - Considera-se como sendo uma interrupção sustentada o decréscimo a zero do valor RMS da tensão durante um intervalo de tempo que ultrapasse 1 minuto (JUNIOR, 2009).

Lógica Fuzzy - A lógica fuzzy é a lógica baseada na teoria dos conjuntos fuzzy. Ela difere dos sistemas lógicos tradicionais em suas características e seus detalhes. Nesta lógica, o raciocínio exato corresponde a um caso limite do raciocínio aproximado, sendo interpretado como um processo de composição de relações nebulosas. Na lógica fuzzy, o valor verdade de uma proposição pode ser um subconjunto fuzzy de qualquer conjunto parcialmente ordenado, ao contrário dos sistemas lógicos binários, onde o valor verdade só pode assumir dois valores: verdadeiro (1) ou falso (0) (GOMIDE C. A. F; GUDWIN, ???).

Motores de indução - Os motores de indução funcionam velocidade praticamente constante abaixo da velocidade síncrona, e variam ligeiramente com a carga mecânica aplicada ao eixo. Devido à sua robustez e ao baixo custo, são os motores mais utilizados, principalmente os tipos gaiola e são adequados para a maioria dos encontrados da indústria (COTRIM, 2005).

Potência - Taxa com qual a energia é fornecida ou absorvida (DOR C. F.; SVOCABA, 2008).

Queda de tensão - *The definition of voltage drop is the voltage difference between any two points of circuit or conductor, due to the flow of current* (LOCKE, 2008).

RNA - A expressão *rede neural* é motivada pela tentativa destes modelos imitarem a capacidade que o cérebro humano possui de reconhecer, associar e generalizar padrões. Trata-se de uma importante técnica estatística não-linear capaz de resolver uma gama de problemas complexos. Isso torna o método extremamente útil quando não é possível definir um modelo explícito ou uma lista de regras. Em geral, isso acontece em situações em que o ambiente dos dados muda muito. As principais áreas de atuação são para a classificação de padrões e previsão (VELLASCO, 2007).

Regime permanente - É o intervalo de tempo da leitura de tensão, onde não ocorrem distúrbios elétricos capazes de invalidar a leitura, definido como sendo de 10 (dez) minutos (???, ???).

Religadores automáticos - São equipamentos de interrupção da corrente elétrica dotados de uma determinada capacidade de repetição em operações de abertura e fechamento de um circuito, durante a ocorrência de um defeito (FILHO, 2005).

Resistência - Propriedade física de um componente ou dispositivo que se opõe à passagem de corrente elétrica, é representada pelo símbolo R (DOR C. F.; SVOCABA, 2008).

Retificadores - São circuitos pertencentes a uma fonte de alimentação que permite que a corrente circule em apenas um sentido. Esses circuitos convertem a forma de onda CA na entrada em uma forma de onda pulsante CC na saída (B., 2007).

Retificação de meia onda - Um circuito que contém um retificador com apenas um diodo em série com um resistor de carga. A saída é uma tensão retificada em meia onda (B., 2007).

Sistema Computacional (Computer System) - *A System that (a) consists of one or more computers and associated software, (b) uses common storage for (i) all or part of a computer program and (ii) all or part of the data necessary for the execution of the program, (c) executes user-written or user-designated programs, (d) performs user-designated data manipulation, including arithmetic and logical operations, (e) may execute programs that modify themselves during their execution, and (f) may be a standalone system or may consist several interconnected systems. Synonym Computing System* (WEIK, 2000).

Sistema Neurofuzzy - O termo *neurofuzzy* refere-se à combinação de RNAs e *Fuzzy Inference System*, resultando em um sistema inteligente híbrido que potencializa as características destes dois importantes paradigmas (JACINTHO, 2010).

Sobretensões - define-se como sendo sobretensões sustentadas o acréscimo da ordem de 1,1 a 1,2 pu da tensão eficaz, à frequência da rede, sustentada por um intervalo de tempo superior a 1 minuto (JUNIOR, 2009).

Subtensões - Podem-se definir as subtensões sustentadas como a redução para valores entre 0,8 a 0,9 pu da tensão eficaz, à frequência da rede, sustentada por um intervalo de tempo superior a 1 minuto (JUNIOR, 2009).

Tensão - A tensão entre os terminais de um componente é o trabalho (energia) necessário (a) para transformar uma unidade de carga positiva no terminal - para o terminal +. A unidade de tensão é o volt (DOR C. F.; SVOCABA, 2008).

Tensões Trifásicas - São compostas de três fases, essas tensões possuem amplitude é igual e estão fora de fase em relação as outras em 120° (ALEXANDER, 2003).

Torque - É definido como a tendência do acoplamento mecânico (de uma força e sua distância radial ao eixo de rotação) para produzir rotação (FITZGERALD; KINGSLEY; UMANS, 1993).

Transformadores - O transformador opera segundo o princípio da indução mútua entre duas (ou mais) bobinas ou circuitos indutivamente acoplados, ou seja, é um dispositivo estático que transporta energia elétrica, por indução eletromagnética, da bobina primária (entrada) para a secundária (saída) (FITZGERALD; KINGSLEY; UMANS, 1993).

Transformadores de tap variável - Muitos transformadores utilizados em sistemas elétricos de potência possuem uma tomada, denominada tap. Um transformador com tap variável tem a relação entre as espiras variável em relação ao valor nominal para compensar variações das tensões no sistema (FERREIRA, 2011).

Valor eficaz - É também denominado valor quadrático médio ou RMS é uma medida estatística da magnitude de uma quantidade variável de dados para um intervalo igual ao período T (?).

REFERÊNCIAS

ABREU, J. P. e. a. **Seminário Brasileiro da Qualidade da Energia Elétrica**. Uberlândia: Revista Controle e Automação., 1996. 1-5p. v.1. Anais. Uberlândia: Reflexões sobre qualidade de energia. Elétrica, 1996.

ALEXANDER, C. **Fundamentos de Circuitos Eletricos**. 3ª.ed. Porto Alegre: Bookman Companhia Ed., 2003. 857p.

ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST): Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica**. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1877>. Acessado em: 10 out. 2012.

ANEEL, Homepage Institucional. Apresenta informações gerais sobre a instituição. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=636&idPerfil=3&idiomaAtual=0>>. Acesso em: 10 out. 2012.

ANEEL, Resolução ANEEL n. 505, de 26 de novembro de 2001. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, 27 nov. 2001, seção 1, p. 16. Republicada *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, de 16 jan. 2004, seção 1, p. 43.

ANNEE, Eficiência Energética. Contém informações sobre o Programa de Eficiência Energética (PEE). Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=27>>. Acesso em: 27 nov. 2012.

ANNEE, Qualidade do Serviço e do Produto. Contém informações específicas sobre os índices de QEE. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=79&idPerfil=2>>. Acesso em: 10 out. 2012.

ANTONIO, F. de. **Electrotecnia: Fundamentos de ingeniería eléctrica**. 16.ed. Madrid, Espanha: Universidad Pontificia Comillas, 2003. ((Colección ingeniería)).

B., M. P. L. B. J. **Eletrônica Volume 1**. 7ª.ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2007. v.1.

BACK, J. **Desenvolvimento de um Sistema Embarcado voltado ao Gerenciamento da Energia Elétrica em Sistemas Industriais**. 2011. 46p. — Dissertação (Pós-Graduação em Sistemas e Processos Industriais (PPGSPI) - Mestrado) – Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC, Santa Cruz do Sul, 2011.

BARNES, R. P. **Electric Utility Experience Industry with Geomagnetic Disturbances**. Disponível em: <<http://www.ornl.gov/~webworks/cpr/v823/rpt/51089.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2012.

CABRAL, J. R. **Análise Numérica de Curto Circuito Utilizando Componentes Simétricas e Componentes de Fases para obter Índices de Afundamentos de Tensão**. 2010. 152p. — Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2010.

CARVALHO, L. P. **Uma contribuição ao estudo da Depressão de Tensão**. 2010. 134p. — Dissertação – Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI, Itajubá, Itajubá, 1997.

COTRIM, A. M. B. A. **Instalações elétricas**. 5ª.ed. São Paulo: Pearson, 2005.

DELMONT, O. F. **Utilização da Transformada de Wavelet para Caracterização de Distúrbios Qualidade da Energia Elétrica**. 2003. 209p. — Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - USP, São Carlos, 2003.

DOR C. F.; SVOCABA, A. J. **Instalações elétricos**. 7ª.ed. Rio de Janeiro: GEN, 2008.

DUGAN, R. C. e. a. **Electrical Power Systems Quality**. 2ª.ed. New York: McGraw-Hill, 1996.

ELETOBRAS, Oportunidades de Eficiência Energética para a Indústria. 61p. Estudos de caso: sumário executivo, Brasília: CNI, 2010. p. 61. (Relatório 25) Disponível em: <<http://www.eletobras.com/pci/main.asp>>.

FEREIRA, D. D. **Análise de Distúrbios Elétricos em Sistemas de Potência**. 2010. 223p. — Dissertação (Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica (COPPE) - Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.

FERNANDES, D. E. B. **Uma metodologia de gerenciamento da Qualidade da Energia Elétrica**. 1999. 133p. — Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC-MG, Belo Horizonte, 1999.

FERREIRA, A. C. **Novo Modelo de Transformador com Tap Variável em Regime Permanente**. 2011. — Dissertação (Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica PUC-Rio) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio., Rio de Janeiro, 2011.

FIGINI, G. **Eletronica Industrial: Circuitos e Aplicações**. Brasil: Hemus, 2002.

FILHO, J. **Manual de equipamentos elétricos**. 3ª.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005. 840p.

FITZGERALD, A.; KINGSLEY, C.; UMANS, S. **Máquinas Elétricas: Com Introdução à Eletrônica de Potência**. 9.ed. São Paulo: Globo Editora, 1993.

GARDINI G; LIMA, P. N. **Dicionário de eletrônica Inglês/Português**. 2ª.ed. Brasil: Hemus, 1982.

GOMIDE C. A. F; GUDWIN, R. R. **Modelagem, Controle, Sistemas e Lógica Fuzzy**. 115p. Disponível em: <<ftp://ftp.dca.fee.unicamp.br/pub/docs/gudwin/publications/RevSBA94.pdf>>. Acessado em: 24 nov. 2012.

GRAINGER, J.; STEVENSON, W.; SOUSA, C. **Análisis de sistemas de potencia**. Ciudad de México: McGraw-Hill, 1996.

HAYES, M. **Schaum's outline of theory and problems of digital signal processing**. Porto Alegre: McGraw Hill, 1999. 466p. (Schaum's outline series).

IEEE STANDARDS BOARD, 1995, USA. **Anais...** [S.l.: s.n.], 1995. IEEE std 1159 - 1995 - Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality.

INEE, Instituto Nacional de Eficiência Energética.

JACINTHO, O. F. L. **Redes Neuro-Fuzzy: Um Estudo de Caso em Diagnóstico de Alzheimer**. Santo André, 2010: Monografia (Bacharel em Ciência da Computação, Centro de Matemática, Computação e Cognição - CMCC). Universidade Federal do ABC - UFABC. Santo André, 2010. Disponível em: <http://bcc.ufabc.edu.br/docs/proj%20graduacao_LuisFernando.pdf>. Acessado em: 24 nov. 2012. (53).

JUNIOR, H. A. O. **Desenvolvimento de uma Metodologia para Identificar e Quantificar Distúrbios da Qualidade da Energia Elétrica**. 2009. 188p. — Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2009.

LOCKE, D. Guide to the wiring regulations 17th edition IEE wiring Regulations. In: IEE WIRING REGULATIONS, 2008, USA. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2008. v.17.

MELO, M. O. B. C. de. Avaliação do impacto da qualidade de energia elétrica na produção industrial: proposta de metodologia. **Revista Produto E Produção**, [S.l.], v.9, p.15–25, 2008. Disponível em <<http://seer.ufrgs.br/ProdutoProducao/article/download/4092/3870>>.

MODENESI, P.; MARQUES, P.; BRACARENSE, A. **Soldagem - fundamentos e tecnologia**. 3ª.ed. Belo Horizonte: UFMG, 2009.

NBR 5419. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.faaesp.edu.br/publicacoes/NBR-5419.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2012.

RASHID, M. **POWER ELECTRONICS HANDBOOK**. 3ª.ed. USA: Elsevier Science, 2011. 1362p.

ROEL, O. J. **Acoplamento de Conversores Estáticos com malha de controle e Dispositivos Eletromagnéticos Não-Lineares**. [S.l.]: Revista Controle e Automação., 2002. v.13. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ca/v13n1/a09v13n1.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2012.

SANTOS, M. V. **Estudo de Caso de Curto-Circuito em um Sistema Elétrico Industrial**. São Carlos, 2009: Trabalho de Conclusão de Curso (Escola de Engenharia de São Carlos - Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - USP, 2009. (131).

- SILVA, A. da. **Introdução à Análise de Dados**. Rio de Janeiro: Editora E-papers, 2009. 158p.
- SISTEMA DE CONSULTORIA DE QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA, 2009. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2009.
- SMITH L. R; HERMAN, L. S. **Electrical Wiring Industrial**: Based on the 2005 National Electric Code. 12^a.ed. New York: Cengage Learning, 2004. 266p.
- SOLA A. V. H.; KOVALESKI, J. L. **Eficiência energética nas indústrias**: cenários E oportunidades. Florianópolis: ENEGEP, 2004. 1-5p. v.14. Anais do XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP) e X International Conference on Industrial Engineering and Operations Management.
- SOUZA, A. F. **Deteção de Falhas em Sistema de Distribuição de Energia Elétrica Usando Dispositivos Programáveis**. 2008. 119p. — Dissertação (Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Elétrica - Mestrado) – UNESP, Ilha Solteira, 2008.
- VELLASCO, B. R. M. M. **Redes Neurais Artificiais**. 37p. Disponível em: <<http://www.ica.ele.puc-rio.br/Downloads/%5C33/ICA-introdu%C3%A7%C3%A3o%20RNs.pdf>>. Acessado em: 24 nov. 2012.
- WEIK, M. **Computer Sciencie and Communications Dictionary**. [S.l.]: Springer, 2000. 205p.