



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira
Departamento de Engenharia Elétrica
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

“CONTRIBUIÇÕES PARA AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS
ECONÔMICOS CAUSADOS POR MERGULHO DE
TENSÃO EM SISTEMA ELÉTRICO INDUSTRIAL”

NILZA ALVES CANGUÇU

PROF. DR. LUÍS CARLOS ORIGA DE OLIVEIRA
Orientador

Dissertação submetida à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título **de Mestre em Engenharia Elétrica**.

Ilha Solteira-SP, Fevereiro de 2006.

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação/Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP-Ilha Solteira

C222c	<p>Canguçu, Nilza Alves.</p> <p>Contribuições para avaliação dos impactos econômicos causados por mergulho de tensão em sistema elétrico industrial / Nilza Alves Canguçu. – Ilha Solteira : [s.n.], 2006 78 p. : il.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2006</p> <p>Orientador: Luís Carlos Origa de Oliveira Bibliografia: p. 77-78</p> <p>1. Indústria – Consumo de energia elétrica. 2. Energia – Indústria. 3. Energia elétrica – Medição.</p>
-------	--

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: CONTRIBUIÇÕES PARA AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS ECONÔMICOS CAUSADOS
POR MERGULHO DE TENSÃO EM SISTEMA ELÉTRICO INDUSTRIAL

AUTORA: NILZA ALVES CANGUÇU

ORIENTADOR: Prof. Dr. LUIS CARLOS ORIGA DE OLIVEIRA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em ENGENHARIA
ELÉTRICA pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. LUIS CARLOS ORIGA DE OLIVEIRA

Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. KLEIBER DAVID RODRIGUES

Departamento de Engenharia Elétrica / Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Dr. JOSE CARLOS ROSSI

Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Data da realização: 22 de fevereiro de 2006.


Presidente da Comissão Examinadora
Prof. Dr. LUIS CARLOS ORIGA DE OLIVEIRA

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo de lindo e maravilhoso que acontece em minha vida.

Aos meus pais, Domingos Canguçu e Leonice Alves de Oliveira, sem os quais seria impossível chegar até aqui.

Ao meu orientador, Dr. Luís Carlos Origa de Oliveira, pela sua disposição e atenção a mim dispensada.

Ao professor Dr. José Carlos Rossi um agradecimento especial por não medir esforços para que esse trabalho fosse concluído.

A todos os meus amigos que me ajudaram nesta difícil caminhada.

A todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

“Por mais profunda que nos pareça a queda, ou por mais dura que tenha sido a dificuldade, agora pode ser o momento de retorno e de elevação a um pico ainda mais alto, para alma que não se deixa abater”

Marie Murakami

RESUMO

Perturbações no suprimento de eletricidade podem originar mau funcionamento de equipamentos que dependem de atividades elétricas. A hora da ocorrência, a duração, repetição e previsibilidade devem ser consideradas. Em horários de produção máxima pequenas falhas passam a representar grandes prejuízos.

Esta pesquisa pretende obter um valor mais próximo possível da realidade dos custos decorrentes das falhas no setor industrial, buscando chegar a um valor agregado à economia do estado de Mato Grosso do Sul. A análise direta quantifica as perdas econômicas causadas por interrupções e afundamentos de tensão provocados por distúrbios no sistema, principalmente curtos-circuitos. A contabilização das falhas no sistema elétrico foi realizada a partir de medições em pontos de controle da indústria Avanti, instalada no município de Três Lagoas-MS.

O mapeamento do ambiente quanto à incidência de afundamento de tensão se baseia na norma americana IEEE Standard 1346, que associa os aspectos técnicos e financeiros na análise da compatibilidade dos equipamentos de processos com a rede elétrica que os alimenta. Os riscos de impactos para os consumidores são analisados a partir das normas sul-africanas NRS-048 e americana IEEE Standard 446.

Os indicadores da pesquisa revelam que a operação com carga mais elevada aumenta a incidência dos afundamentos de tensão. Os afundamentos e os curtos-circuitos que os provocam ocorrem em locais e situações extremamente variáveis. Torna-se importante o conhecimento do ambiente da empresa quanto à incidência de faltas para possibilitar uma análise prévia, por meio da qual seja possível especificar adequadamente

os equipamentos a serem instalados propiciando melhorias no desempenho dos sistemas de proteção e controle e no isolamento rápido da área onde houve a falta.

O consumidor precisa ser mais bem orientado sobre a vulnerabilidade ao fenômeno de afundamento de tensão para evitar prejuízos nos equipamentos diminuindo assim, a preocupação com a compatibilidade entre equipamentos, novas tecnologias e a rede elétrica em que serão conectados e mesmo quanto à qualidade e confiabilidade do sistema elétrico.

ABSTRACT

Disturbances in power distribution show bad equipment performance that depends of electrical activities. We should consider time occurrence duration, repetition and previsibility.

At certain times few consumers are affected although for industrial processes working the whole day this can be a time of full production, since energy rates are lower and small disturbances in power distribution can represent great economic losses.

This research intends to access the most real cost value from voltage variation, and to find an aggregated value to the southeastern economy in Mato Grosso do Sul.

The direct analysis accounts the economic losses due to interruptions and voltage sags caused by system disturbances, mainly short-circuits.

The electric energy system voltage sags considered was based on measurements at the network connection points in Avanti industry, installed in Três Lagoas, Mato Grosso do Sul.

The consideration of sags incidence was based on the American IEEE Standard 1346, which relates the technical and financial aspects and compatibility analysis of the process equipment with the feeding electrical network.

The consumers impact risks are analysed by the South African NR048 and the American IEEE Standard 446. Indicators in the research show that load operation increases sags incidence. Voltage sags and short-circuits that caused them occur in variable places and situations.

The environment sags incidence knowledge allows a better project of the new system customers, allowing a previous analysis and adequate specification of the equipment required to be installed.

The power supplier offers the protective and control system performance improvement with a quick isolation of the area where the sag is located.

The consumer should be well informed on voltage sag vulnerability to avoid equipment economic losses, avoiding also concerning with compatibility analysis in the process equipment, new technologies and electrical connected net should be very strong in order to offer energy quality to the consumer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Capacidade produtiva industrial	17
Figura 2 - Situação de comprometimento das indústrias	17
Figura 3 - Setor Textil: parque fabril está perto do limite para atender a demanda	18
Figura 4 - Afundamento de Tensão	32
Figura 5 - Interseção de duas áreas de vulnerabilidade para identificação da origem da falta	34
Figura 6 - Início dos afundamentos de tensão, exemplificados para faltas na rede básica. Medições em 230 kV (tensão e corrente da fase “A”) e em 69 kV (tensões nas três fases para curto-circuito monofásico)	36
Figura 7 - a) Perfil dos afundamentos em pontos de medição em 230 kV, que alimentam consumidores industriais, monitorados ao longo de 1 ano – Local 1	38
Figura 7 - b) Perfil dos afundamentos em pontos de medição em 230 kV, que alimentam consumidores industriais, monitorados ao longo de 1 ano – Local 2	38
Figura 8 - Curvas de tolerância para relês de controle AC (valores mínimo, médio e máximo) típicas, segundo norma IEEE Std 1346 (1998)	48
Figura 9 – Curvas de tolerância dos vários afundamentos do processo, segundo norma IEEE Std 1346 (1998)	50

Figura 10 – Perdas nos setores industriais devido ao afundamento de tensão	53
Figura 11 – Falhas no produto devido ao afundamento momentâneo de tensão	54
Figura 12 – Diagrama do processo de fios de microfibrã	54
Figura 13 – Número de horas perdidas por afundamento de tensão	67
Figura 14 – Gráfico de qualidade	67
Figura 15 – Resultados da fábrica	68
Figura 16 – Fluxo de Caixa na Análise do Custo-Benefício quando são instalados equipamentos para mitigação	70
Figura 17 – Sugestão de possível método de mitigação	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Impacto da confiabilidade na restrição de preço	29
Tabela 2 - Regiões de agregação dos afundamentos segundo a norma NRS-048 (1996)	39
Tabela 3 - Agregação dos afundamentos em 230 kV segundo faixas definidas na norma NRS-48 (1996)	41
Tabela 4 - Agregação dos afundamentos em 230 kV segundo faixas definidas na norma NRS-48 (1996)	41
Tabela 5 - Agregação dos afundamentos em 230 kV segundo faixas definidas na norma NRS-48 (1996)	42
Tabela 6 - Agregação dos afundamentos em 230 kV segundo faixas definidas na norma NRS-48 (1996)	42
Tabela 7 - Agregação dos afundamentos em 230 kV segundo faixas definidas na norma NRS-48 (1996)	43
Tabela 8 - Agregação dos afundamentos em 230 kV segundo faixas definidas na norma NRS-48 (1996)	43
Tabela 9 - Agregação dos afundamentos em 230 kV segundo faixas definidas na norma NRS-48 (1996)	44
Tabela 10 - Agregação dos afundamentos em 230 kV segundo faixas definidas na norma NRS-48 (1996)	44

Tabela 11 - Agregação dos afundamentos em 230 kV segundo faixas definidas na norma NRS-48 (1996)	45
Tabela 12 - Agregação dos afundamentos em 230 kV segundo faixas definidas na norma NRS-48 (1996)	45
Tabela 13 - Agregação dos afundamentos em 230 kV segundo faixas definidas na norma NRS-48 (1996)	46
Tabela 14 - Agregação dos afundamentos em 230 kV segundo faixas definidas na norma NRS-48 (1996)	46
Tabela 15 – Custo devido a Interrupções Momentâneas	53
Tabela 16 – Equipamentos para proteção total no lado interno da Industria e seus respectivos custos	72

SUMÁRIO

CAPITULO I: INTRODUÇÃO	16
1.1 - Considerações Iniciais	16
CAPITULO II: A INFLUÊNCIA DA ENGENHARIA ELÉTRICA NA SUSTENTAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL	21
2.1 - Considerações Iniciais	21
2.2 - Preço e Qualidade	25
2.3 - Custo da Confiabilidade Repassado aos Preços	27
2.3.1 – Análise Teórica do Impacto da Confiabilidade na Restrição de Preços	28
2.4 – Conclusão	30
CAPÍTULO III: ORIGENS E CONSEQUÊNCIAS DOS AFUNDAMENTOS DE TENSÃO (SAG)	31
3.1 - Considerações Iniciais	31
3.2 - Características e Definições do Afundamento de Tensão (SAG)	31
3.3 - Origem dos Afundamentos e Áreas de Vulnerabilidade	32
3.3.1 - A natureza das Falhas	34
3.4 - Características dos Afundamentos Monitorados	35
3.5 - Propagação dos Afundamentos e Natureza Dinâmica das Variações	36
3.5.1 - Quantificação dos Afundamentos	37
3.5.2 - Duração da Amplitude	37
3.6 - Classificação dos Afundamentos Segundo as Normas Internacionais	38
3.6.1 - Normas Sul-Africanas NRS – 048 (1996)	39
3.6.2 - Normas IEE Std. 446 (1995) e IEE 1346 (1998)	47
3.7 - Compatibilidade com os Equipamentos Industriais	48
3.7.1 - Tolerância de vários Componentes Industriais	49

3.8 – Conclusão	50
CAPÍTULO IV: ANÁLISE DOS PREJUÍZOS CAUSADOS PELOS SAGs EM UMA INDUSTRIAS TÊXTIL DO ESTADO DO MATO GROSSO DO SUL	52
4.1 - Considerações Iniciais	52
4.2 - Prejuízos devido aos Afundamentos de Tensão (SAG)	52
4.3 - Fabricação de Fios de Micro Fibra – Descrição do Processo	54
4.4 - Inconvenientes das Paradas Momentâneas	55
4.5 - Análise Econométrica	55
4.5.1 - Análise Global	55
4.5.2 - Análise Detalhada	56
4.5.3 - Análise Direta	57
4.5.3.1 - Vantagens do Método Direto	57
4.5.3.2 - Desvantagens do Método Direto	58
4.6 - Modelagem Matemática	58
4.6.1 - Custo da falha buscando o bem-estar da população	59
4.6.2 - Metodologia de composição dos custos	60
4.7 - Questionário Utilizado na Indústria Têxtil Avaliada	62
4.8 – Conclusão	68
CAPÍTULO V: ANÁLISE DE CUSTO-BENIFÍCIO DE AFUNDAMENTO DE TENSÃO “MÉTODO DE MITIGAÇÃO NA INDÚSTRIA TÊXTIL	69
5.1 - Análise Econômica dos Métodos de Mitigação	69
5.2 - Métodos de Mitigação	71
5.2.1 - Soluções Possíveis	71
5.2.2 - Sistema de Proteção Interna da Indústria	72
5.2.3 - Soluções no Processo Industrial	73
5.3 – Conclusão	74

CAPÍTULO VI: CONCLUSÕES	75
6.1 - Considerações Gerais	75
6.1 - Sugestões de Continuidade do Trabalho	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O crescimento da economia brasileira até agora superou as expectativas do início do ano de 2004. A produção industrial vem aumentando em um ritmo ainda maior do que a média da economia. As vendas reais medidas pela Companhia Nacional de Indústria (CNI), em junho de 2004, foram 27,7% maiores do que no ano anterior; ainda que esse crescimento tenha se dado sobre uma base muito deprimida, de quase um ano com quedas acumuladas, ninguém tem dúvidas de que estamos num período de bonança. A CNI chegou a rever para cima a previsão de aumento do Produto Interno Bruto (PIB) em 2004 de 4% para 4,5%.

No Brasil é preciso cuidado, porém, ao comemorar o crescimento. São muitos os exemplos históricos de momentos de empolgação econômica sucedidos por estagnação e nem é preciso ir tão longe para tal constatação: o crescimento nos anos de 1999 e 2000 foi surpreendente para quem esperava uma longa crise depois da desvalorização do real diante do dólar. Mas logo em seguida, a produção do país esbarrou no limite da geração de energia veio o racionamento e a queda na taxa de expansão do PIB. Os reservatórios das hidrelétricas estão bem mais cheios do que em 2001 e não há sinal de que vá faltar energia em breve.

As indústrias estão trabalhando muito próximas da capacidade plena, o que é preocupante, alerta a Universidade Estadual de Campinas (Unicamp):



Figura 1 - Capacidade produtiva industrial

De acordo com dados da CNI, as indústrias estão usando, em média, 83% da capacidade total de produção, conforme mostra a Figura 1. Como isso é a média, muitas fábricas já bateram no teto dos 26 setores industriais acompanhados pelo Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE); oito estão no nível máximo de produção nos últimos cinco anos e outros oito estão com folga igual ou inferior a 5%. Segundo a Unidade de Política Econômica da CNI, os setores que estão em situação menos preocupante são os que dependem basicamente da demanda interna: bebidas, vestuário, calçados, produção editorial e fármacos.

Os setores mais preocupantes são os de madeira, o têxtil e o de máquinas e equipamentos, como mostra a Figura 2.

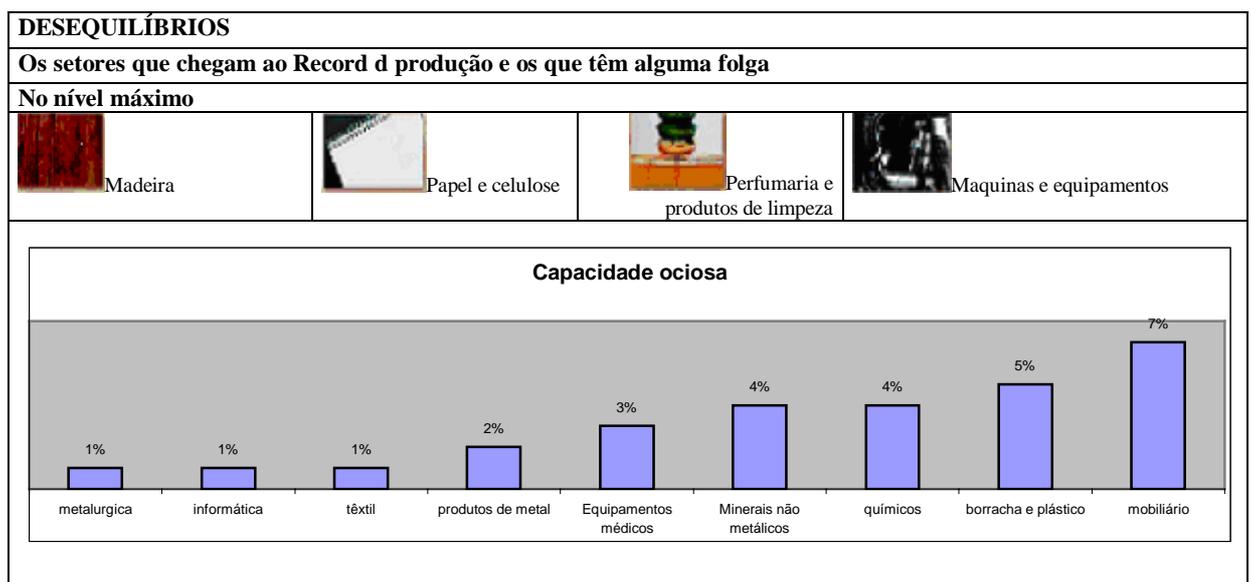


Figura 2 - Situação de comprometimento das indústrias.



Figura 3 - Setor Têxtil: parque fabril está perto do limite para atender a demanda.

Diante dos aspectos anteriormente citados, a indústria deve buscar uma eficiência energética de maneira a não ter sua produção prejudicada por fenômenos do sistema elétrico de alimentação.

Em alguns ramos de atividade, como as indústrias têxteis, os impactos econômicos da qualidade da energia são enormes. Nestes setores, uma interrupção elétrica de até 1 minuto pode ocasionar prejuízos de até US\$ 500 mil. Diante deste potencial de prejuízos possíveis, fica evidente a importância de uma análise e diagnóstico da qualidade da energia elétrica, no intuito de determinar as causas e as consequências dos distúrbios no sistema, além de apresentar medidas técnica e economicamente viáveis para solucionar o problema [1, 2, 3].

Indústrias com processos contínuos possuem, fundamentalmente, a características de manterem as instalações com operação contínua representam uma relação custo inicial/tempo substancial no processo de produção. Se a produção é rompida, a perda do produto, bem como a baixa produtividade, podem criar uma perda financeira muito grande [4].

As variações de tensão de curta duração podem ser caracterizadas por alterações instantâneas, momentâneas ou temporárias. Tais variações de tensão são, geralmente, causadas pela energização de grandes cargas que requerem altas correntes de partida, ou por intermitentes falhas nas conexões dos cabos de sistema. Dependendo do local da falha e das condições do sistema, o resultado pode ser uma queda de tensão temporária, uma elevação de tensão, ou mesmo uma interrupção completa do sistema elétrico.

Chama-se interrupção de curta duração quando a tensão de suprimento cai para um valor menor que 0,1 pu por um período de tempo não superior a 1 minuto, o que geralmente

ocorre por faltas no sistema de energia, falhas de equipamentos e mal funcionamento de sistemas de controle. Algumas interrupções podem ser precedidas por um SAG quando ocorrem devidas a faltas no sistema supridor. O SAG ocorre no período de tempo entre o início de uma falta e a operação do dispositivo de proteção do sistema [5].

Alguns trabalhos como o de [1], descrevem a importância do problema de afundamento de tensão em indústrias têxteis e possíveis métodos de mitigação. Dependendo da linha produção do fabricante, estes métodos se tornam economicamente interessantes, logo é necessária uma análise de custo-benefício. Neste artigo os autores descrevem o tamanho do problema do afundamento de tensão neste tipo indústria e as medidas tomadas pelos fabricantes para mitigar o afundamento de tensão.

Os processos industriais com dispositivos com velocidade variável são vulneráveis ao afundamento de tensão (SAG).

A extrusão de poliéster na indústria têxtil é um processo frequentemente mencionado como sendo extremamente sensível [6].

O processo produtivo destas indústrias utiliza máquinas de texturização, cujos sistemas de controle e acionamento são baseados no uso de Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) e Acionamentos a Velocidade Variável (AVV), com controle individual através de unidades microprocessadas, respectivamente. A lógica dos CLPs apresenta disfunções e os AVVs, além de apresentarem disfunções lógicas em seus controles, não conseguem manter a estabilidade de velocidade dos motores. As consequências são perdas na qualidade do produto e interrupções no processo produtivo, com grande tempo de reinicialização de operação [7].

Embora existam muitas formas de se classificar o custo devido a um processo de interrupção, alguns componentes se distinguem segundo [1], tais como:

a) Custos dependentes conjunturais. Esta categoria compreende custos que variam com volume de produção no período de afundamento. Se uma fábrica está produzindo continuamente com sua capacidade total, a perda de produção, durante uma falha, não pode ser repostada. O custo dependente conjuntural neste caso é a perda total do consumo menos o custo variável salvo por causa da matéria-prima não usada e a energia. Em todos os outros casos, quanto à perda de produção pode ser avaliada, somente, alguns custos adicionais tais como mão-de-obra pode se enquadrar nesta categoria.

b) Custo independente conjuntural: alguns custos ocorrem independente do volume de produção durante o afundamento. Estes custos incluem custo de limpeza, maquinário danificado e custos iniciais.

Este trabalho abrange uma análise dos problemas associados aos distúrbios de afundamentos de tensão (SAG), no município de Três Lagoas, estado de Mato Grosso do Sul, após a implantação de modernas indústrias têxteis em especial a indústria têxtil Avanti.

CAPÍTULO II

A INFLUÊNCIA DA ENERGIA ELÉTRICA NA SUSTENTAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL

2.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A escassez de energia elétrica repercutia, já na primeira metade do século passado, no panorama industrial e sócio-político do país. Essa escassez suscitou reações diferenciadas por parte dos empresários do setor e induziu as indústrias existentes a apelarem para o uso de motores diesel ou incrementarem a autopromoção de energia elétrica.

Em um artigo publicado na década de 1950, Aldo Mario Azevedo, que assumiria, em 1953, o cargo de diretor do Centro das Indústrias de São Paulo, assinalou que, diante da falta de energia elétrica, o comportamento mais simples dos industriais que dispunham de capitais próprios, seria o de construir suas próprias usinas hidro e termelétricas, assegurando assim, embora por preço mais alto, um fornecimento ininterrupto de energia para as suas atividades manufactureiras. A autopromoção deve ser vista, no entanto, naquela conjuntura, com uma medida paliativa e individual, certamente eficaz, mas de impacto limitado no conjunto da economia do país [8].

A crise de energia elétrica, que atingiu o país na época favoreceu o amadurecimento da idéia, principalmente entre as lideranças empresariais e os representantes da burocracia estatal, de serem adotadas medidas mais globais, destinadas não só a solucionar a questão energética, mas também os problemas estruturais que emperravam o deslanchar do desenvolvimento econômico do país [9].

A criação do Conselho Nacional de Política Industrial e Comercial (CNPIC), em 1943, teve como objetivo organizar um programa de política econômica para o país. Os Congressos Econômicos organizados pelas primeiras associações empresariais, como a Associação Comercial, a Confederação Nacional da Indústria e a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, entre 8 e 18 de dezembro de 1944, fomentaram as discussões sobre a questão do planejamento econômico para o Brasil.

Nestes congressos a energia elétrica foi considerada como uma das bases essenciais para o desenvolvimento da indústria, capaz de incentivar a mecanização dos meios de produção e de extração de matérias-primas, se fornecida de modo abundante e barato. Os industriais, para tanto, recomendavam um aproveitamento mais radical das grandes fontes energéticas do país, assim como uma revisão na legislação em vigor, no sentido de favorecer o desenvolvimento das empresas de energia elétrica.

Em nível federal foi realizado um dos primeiros estudos referentes ao setor de energia elétrica por uma comissão do Conselho Federal do Comércio Exterior, que redundou no Plano Nacional de Eletrificação, publicado em 1947. Na esfera estadual, destacou-se o governo do Rio Grande do Sul, que em 1943 criou a Comissão Estadual de Energia Elétrica, destinada a elaborar um plano de eletrificação para o Estado, aprovado em 1945. Cabe ainda mencionar os estudos de missões estrangeiras que procuraram, também, traçar metas e programas para a expansão do setor de energia elétrica e o aumento da capacidade instalada do país ainda na década de 1940.

O setor privado estrangeiro, em especial o grupo Light, também agiu no sentido de aumentar a oferta de energia elétrica no país. Além de ampliar a capacidade instalada das usinas existentes, no eixo Rio - São Paulo, o grupo canadense construiu novas unidades geradoras em São Paulo tal como a usina subterrânea de Cubatão e a termelétrica de Piratininga. No Rio de Janeiro, a empresa obteve autorização para a realização de obras de desvio no Rio Paraíba e a construção da usina subterrânea de Nilo Peçanha, inaugurada em fins de 1953. Para a execução dessas obras, foi obtido um empréstimo externo de 90 milhões de dólares junto ao Banco Interamericano de Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD), com o aval do governo brasileiro, para a Brazilian Traction Light and Power que, por sua vez, o repassou às suas subsidiárias no Brasil, cobrando juros mais elevados, desencadeando uma série de críticas por parte dos defensores de uma indústria elétrica mais nacional [10].

O clima de fermentação de idéias desenvolvimentistas, relacionadas à industrialização e ao planejamento econômico, era propício à proliferação dessas práticas que, acima de tudo, revelavam a necessidade de um efetivo crescimento da oferta de energia elétrica e de uma melhor distribuição regional, exigências que implicavam em uma reordenação do quadro institucional, jurídico e financeiro do setor de energia elétrica, tarefa que seria realizada na década seguinte.

O desenvolvimento do setor elétrico brasileiro, a partir da década de 1960, baseou-se em estratégia formulada em níveis federal e estadual e na centralização do planejamento e financiamento do sistema. Esse modelo institucional e financeiro proporcionou a concentração do capital necessário para a construção de uma infra-estrutura de produção, transmissão e distribuição utilizando os potenciais hidrelétricos mais competitivos. As características técnicas (propiciando grande economia de escala), conjugadas com o crescimento e modernização da economia brasileira nas décadas de 1950 e 1960, levaram a uma situação de monopólio natural, acompanhada de uma ação reguladora do Estado.

A necessidade de aumentar a capacidade de geração de energia, paralelamente ao risco de desperdício no caso de mais de um investimento em redes numa mesma área geográfica e a necessidade de coordenação das diversas partes do sistema, contribuíram para fortalecer a concepção de que uma estrutura monopólica verticalizada seria a mais eficiente para o setor. Nessa concepção, o setor elétrico assumiu um caráter estratégico, sendo alvo da intervenção direta do Estado, que foi concretizada com a criação das Centrais Elétricas Brasileiras (ELETROBRÁS), em 1964. A ELETROBRÁS, e suas subsidiárias e as empresas concessionárias estaduais passaram a exercer simultaneamente funções de poder concedente de Estado e de empresa, criando um quadro institucional complexo, no qual a função empresarial freqüentemente era relegada a um plano secundário, com prejuízos para a sociedade.

A configuração do sistema elétrico, antes das mudanças institucionais, era baseada em três agentes de destaque: o Ministério de Minas e Energia (MME), as Centrais Elétricas Brasileiras S/A (ELETROBRÁS) e o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE). O MME era o órgão responsável pela elaboração das políticas globais referentes ao setor energético. O DNAEE atuava como regulador das atividades setoriais. A Eletrobrás atuava como holding das empresas estatais elétricas e repassadora de financiamentos setoriais.

Em 1973, por ocasião do primeiro choque do petróleo; o petróleo era o principal energético utilizado no Brasil, responsável por 43% da matriz energética brasileira e 78% do consumo nacional era importado. Apesar da importância e da magnitude desta crise, muito pouco foi feito para alterar a situação energética brasileira, tanto que, no período compreendido entre 1974 e 1979, o consumo de petróleo cresceu em média 6% ao ano, totalizando cerca de 30% de aumento no período [11].

No Brasil, durante o governo de Ernesto Geisel, no período imediato após o primeiro choque do petróleo, as principais iniciativas coordenadas de política energética adotadas, além do estabelecimento de contratos de risco para prospecção de petróleo sob solo nacional, aberto ao capital internacional, foram à criação do Pró-Álcool, em 1975, que objetivava o desenvolvimento de tecnologia para a fabricação de álcool anidro para ser misturado à gasolina e ao álcool hidratado como combustível alternativo; e o acordo nuclear assinado com a Alemanha, prevendo a instalação de oito centrais nucleares até 1990.

Até 1979, as questões energéticas eram concentradas apenas nas próprias empresas estatais gestoras da concessão de determinados energéticos. A direção estratégica do setor era orientada apenas pelas diretrizes de suas próprias gestões. Foi nesse ano que começou uma mudança de postura por parte do governo brasileiro que, na ocasião da implantação do II PND (Plano Nacional de Desenvolvimento), passou a considerar as questões energéticas como peças decisivas no contexto global da estratégia do desenvolvimento nacional, redirecionando o papel do Estado.

Entre 1981 e começo de 1983 houve nova alta nos preços do petróleo, alcançando US\$ 36 por barril. Foi o segundo choque do petróleo, que junto com o primeiro, constituem o pano de fundo do panorama energético mundial em nossos dias.

Os preços do petróleo voltariam a cair, chegando em 1986 a surpreendentes US\$ 10 por barril. Mas o caráter finito das reservas e a ameaça de novas altas nos preços exigiam que fossem desenvolvidas tecnologias mais econômicas.

Um dos desafios foi encontrar processos substitutivos e de melhoria de eficiência energética, visando reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, em particular do petróleo. Nesse contexto, foram testadas e implementadas diversas alternativas tecnológicas: geração nuclear utilizando energias renováveis (biomassa, solar, eólica, etc.) e melhoria da eficiência no uso e produção de eletricidade.

2.2 - PREÇO E QUALIDADE

Por muitos anos, as decisões de expansão dos sistemas elétricos se reduziam a identificar a melhor alternativa, sob o ponto de vista de investimentos e custos operacionais, para suprir a carga prevista e fornecer “adequada” confiabilidade e preço de eletricidade, requeridos para prover o nível de confiabilidade pré-definido. O planejamento da confiabilidade é baseado na experiência acumulada historicamente, por meio de critérios fundamentados mais na prática do que em teorias analíticas, caracterizando um procedimento eficiente sob o ponto de vista de engenharia.

É crescente a visão política e econômica sobre o planejamento e regulação de que investimentos em eletricidade devem ser baseados em cuidadosa avaliação de custos e benefícios.

Nas últimas duas décadas, cresce a percepção de que a provisão do alto nível de confiabilidade, verificado nos países desenvolvidos, é altamente custosa chegando a cerca de US\$ 400 bilhões por década nos Estados Unidos [2].

A percepção da confiabilidade para o consumidor não corresponde ao nível de confiabilidade proporcionado pelos índices tradicionais. Esforços têm sido feitos pela “indústria de eletricidade” em todo o mundo para relacionar os investimentos em confiabilidade com os benefícios marginais para o consumidor [12].

A maior dificuldade encontrada tem sido a falta de metodologias apropriadas de valoração destes benefícios.

Busca-se agora um entendimento correto e amplo dos impactos das falhas no suprimento sobre os consumidores para avaliar os níveis adequados de confiabilidade.

Metodologias teóricas [1,2,3] baseadas em abordagens sistemáticas e precisas, somente começaram a ser desenvolvidas nas últimas duas décadas e ainda são bastante limitadas em aplicações, mas permitem uma visão bem fundamentada da questão, relacionando os parâmetros envolvidos.

A proteção dos consumidores contra aumentos excessivos de preços seja fortemente considerada diante do processo de reestruturação do setor elétrico verificado em todo o mundo, que inclui privatizações e a possibilidade de formação de monopólios privados. O

foco nos preços, no entanto, não é o de excluir a qualidade do suprimento, porque “uma redução na qualidade do serviço é equivalente a um aumento no preço [13].

Se a empresa é forçada a absorver os aumentos de custos em detrimento dos lucros esperados, a tendência é minimizar estas perdas reduzindo custos operacionais, reposições e investimentos necessários, diminuindo o nível de confiabilidade. Neste caso, os consumidores estão protegidos dos aumentos de preços à custa de menor confiabilidade do sistema elétrico.

O papel da qualidade na chamada “price cap regulation”, por intermédio de modelos que permitem determinar a relação entre o controle de preços e a confiabilidade de suprimento de um monopólio privado. Duas situações são consideradas: uma na qual a confiabilidade é excluída da restrição de preços (price cap) e outra na qual é incluída [13].

Se a confiabilidade é excluída, ele mostra que há uma tendência da empresa defender seus lucros degradando a confiabilidade, uma vez que os aumentos de custos precisam ser absorvidos. Quando a confiabilidade é incluída esta tendência é neutralizada. Esta situação cria um incentivo para explorar a relação entre preço e confiabilidade, podendo o peso da confiabilidade ser ajustado na aplicação da fórmula que estabelece o limite de preço.

A perda da qualidade é definida como o prejuízo que certo produto causa à sociedade a partir do momento em que é liberado para venda [13].

Do ponto de vista do consumidor, o custo total do produto pode ser considerado como a soma das parcelas: preço de compra; custos e operação e manutenção; perdas devidas ao uso do produto.

Sob este ponto de vista, o custo total para o consumo seria o custo da energia comprada adicionada os prejuízos causados por uma falha neste produto, como é o caso da perda causada por uma interrupção ou por afundamento momentâneo da tensão.

Este valor deve ser limitado pelo custo em que incorreria o consumidor no caso de prover solução para suavizar os efeitos da falha.

O preço de um produto deve ser atraente para o fornecedor remunerar o capital investido. No contexto da privatização de serviços que constituem monopólios naturais, como é considerada a transmissão e a distribuição de energia elétrica, a remuneração do capital, usualmente determinada através da taxa de retorno, é limitada por um preço regulado. A adoção da chamada “price cap regulation” permite incluir a qualidade do produto ou do

serviço. O caso da Telecom Austrália , regulada pela AUSTEL, que, em julho de 1992, inclui a qualidade do serviço como medição para um aumento de preço [13].

2.3 - CUSTO DA CONFIABILIDADE REPASSADO AOS PREÇOS

Tornar os produtos e serviços brasileiros mais competitivos, por meio da melhoria da eficiência e da redução de custos deveria ser uma das principais metas do atual governo brasileiro.

Ciente de que uma política industrial eficaz pressupõe um ambiente macroeconômico favorável à competição dos produtos nacionais em preço e qualidade, tanto no mercado nacional quanto internacional, o Brasil não tem poupado esforços para remover as ineficiências estruturais que oneram a produção.

As amplas propostas de reformas constitucionais que o governo brasileiro vem debatendo com a sociedade e submetendo a aprovação do Congresso Nacional não só revelam essa disposição, mas também acenam na direção do mercado livre e incentivam os investimentos estrangeiros a ingressarem no país.

Nesse contexto, uma expressão denominada “custo Brasil” vem ganhando relevância nos discursos econômicos. Sem parâmetros de mensuração palpáveis, nem definição exata, ela serve para incluir todos os itens que compõem o custo da produção brasileira. No entanto, nenhuma entidade de classe empresarial ou órgão da administração pública realizou um levantamento dos custos e de seus impactos financeiro na economia e na competitividade da produção.

Na gestão do Presidente Fernando Henrique Cardoso, sua equipe examinou o “custo Brasil”.

Em 2002 a então, Ministra da Indústria, Comércio, e do Turismo - MICT, Dorothea Werneck, disse, que o mapeamento do “custo Brasil” seria a lição de casa de cada Ministro, e sua redução teria prioridade absoluta – “Precisamos reduzir custos e aumentar a produtividade para competirmos internacionalmente”. A Ministra Dorothea Werneck ressaltou ainda que o comércio externo brasileiro teria sido prejudicado pelos elevados preços internos, resultantes, entre outros fatores, das más condições da infra-estrutura de transporte [14].

A falta de investimentos na área de Energia e Telecomunicações ameaça provocar, nos próximos anos, um estrangulamento da indústria e do setor energético. As propostas são

associar capitais públicas e privadas para a retomada dos investimentos. A emenda constitucional apresentada pelo Governo propõe a flexibilização do monopólio estatal das telecomunicações, permitindo que empresas privadas, nacionais e estrangeiras, passem a explorar os serviços, mediante concessões do governo.

2.3.1 - Análise Teórica do Impacto da Confiabilidade na Restrição de Preços

Considerada uma condição de monopólio privado, em que o objetivo da empresa é maximizar o seu lucro, a análise de [13] pode ser seguida, de forma simplificada, a partir da modelagem matemática a seguir.

Com o preço dado em função dos custos fixos e variáveis pode ser escrito como:

$$p = (1 + \lambda) c \quad (1)$$

O lucro $E(\pi)$ pode ser escrito em função das vendas esperadas $E(s)$, conforme (2).

$$E(\pi) = p E(s) - c E(s) - r k = \lambda c E(s) - r k \quad (2)$$

onde,

k : é a capacidade atual

r : uma constante.

O objetivo da empresa é maximizar o lucro, a seguinte expressão é válida:

$$\max [\lambda c E(s) - r k] \quad (3)$$

A restrição de preço pode ser escrita conforme a equação 4.

$$p/p_0 = (1 + \lambda) c / p_0 = b + x \quad (4)$$

onde,

p_0 : é o preço histórico;

“ b ” e “ x ”: são parâmetros regulatórios, sendo que “ b ” exprime condições inflacionárias e “ x ” é

relativo a variação de custos.

Por simplicidade, pode ser considerada a ausência de inflação, ou seja, $b = 1$.

O objetivo com as restrições passa a ser dada então pela equação 5 abaixo.

$$\text{Max } \{ \lambda c E(s) - r k - \gamma [(1 + \lambda) c / p_0 - (1 + x)] \} \quad (5)$$

Onde, γ : é o multiplicador de Lagrange para a restrição.

O limite de preço, com a confiabilidade incluída é reescrito como:

$$\omega_1 (1 + \lambda) c/p_0 + \omega_2 F(k_0)/F(k) \leq b + x \quad (6)$$

onde:

ω_1, ω_2 = pesos exógenos

$F(k_0)$ = nível histórico de confiabilidade

Tomando-se como exemplo um caso numérico apresentado com pesos $\omega_1 = 0,7$ e $\omega_2 = 0,3$ sobre as parcelas correspondentes ao aumento de custos e aumento da confiabilidade. Para um aumento de 16,9% no preço, a capacidade (k) também aumenta em 18,6%, levando a um aumento de 66% na confiabilidade $F(k)$. Como consequência do aumento de preço, cai à demanda (d) em 7,5%, porém as vendas $E(s)$ aumentam em 2,0%. Apesar da redução da demanda, as vendas podem ser aumentadas em vista do aumento da capacidade. Os lucros são assegurados com um aumento de 40,5% [13].

Tabela 1 - Impacto da confiabilidade na restrição de preço [13].

	Preço	Capacidade	Confiabilidade	Lucro	Demanda	Vendas
	(P)	(k)	F(k)	E (π)	D	E(s)
Confiabilidade excluída	15,00	258,00	0,50	982,01	258,20	227,30
Confiabilidade incluída	17,54	306,19	0,83	1379,81	238,77	231,88
Variação	+16,9%	+18,6%	+66%	+40,5%	-7,5%	+2,0%

Com a introdução da confiabilidade na sua restrição de preço, a empresa tem a oportunidade de aumentar os lucros esperados. O preço mais alto é justificado porque a confiabilidade é aumentada, não somente pela redução na demanda esperada, associada ao preço mais alto, mas também pelo aumento do nível de capacidade (K)

2.4 - CONCLUSÃO

A infraestrutura de energia elétrica construída ao longo dos últimos dos anos tem sido decisiva para o desenvolvimento econômico do país, sendo visível a relação entre oferta de energia e crescimento econômico. O Brasil ampliou sua participação no mercado global, passando a oferecer produtos manufaturados com altos valores agregados, necessitando de condições extremas de competitividade. Melhorar a qualidade do fornecimento de energia elétrica, tornando o serviço mais eficiente, com menores custos e mais adequados às exigências dos consumidores, em especial os consumidores industriais, é o grande desafio dos últimos anos.

CAPÍTULO III

ORIGENS E CONSEQÜÊNCIAS DOS AFUNDAMENTOS DE TENSÃO (SAG)

3.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo são abordados os afundamentos de tensão (SAG), suas origens, causas e efeitos.

Os processos industriais que utilizam motores de altas velocidades controladas ou micro controladas são extremamente influenciados pelas variações das tensões de curta duração. Durante o afundamento da tensão, por alguns milisegundos, a potência absorvida pela carga é reduzida, diminuindo o seu rendimento. A indústria têxtil é muito sensível a qualquer tipo de variação de tensão. O processo de extrusão mecânica de fios ou de fibra é muito vulnerável ao afundamento de tensão [1].

3.2 - CARACTERÍSTICAS E DEFINIÇÕES DO AFUNDAMENTO DE TENSÃO (SAG)

O afundamento nada mais é que a redução, em períodos de curta duração, no valor eficaz da tensão em pontos de um sistema elétrico, que podem ser causadas por curtos-circuitos, sobrecargas e partida de grandes motores elétricos.

A Figura 4 mostra um afundamento do valor eficaz da tensão, encontrado principalmente nos sistemas de distribuição em baixa tensão.

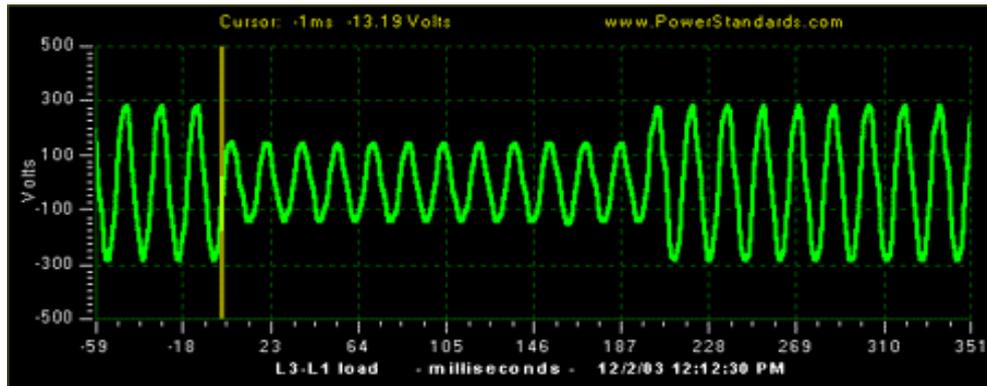


Figura 4 – Afundamento de Tensão

Um Afundamento é caracterizado por :

- amplitude [%];
- tempo de duração [ciclos ou segundos];
- ângulo de deslocamento [°];
- ponto na curva onde começa o *sag* [°].

3.3 - ORIGEM DOS AFUNDAMENTOS E ÁREAS DE VULNERABILIDADE

A dificuldade em identificar a origem dos afundamentos ressalta na análise das medições obtidas. Este é um passo importante, não só para determinação de responsabilidades, mas também para que se possam direcionar as possíveis ações.

Os afundamentos verificados em um ponto de medição podem ter origem em uma vasta área da rede elétrica. Estudos podem ser desenvolvidos para determinar os trechos em que um curto-circuito pode levar a um determinado nível de tensão no barramento em consideração. A visualização desta região, usualmente denominada “área de vulnerabilidade”, é muito útil para caracterizar a região do sistema na qual uma falta pode afetar o barramento em questão [15].

A área de vulnerabilidade está associada a um determinado barramento de subestação, ou ponto de acoplamento comum com um consumidor, e corresponde à região do sistema elétrico em que a ocorrência de curtos-circuitos causa afundamento na tensão abaixo de um

valor estabelecido. Assim está associada a um ponto de monitoração e a uma tensão de referência.

Através da simulação do sistema elétrico, em programas de cálculos de curtos-circuitos, é possível identificar o conjunto de linhas de transmissão e barramentos inferiores à tensão de referência no ponto de monitoração. O método de aplicação de curtos-circuitos deslizantes tem sido largamente utilizado para análise de áreas de vulnerabilidade.

A determinação das áreas de vulnerabilidade através da simulação em programas de curtos-circuitos tem sido usada freqüentemente para obter estimativas do número de afundamentos, com possíveis impactos para os consumidores. Conhecida a incidência anual de defeitos nas linhas de transmissão que se encontram dentro da área, pode-se ter uma estimativa do número esperado de interrupções de cargas sensíveis conectadas ao barramento em consideração. Esta informação é usualmente conhecida através das taxas de falhas para cada linha, expressa em número de falhas/100 km/ano, permitindo, então, estimar a quantidade de afundamentos a partir dos comprimentos das linhas e das respectivas taxas de falhas [15].

Com a medição dos afundamentos através do sistema de monitoramento, é possível usar o mapeamento resultante dos estudos de curtos-circuitos e determinação de áreas de vulnerabilidade, para localização do trecho da rede onde a falta pode estar localizada.

Como resultado das simulações, é possível uma estimação do sistema elétrico (níveis de tensão residuais) relativos aos vários tipos de curtos-circuitos ao longo de todo o sistema elétrico. Desta forma, é possível mapear toda a rede elétrica em função do tipo e local do curto calculando-se a correspondente variação de tensão vista de um ponto de monitoração.

O mapeamento do sistema a partir de vários pontos de monitoração pode ser importante ferramenta para identificação dos possíveis locais do defeito. Os resultados das medições podem ser usados para determinação das regiões onde o defeito pode se localizar. Da interseção das áreas correspondentes a vários pontos de mediação, pode-se chegar mais precisamente ao local do defeito.

A Figuras 5 mostra o uso da superposição de áreas para estimação do local da rede em que é provável a ocorrência do curto-circuito. As áreas correspondem aos pontos de monitoração “SE A” e “SE B” e mostram duas áreas de vulnerabilidade para cada ponto, correspondendo aos trechos dos sistemas que fariam a tensão cair abaixo de 70% e 50% para

determinado tipo de curto-circuito. As interseções entre as áreas mostram a região em que as tensões caem simultaneamente nas duas SE's[15].

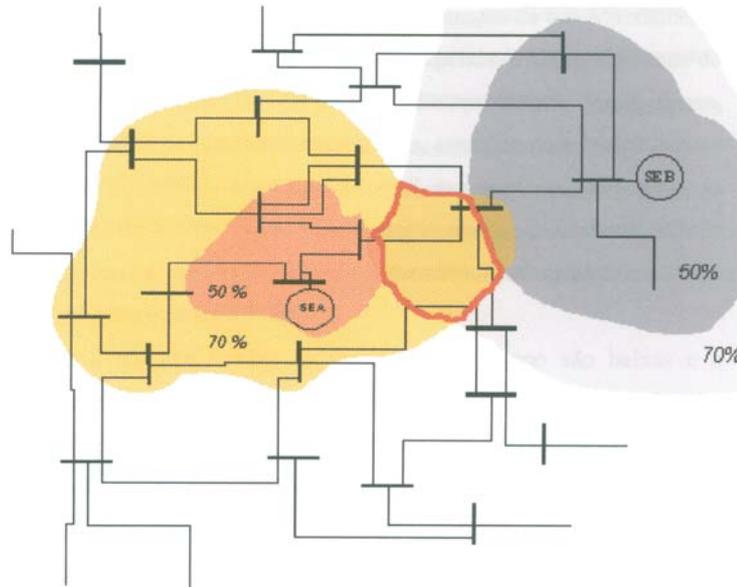


Figura 5 - Interseção de duas áreas de vulnerabilidade para identificação da origem da falta.

Generalizando-se para mais pontos de monitoração, considerando-se todos os tipos de curtos-circuitos e as amplitudes dos afundamentos de tensão durante a falta, pode-se ter uma importante ferramenta para identificação da região em que ocorreu a falta.

Como este procedimento se baseia no uso de programas de curtos-circuitos, é feita uma estimativa conservadora, que não leva em conta os efeitos anteriormente descritos de declínio lento da tensão, devido à presença de cargas dinâmicas. Também não leva em conta a duração do defeito, que constitui importante característica do afundamento.

3.3.1 - A Natureza das Falhas

As falhas no suprimento de eletricidade passam a originar um mau funcionamento de equipamentos da rede elétrica ou de algum consumidor, entrada ou saída de carga ou equipamento do sistema, curtos-circuitos nos equipamentos e, principalmente, nas linhas de transmissão, partes mais expostas e vulneráveis às agressões. Para o consumidor, no entanto, a origem da falta é irrelevante.

Ao analisar, sob a ótica do consumidor, o custo da falha depende das atividades afetadas, de quanto estas atividades dependem da eletricidade, da disponibilidade de equipamentos de “backup”, da possibilidade de recuperar a perda posteriormente.

Conseqüentemente, sob a perspectiva do consumidor, devem ser considerados: a hora da ocorrência, a duração, repetição e previsibilidade. Em determinados horários, poucos consumidores são afetados, contudo, para processos industriais que funcionam em horário integral, estes podem ser horários de produção máxima, uma vez que as tarifas de energia são menores [15]. Quando ocorre um distúrbio no sistema, a resposta depende da robustez deste sistema, caracterizada por redundância de equipamentos e linhas de transmissão, do desempenho dos sistemas de proteção em identificar e isolar rapidamente a menor área possível, e das estratégias adotadas para cortes de cargas, equipamentos de compensação de reativos, sistemas de monitoramento e supervisão, prontidão, capacitação e mobilização das equipes etc.

Desta forma, o impacto decorrente do distúrbio aparece para o consumidor como: nenhuma mudança perceptível, uma degradação da qualidade do serviço (variações ou flutuações na tensão e freqüência), ou uma interrupção. Assim, um evento é constituído por um distúrbio inicial e pelos seus desdobramentos, que dependem da estratégia de minimização dos seus efeitos. Até mesmo um mecanismo de preço para manter as reservas em margens adequadas e aliviar o sistema em horas de elevado carregamento pode contribuir para reduzir os efeitos dos distúrbios.

3.4 - CARACTERÍSTICAS DOS AFUNDAMENTOS MONITORADOS

As variações de tensão estão associadas à ocorrência de perturbações no sistema elétrico. Como são inúmeros os tipos de perturbações, são também diversos os tipos de variações, que podem ter natureza, causas e conseqüências bem diferentes.

Em geral, os afundamentos de tensão de maiores amplitudes em um barramento são aqueles que ocorrem durante o curto-circuito, com duração estreitamente associada ao tempo de eliminação do defeito. De fato, a duração de um Afundamento Momentâneo de Tensão em um ponto da rede básica depende fundamentalmente do tempo de eliminação do defeito ou de atuação das proteções, tanto de rede básica quanto nas redes de distribuição; considera-se o valor de 3 seg como o limite para as variações “momentâneas de tensão”. Assim, os afundamentos que decorrem diretamente de curtos-circuitos devem ter duração inferior a 3 segundos. Na rede básica, em alta tensão, as constantes de tempo são baixas e a influência de cargas dinâmicas sobre as formas das variações de tensão é reduzida. As proteções de distância das linhas de 230 e 500 kV, atuando em primeira zona, apresentam tipicamente um

tempo da ordem de 100 mseg para a efetiva abertura do disjuntor e eliminação do defeito. Observa-se que o regime permanente do curto-circuito se estabelece rapidamente.

A Figura 6 mostra o início dos afundamentos de tensão em uma rede básica.

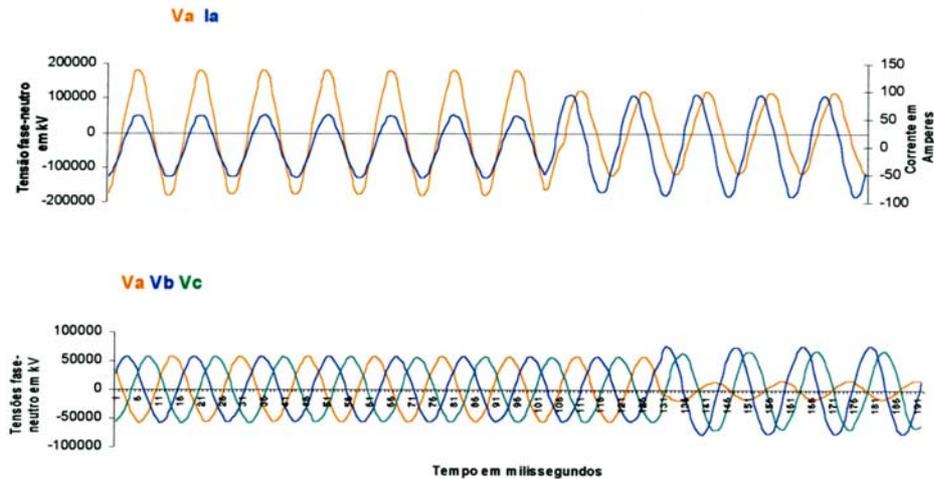


Figura 6 - Início dos afundamentos de tensão, exemplificados para faltas na rede básica. Medições em 230 kV (tensão e corrente da fase A) em 69 kV (tensões nas três fases para curto-circuito monofásico).

3.5 - PROPAGAÇÃO DOS AFUNDAMENTOS E NATUREZA DINÂMICA DAS VARIAÇÕES

Na rede básica as variações de tensão observadas em pontos distantes dos defeitos podem registrar uma redução lenta apresentando, porém, uma forma mais acentuada quando da existência de grande quantidade de cargas dinâmicas nas redes de distribuição nas proximidades do ponto observado.

Adicionalmente, as alterações introduzidas pelas diferentes ligações de transformadores existentes entre o ponto de defeito e o ponto de baixa tensão onde a carga se encontra, tornam muito complexa uma correlação entre os afundamentos de tensão verificados na rede básica e aqueles que afetam a carga. Atualmente o Operador Nacional do Sistema (ONS) coordena levantamento da propagação dos afundamentos ao longo da rede básica até à carga. O Operador Nacional do Sistema (ONS), coordenou em 2002, o levantamento da propagação dos afundamentos de SAG ao longo da rede básica até a carga que inclui o monitoramento de subestações da rede básica nordestina, pontos de distribuição e

em consumidores industriais. A tensão de regime permanente do curto-circuito se estabelece tanto mais rápido quando mais próximo estiver o barramento do ponto de curto-circuito. Nas redes de distribuição, quando existem montantes elevados de motores nas proximidades do ponto observado, o decaimento lento da tensão é mais pronunciado.

3.5.1 - Quantificação dos Afundamentos

O mais importante, sob o ponto de vista de quem usa a energia elétrica, é quantas vezes por ano os equipamentos poderão ser impactados por falhas de energia elétrica. A monitoração dos presentes eventos fornece a primeira grande informação sobre o comportamento do sistema.

A forma mais simples de caracterizar uma variação momentânea é através da magnitude e duração do evento.

Embora exista o reconhecimento de que esta forma simples deve ser aperfeiçoada para acomodar situações atípicas em que os valores “rms” apresentam formas distintas das usuais, além da evidente importância do comportamento das três fases e dos defasamentos introduzidos pelas formas de ligação dos transformadores.

3.5.2 - Duração da Amplitude

Embora a forma de melhor caracterizar uma variação de tensão ainda seja objeto de muitas discussões e questionamentos, parece haver uma tendência entre os especialistas de considerar a duração e a magnitude do afundamento na fase onde ocorreu a maior variação. A simples contagem dos afundamentos registrados em um barramento ao longo de um período, agrupadas por duração e magnitude, expressa por si só a qualidade da tensão no referido barramento.

Para as medições realizadas na rede básica durante o período de um ano, a contagem dos afundamentos segundo a sua magnitude e duração em dois dos pontos de monitoração em 230 kV pode ser visualizada na Figura 7 (a e b).

As barras indicam o número de eventos segundo os eixos de magnitude (dividido em intervalos de 10%) e duração (dividido em intervalos de 100 milissegundos) [15].

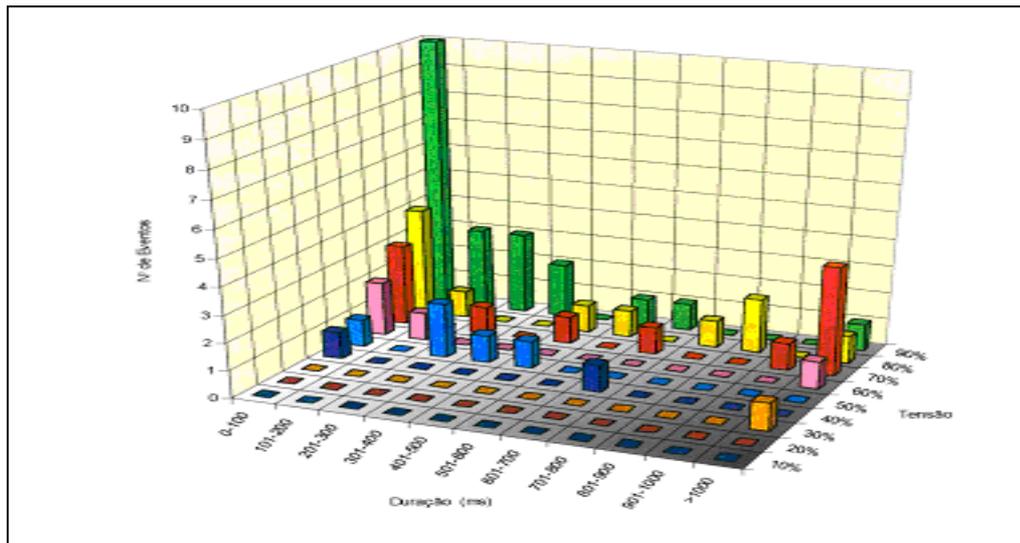


Figura 7 - a) Perfil dos afundamentos em pontos de medição em 230 kV, que alimentam consumidores industriais, monitorados ao longo de 1 ano – Local 1.

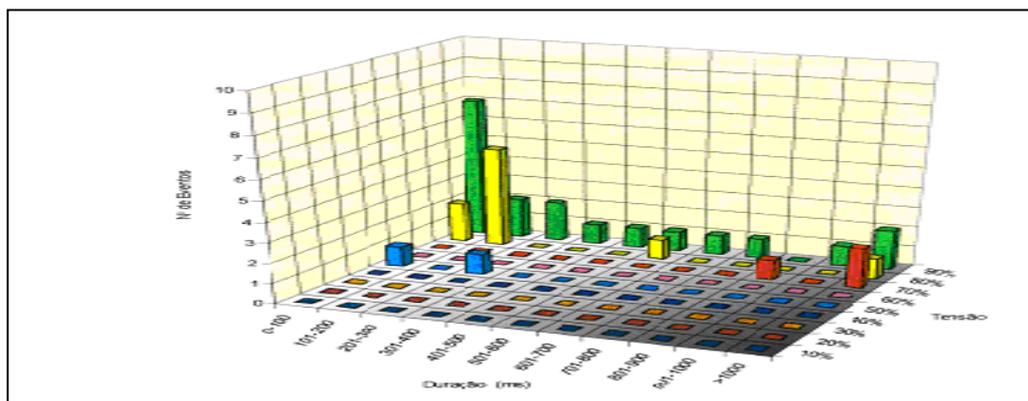


Figura 7 – b) Perfil dos afundamentos em pontos de medição em 230 kV, que alimentam consumidores industriais, monitorados ao longo de 1 ano – Local 2.

Nestes casos, as durações são contabilizadas seguindo a forma conservadora em que é medido o tempo desde que a primeira fase alcance o nível de 90% da tensão até que a última retome este valor.

3.6 - CLASSIFICAÇÃO DOS AFUNDAMENTOS SEGUNDO AS NORMAS INTERNACIONAIS

A seguir apresenta-se a descrição das metodologias para classificação dos afundamentos de tensão, segundo as normas Sul-Africanas NRS-048 (1996) e IEEE Std. 446 (1995) e IEEE Std. 1346 (1998).

3.6.1 - Normas Sul-Africanas NRS – 048 (1996)

A partir dos dados obtidos por monitoração em cada ponto considerado, a etapa seguinte é a definição de formas de agregar estes dados de modo que sejam obtidos indicadores que sintetizem as informações. São inúmeras as formas de agregar dados, o que pode tornar a seleção dos indicadores um processo complexo, com muitas alternativas onde cada uma expressa um determinado aspecto do problema [16].

Um dos exemplos em que o tratamento estatístico das perturbações permite estabelecer importante relação entre as perturbações e a origem do defeito pode ser visto no trabalho elaborado por através da aplicação das normas sul-africanas, que oferecem a possibilidade de interessante classificação das variações de tensão de curta duração, a partir das características de duração e magnitude[17].

As normas sul-africanas NRS 048,1996 agregam os afundamentos segundo regiões no plano magnitude versus duração. A definição dos limites de tempo entre regiões está associada aos tempos de atuação das proteções da transmissão e da distribuição, conforme análise realizada na referência [17]. Esta forma de particionar o eixo dos tempos é interessante e útil, pois permite relacionar as regiões com os tempos de atuação das proteções da rede básica e dos sistemas regionais de distribuição, Tabela 2.

Tabela 2 - Regiões de agregação dos afundamentos segundo a norma NRS-048 (1996)

Tensão	Duração				
(%)	0–20 ms	20–150 ms	150–600 ms	600–1000 ms	1000–3000 ms
90-100%					
80-90%		Y			
40-80%		X	S	Z	
0-40%		T		Z	

Onde:

Y = maioria das cargas suportadas por tipos especiais de fusíveis

X = defeito na transmissão

S = sub-transmissão e distribuição

Z = elevada severidade por duração

T = alta probabilidade de interrupção (afundamento)

A definição do tempo considera que as variações com duração inferior a 20 ms não afetam cargas sensíveis e corresponde a defeitos na distribuição eliminados por tipos especiais de fusíveis. O valor de 150 milissegundos adotado como limite para definição de X é relacionado às durações de variações causadas na sub-transmissão e na distribuição, onde os tempos de eliminação dos defeitos são maiores. Para um barramento de rede básica é esperado que o valor “Z” seja muito reduzido [17].

Quanto às delimitações das magnitudes das variações, o primeiro patamar separa as variações acima de 90% que não se enquadram da definição de variação de tensão de curta duração. O valor 80% identifica um nível acima do qual a maioria das cargas sensíveis seria capaz de suportar. A faixa de 80% a 40% reflete a maior incidência de variações com risco de impactar as cargas, sendo também uma faixa para a qual soluções econômicas instaladas do lado do consumidor mostram-se viáveis. Nestes casos, equipamentos condicionadores de energia podem ser economicamente viáveis. Abaixo de 40%, situam-se as variações de grande severidade, para as quais a probabilidade de um consumidor com cargas sensíveis sofrer interrupção é muito alta, mesmo estando conectado na baixa tensão [17].

Na região “Z” se concentram as variações de elevada severidade, por duração, que provavelmente afetarão uma grande parte de cargas sensíveis. Da mesma forma que a região “T”, caracterizada por profundo afundamento de tensão, as variações situadas na região “Z” devem trazer um grande impacto para as cargas sensíveis alimentadas a partir deste ponto de conexão, mesmo estando conectadas na baixa tensão.

Não obstante a extrema simplicidade do método, a associação das faixas de duração do afundamento com o nível de tensão em que ele ocorreu precisa ser mais bem avaliada quanto à sua eficiência em determinar a região do sistema onde se originou o defeito. Certamente, métodos auxiliares devem ser investigados conjuntamente para a classificação da origem das faltas que causaram o afundamento.

A seguir as tabelas 3 a 14 apresentam os dados obtidos nas distribuições dos valores medidos em pontos de entrega aos consumidores industriais localizados em diferentes posições do Sistema Elétrico. Estão agrupados segundo faixas de durações associadas ao

tempo de atuação das proteções, em faixas de valores de tensão final. O tempo da faixa inicial foi alterado para 33 milissegundos (2 ciclos), que é o tempo mínimo conseguido com o medidor usado [15]. Os números nas tabelas representam a quantidade de ocorrências.

Tabela 3 - Agregação dos afundamentos em 230 kV segundo faixas definidas na norma NRS-48 (1996).

Tensão	Duração					
	(%)	0-33ms	33-150ms	150-600ms	600-1000ms	1000-3000ms
90-100%						
80-90%		8	7	4	1	
40-80%		7	3	1	2	
0-40%						

Tabela 4 - Agregação dos afundamentos em 230 kV segundo faixas definidas na norma NRS-48 (1996).

Tensão	Duração					
	(%)	0-33ms	33-150ms	150-600ms	600-1000ms	1000-3000ms
90-100%						
80-90%		11	5			
40-80%		4	1	1		
0-40%						

Tabela 5 - Agregação dos afundamentos em 230 kV segundo faixas definidas na norma NRS-48 (1996).

Tensão	Duração				
(%)	0-33ms	33-150ms	150-600ms	600-1000ms	1000-3000ms
90-100%					
80-90%		4	3		
40-80%		6	1		
0-40%					

Tabela 6 - Agregação dos afundamentos em 230 kV segundo faixas definidas na norma NRS-48 (1996).

Tensão	Duração				
(%)	0-33ms	33-150ms	150-600ms	600-1000ms	1000-3000ms
90-100%					
80-90%		4	4		
40-80%		5	1		
0-40%					

Tabela 7 - Agregação dos afundamentos em 230 kV segundo faixas definidas na norma NRS-48 (1996).

Tensão	Duração				
(%)	0-33ms	33-150ms	150-600ms	600-1000ms	1000-3000ms
90-100%					
80-90%		6	3		
40-80%		6	1		
0-40%					

Tabela 8 - Agregação dos afundamentos em 230 kV segundo faixas definidas na norma NRS-48 (1996).

Tensão	Duração				
(%)	0-33ms	33-150ms	150-600ms	600-1000ms	1000-3000ms
90-100%					
80-90%		9	4		
40-80%		6	1		
0-40%					

Tabela 9 - Agregação dos afundamentos em 230 kV segundo faixas definidas na norma NRS-48 (1996).

Tensão	Duração				
(%)	0-33ms	33-150ms	150-600ms	600-1000ms	1000-3000ms
90-100%					
80-90%		38	11	4	
40-80%		5	2	2	1
0-40%					

Tabela 10 - Agregação dos afundamentos em 230 kV segundo faixas definidas na norma NRS-48 (1996).

Tensão	Duração				
(%)	0-33ms	33-150ms	150-600ms	600-1000ms	1000-3000ms
90-100%					
80-90%		5	3	1	
40-80%		7	3		
0-40%					

Tabela 11 - Agregação dos afundamentos em 230 kV segundo faixas definidas na norma NRS-48 (1996).

Tensão	Duração				
(%)	0-33ms	33-150ms	150-600ms	600-1000ms	1000-3000ms
90-100%					
80-90%		5	2		
40-80%		7	1		
0-40%					

Tabela 12 - Agregação dos afundamentos em 230 kV segundo faixas definidas na norma NRS-48 (1996).

Tensão	Duração				
(%)	0-33ms	33-150ms	150-600ms	600-1000ms	1000-3000ms
90-100%					
80-90%		10	3		1
40-80%		7	2	1	
0-40%		1			

Tabela 13 - Agregação dos afundamentos em 230 kV segundo faixas definidas na norma NRS-48 (1996).

Tensão	Duração				
(%)	0-33ms	33-150ms	150-600ms	600-1000ms	1000-3000ms
90-100%					
80-90%		11	5		
40-80%		8	3		2
0-40%		1	1		1

Tabela 14 - Agregação dos afundamentos em 230 kV segundo faixas definidas na norma NRS-48 (1996).

Tensão	Duração				
(%)	0-33ms	33-150ms	150-600ms	600-1000ms	1000-3000ms
90-100%					
80-90%		12	5		
40-80%		7	1		
0-40%					

Verifica-se uma grande incidência de afundamentos com duração maior que 600 milissegundos, caracterizando um elevado tempo de eliminação dos defeitos. Esse fato sugere um reestudo do desempenho das proteções e uma revisão dos ajustes, o que deve ser precedido da identificação da origem dos defeitos [15].

Quando se dispõe das magnitudes e durações dos afundamentos observados em um ponto de medição, durante períodos suficientemente longos, recomenda que se construam para comparação com as curvas de sensibilidade das cargas [19].

3.6.2 - Normas IEEE Std. 446 (1995) e IEEE Std. 1346 (1998)

É usual, na literatura especializada, expressar a severidade do afundamento caracterizando-o através da representação em um diagrama de dispersão onde a magnitude da subtensão é expressa no eixo vertical e a sua duração no eixo horizontal. A comparação com a curva Information Technology Council (ITIC) é freqüentemente usada para avaliar o grau de severidade do afundamento. Embora concebida a partir da tolerância de equipamentos computadorizados a variações de tensão, tornou-se uma referência universal para avaliação da severidade dos afundamentos de tensão [18, 19].

A comparação com esta curva tornou-se comum a partir da recomendação da Computer Business Equipment Manufacturers Association (CBEMA) e inclusão na IEEE Standard 446 (1995). A curva original foi revisada pela sucessora da CBEMA, Information Technology Council (ITIC), de forma que a curva passou a ser denominada ITIC [6].

Para uma avaliação global de severidade dos afundamentos verificados em cada ponto de monitoração considerado, pode-se observar o conjunto dos afundamentos verificados ao longo de um ano através dos respectivos diagramas de dispersão. Os Afundamentos que ultrapassam a curva CBEMA/ITIC correspondem a eventos que podem afetar os processos, principalmente os controlados por computador. O consumidor poderá avaliar o risco de desligamentos de seus equipamentos durante os eventos que atingem a região proibida, definindo as providências sob o ponto de vista de “custo-benefício”.

Quando se dispõe das magnitudes e durações dos afundamentos observados em um ponto de medição, durante períodos suficientemente longos, a [19] recomenda que se construam curvas de incidência para comparação com as curvas de sensibilidade das cargas.

Para construção destas curvas em forma de contorno, similares às curvas de nível dos levantamentos topográficos, os eventos medidos em um ponto de observação devem ser classificados segundo as durações e magnitudes, fazendo-se em seguida a acumulação dos eventos “piores ou iguais”.

3.7 - COMPATIBILIDADE COM OS EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS

A referência [19] indica procedimentos para que se planeje a aplicação de equipamentos sensíveis a partir do mapeamento do ambiente, permitindo estudar a compatibilidade entre equipamentos eletrônicos de processos e o sistema de potência.

A tolerância de equipamentos vulneráveis aos afundamentos de tensão é exemplificada na Figura 8.

A área abaixo e à direita da linha de sensibilidade mostra a região em que o equipamento é afetado pelo afundamento, enquanto a área acima e à esquerda corresponde a afundamentos que são tolerados pelo equipamento.

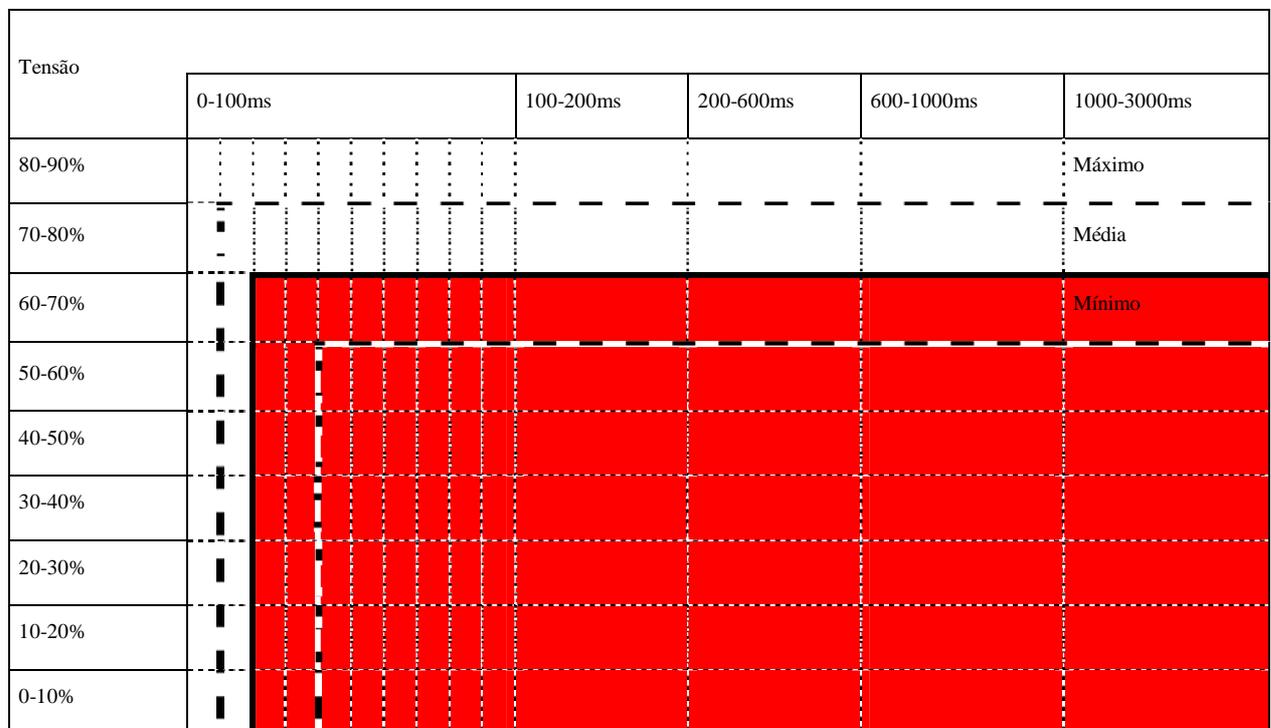


Figura 8 - Curvas de tolerância para relês de controle AC (valores mínimo, médio e máximo) típicas, segundo norma IEEE Std 1346 (1998).

No exemplo, observa-se que, em média, os relês AC utilizados na indústria são sensíveis a variações de tensão que atinjam 70% da nominal. Este é um valor típico dentro de uma faixa que varia de 60 a 80%, aproximadamente, para os vários tipos de relês. Os tempos tolerados são significativamente pequenos, da ordem de 1 ciclo ou até menos em alguns casos, enquanto outros toleram até 40 milissegundos [15].

Em forma semelhante, a norma informa curvas de tolerância típicas para vários tipos de equipamentos: controladores lógicos programáveis, acionamentos de velocidade variável, computadores pessoais, etc.

O ponto em que a curva de tolerância atinge a curva de contorno de mais alto nível indica o número de vezes que o equipamento será afetado durante o período considerado.

Obviamente, a consideração de linhas de tolerância retangulares constitui uma aproximação que busca simplificar uma questão naturalmente complexa, que depende de inúmeras variáveis. Curvas de sensibilidade não retangulares requerem um pouco mais de esforço para serem aplicadas, conforme mostra a referência [19].

Neste caso, a região de tolerância é determinada pela combinação de áreas retangulares. Os “joelhos” de cada retângulo interceptam as curvas de contorno em diferentes níveis. A soma das áreas deve ser feita de forma a evitar duplicidade na contagem, conforme procedimento mostrado na norma [15].

Também cabe ressaltar que as curvas de contorno devem ser levantadas o mais próximo possível das cargas, para que se leve em conta os efeitos presentes na propagação dos afundamentos, principalmente o das cargas dinâmicas, conforme ressaltado anteriormente. A propagação dos afundamentos até os níveis de tensão mais baixos é um assunto em estudo, inclusive no Brasil, em que o ONS coordena projeto piloto para levantamento de subsídios sobre este assunto.

3.7.1 - Tolerância de vários Componentes Industriais

Através de exemplo orientativo, considera a aplicação em uma fábrica fictícia, considerando um conjunto de dispositivos sensíveis. A Figura 10 mostra a susceptibilidade dos componentes. Neste caso, o componente mais sensível é o relê “DPDT” uma vez que o seu “joelho” encontraria a curva de maior número de eventos entre as curvas de nível [19].

O componente com a maior sensibilidade, ou seja, com o “joelho” na parte superior mais à esquerda da Figura 10, define a sensibilidade do processo, alcançado vários eventos por ano, no caso deste exemplo. Se o relê for substituído por outro menos sensível que a fonte DC, esta passa a ser o componente determinante, reduzindo o nível de interrupções do processo para menos da metade destes eventos. A partir deste ponto, a norma sugere que se

estude a possibilidade de melhorar o desempenho do sistema, trazendo benefícios para todos os consumidores [19].

Generalizando este raciocínio, é sugerido que a preocupação com o desempenho do sistema deve excluir os componentes excessivamente sensíveis. Para estes, deve-se buscar soluções específicas.

Tensão					
	0-100ms	100-200ms	200-600ms	600-1000ms	1000-3000ms
80-90%					
70-80%					1-relé "DPDT" 120 Vac 75%
60-70%					2- fonte 24 VDC de Instrumentos 70%
50-60%					
40-50%					
30-40%					3- CLP 47%
20-30%					
10-20%					
0-10%					

Figura 9 – Curvas de tolerância dos vários afundamentos do processo segundo norma IEEE Std 1346 (1998).

3.8 - CONCLUSÃO

Os problemas associados à ocorrência de afundamentos de tensão tendem a se agravar cada vez mais devido ao crescente aumento da utilização de equipamentos sensíveis à falhas utilizados por modernas indústrias de alta tecnologia que necessitam de energia confiável e de qualidade, uma vez que um fornecimento elétrico de qualidade insuficiente pode levar a uma interrupção de processos e, conseqüentemente, a uma qualidade do produto inferior à desejada.

O monitoramento precisa ser estendido para um melhor entendimento de como este fenômeno se propaga até os consumidores; e a devida orientação propiciaria uma melhor caracterização de causa e efeito. A monitoração da propagação dos afundamentos carece de estudos e levantamentos extensos. Mesmo os usuários de maior porte, como é o caso dos grandes consumidores industriais, precisam entender e quantificar melhor quais os distúrbios que lhes causam falhas no processo e até que níveis estas falhas poderão ser toleradas.

Monitoramento intensivo e intercâmbio de informações permitirão avanços de grande interesse para todos, principalmente para o setor industrial que ao utilizarem melhor o expediente de monitoramento podem evitar prejuízos e, em muitos casos, aumentar a produtividade e a competitividade do produto final.

CAPÍTULO IV

ANÁLISE DOS PREJUÍZOS CAUSADOS PELOS SAGs EM UMA INDÚSTRIA TÊXTIL

4.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo é feita uma análise dos custos envolvidos quando detectado o problema do afundamento de tensão, bem como são analisadas as medidas tomadas pelos fabricantes para mitigar tais ocorrências.

Particularmente é analisada uma indústria cujo processo de fabricação consiste na transformação de fios de poliéster em fios de micro fibra.

4.2 - PREJUÍZO DEVIDO AOS AFUNDAMENTOS DE TENSÃO (SAG)

As indústrias de processamento contínuo, entre elas a têxtil, compartilham algumas características fundamentais, ou seja, elas mantêm operações contínuas com turnos corridos, pois isto otimiza os custos iniciais de desenvolvimento do processo.

A Figura 10 informa os prejuízos nos diferentes segmentos indústrias com linha de produção contínua.

A Tabela 15 demonstra o custo do afundamento momentâneo de tensão em alguns setores produtivos do Estados Unidos da América.

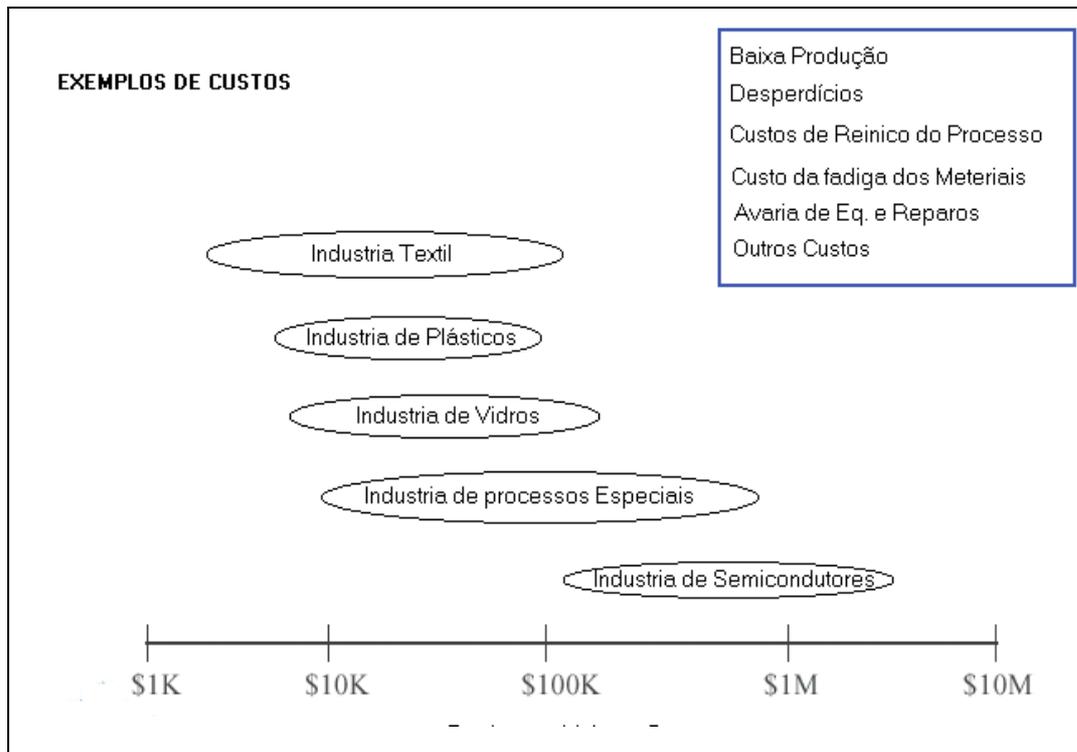


Figura 10 – Perdas nos setores industriais devido ao afundamento momentâneo de tensão

Tabela 15 – Custo devido a Interrupções Momentâneas.

Categoria	Custo de interrupção Momentânea (R\$/KW Demanda)	
	Mínimo	Máximo
INDUSTRIAL		
Manufatura automobilística	10,65	15,98
Borracha e Plástico	6,39	9,58
Têxtil	4,20	8,52
Papel	3,20	5,32
Tintas	2,13	4,26
Petroquímica	6,39	10,65
Metalúrgica	4,26	8,52
Vidro	8,52	12,78
Mineradora	4,26	8,52
Enlatados	6,39	10,65
Farmacéutica	10,65	106,50
Eletrônica	17,04	25,56
Manufatura de semicondutores	42,60	127,80
COMERCIAL		
Comunicação	2,13	21,30
Hospital, bancos, policial	4,26	6,39
Restaurantes, bares, hotéis	1,06	2,13
Lojas	0,21	1,06

OBS: US\$ 1 = R\$ 2,13

A Figura 11 mostra o produto final de uma tecelagem quando a mesma processa material oriundo de uma fabricação que sofreu variações na tensão de suprimento.



Figura 11 – Falhas no produto devido ao afundamento momentâneo de tensão.

4.3 - FABRICAÇÃO DE FIOS DE MICRO FIBRA – DESCRIÇÃO DO PROCESSO

Em uma fábrica de fios de micro fibra, a fabricação consiste em inicialmente se processar a matéria prima original, ou seja, bobinas com fio de poliéster. Estes fios de poliéster são empurrados por uma bobina giratória, contendo pequenos orifícios onde se processa o número de fios (trifilação de 48 a 218 fios). Durante este processo, é feito o aquecimento e a respectiva tração destes fios, sendo finalmente enrolado o fio de microfibra (produto final) em uma bobina. A Figura 12, a seguir, evidencia o processo de fabricação [1].

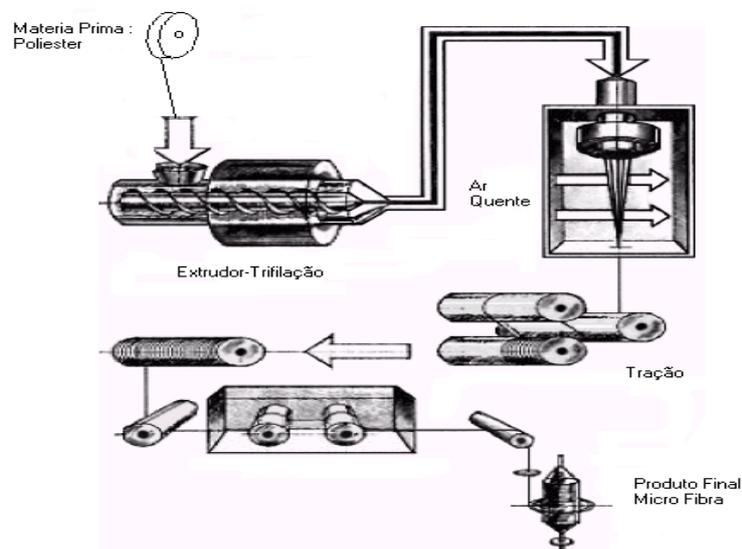


Figura 12 – Diagrama do processo de fios de microfibra.

Aproximadamente 55% do consumo de energia elétrica é usado para aquecer o poliéster no extrudor e nas fases finais de trifilar, esticar e enrolar. Os motores, durante as três etapas previamente mencionadas, todos com velocidade controlada, representam 45% do consumo de eletricidade total [1].

4.4 - INCONVENIENTES DAS PARADAS MOMENTÂNEAS

Após um afundamento, os trabalhadores têm que limpar e iniciar as linhas de produção sucessivamente, levando vários minutos por linhas. Em geral demora-se cerca de 5 horas antes que a última linha de produção esteja organizada e funcionando normalmente; isto é a média do final de produção é de 2 horas e meia. Os motores e o aquecimento do extrudor de todas as linhas de produção, contudo serão reiniciados imediatamente após o afundamento.

Não há economia de matéria-prima durante o processo de falha uma vez que outros custos variáveis no processo de produção, tais como, o custo de energia, são relativamente baixos, e não há nenhum custo de limpeza adicional, maquinário quebrado ou custos iniciais; os custos da falha na interrupção de um processo é igual ao consumo total durante o período da falha do processo.

4.5 - ANÁLISE ECONOMÉTRICA

A análise econométrica é uma forma de avaliar o custo da falha de fornecimento elétrico, usa uma sobre-estimativa baseada em uma análise econômica global; e uma sub-estimativa baseada em um detalhamento.

4.5.1 - Análise Global

A análise global estabelece uma relação entre uma ou mais variáveis macroeconômica que abrange as circunstâncias de bem-estar social. Sua desvantagem decorre de requerer hipóteses que distanciam da realidade, o que produz uma sobre-estimativa do custo de falha [20].

Baseia-se nas seguintes hipóteses:

- a) Relação tecnológica estrita entre consumo elétrico e variável macroeconômica utilizada.

- b) Absoluta falta de seletividade nas restrições elétricas (próximo à realidade em algumas restrições; longe em outras). Estendendo-se pró-seletividade perfeita das restrições a capacidade de cortar o fornecimento elétrico por ordem crescente de custo de falha.
- c) O PIB é utilizado como variável macroeconômica.
- d) Aceitando o fato de que uma falha no fornecimento elétrico produz uma queda no PIB e definindo-se “C” como o consumo elétrico, é possível recorrer à elasticidade do consumo do produto para obter o valor do custo marginal da restrição (K), como segue [20]:

$$\varepsilon = \frac{\frac{\Delta C}{C}}{\frac{\Delta PIB}{PIB}} \quad (7)$$

$$k = \frac{\Delta PIB}{\Delta C} \quad (8)$$

Substituindo a equação 7 na equação 8 pode ser escrita a equação 9 que oferece o custo marginal da restrição.

$$K = \frac{1}{\varepsilon} \times \frac{PIB}{C} \quad (9)$$

Segundo a referência [20] sua desvantagem é decorrente de requerer hipóteses que se distanciam da realidade, o que produz uma sobre-estimativa do custo de falha.

4.5.2 - Análise Detalhada

Este tipo de análise estuda de forma específica os setores afetados pela falha no fornecimento, determinando um custo de falha por setor. Este enfoque possui a vantagem de permitir diferenciar entre os distintos usos do recurso elétrico. Assim, estão aqueles cuja

relação tecnológica com o consumo de energia elétrica é bem definida, e outros nos quais a eletricidade não é fundamental.

4.5.3 - Análise Direta

A necessidade de valores apropriados das perdas começa a se tornar mais evidente a partir do final da década de 1970, quando se acentua a preocupação em considerar a confiabilidade sob a ótica do consumidor, buscando-se incluir os benefícios marginais como um fator nos aspectos de planejamento, projeto e operação. Nesta perspectiva, a confiabilidade é influenciada por:

- Números de falhas ocorridas
- Intensidade e duração das falhas
- Custos incorridos como resultado das interrupções

Grandes avanços são obtidos durante aproximadamente 15 anos, quando surgem os resultados de trabalhos mais abrangentes, baseados nas definições estabelecidas por [3], particularmente os dados levantados por [21], nos Estados Unidos, e por [12], no Reino Unido.

Os métodos diretos se baseiam na aplicação de questionários aos setores de consumo afetados pela interrupção do fornecimento elétrico. O estudo dos fatores que afetam a percepção dos consumidores mostra que, no evento de uma falha, eles estão preocupados unicamente com a impossibilidade de usar seus equipamentos e nos danos que podem sofrer, pouco importando a energia que economize nestas situações.

4.5.3.1 - Vantagens do Método Direto

A metodologia direta é a que fornece maiores informações sobre os efeitos e custos (em determinados cenários) de uma falha. Os dados adicionais obtidos pelo usuário entrevistado permitem conhecer seu pensamento sobre o serviço prestado pelo setor elétrico quanto ao tema de interrupção do fornecimento.

Assim, além de ter um valor numérico do custo da falha, se obtém um conhecimento sobre como o cliente se sente afetado qualitativamente pela falha no fornecimento. Esta

informação é relevante para as empresas de energia elétrica, que não só vendem um produto, mas também, uma imagem e um serviço.

As perguntas para a estimativa dos custos de falhas abrangem um conjunto adequado de cenários possíveis de falha, indicando características variáveis de como as falhas se apresentam, cobrindo muitas situações diferentes.

4.5.3.2 - Desvantagens do Método Direto

O custo da falha obtido depende fortemente dos fatores geográficos, demográficos e socioeconômicos. Isto dificulta a transferência dos valores obtidos de uma área para outra.

O resultado depende da percepção do consumidor quanto aos objetivos da pesquisa, correndo-se o risco de obter a resposta de acordo com seus interesses.

4.6 - MODELAGEM MATEMÁTICA

É claro que uma redução no fornecimento a um ramo industrial reduz sua produção e, portanto seus requisitos de insumos, trazendo a diminuição da produção e consumo elétrico.

Para refletir estas variações se pode recorrer aos elementos b_{ij} da matriz de requisitos diretos e indiretos. Os b_{ij} medem a diminuição da produção de cada setor, quando a demanda total do setor de destino se reduz a uma unidade monetária.

Logo, a modificação total do consumo elétrico por unidade monetária de variação da demanda final do setor de destino é dada pela equação 10.

$$C_i = \sum_j b_{ij} - C_j \quad (10)$$

A perda do valor agregado total ao restringir 1 kWh no consumo do setor de destino, será o recíproco do valor anterior. Quer dizer:

$$K_i = \frac{1}{\sum_j b_{ij} - C_j} \quad (11)$$

Para o resto dos setores econômicos, que abastecem os ramos industriais, se supõe que não haja redução no consumo elétrico. Considera-se que a restrição só afeta a produção destinada a produtos finais. Com essas informações, é possível analisar os custos das falhas por ramo da indústria.

4.6.1 - Custo da falha buscando o bem-estar da população

Calcular o custo de falhas com base na possibilidade de restringir o consumo de acordo com uma ordem crescente de custos implica em não considerar as preferências do consumidor, pelo que não se maximiza seu bem-estar.

Neste caso, se recorre aos valores médios da elasticidade-ingresso do conjunto da população. Considera-se, também, que só os setores residencial, comercial e industrial possuem uma relação tecnológica entre energia consumida e produto final.

Segundo [20], pelo anteriormente exposto e por meio de uma análise similar à utilizada no item referente ao setor industrial, se chega à seguinte equação 12.

$$K = \frac{r_E \cdot \varepsilon_E + \sum_i r_i \cdot \varepsilon_i}{\sum_i r_i \cdot \varepsilon_i \cdot \sum_j b_{ij} \cdot C_j \frac{r_E \cdot \varepsilon_E}{\pi_E}} \cdot \alpha + K_C \cdot \beta \quad (12)$$

sendo:

ε_i = elasticidade-ingresso da demanda do setor i

b_{ij} = coeficiente da matriz de requisitos diretos e indiretos

C_j = consumo elétrico específico do setor provedor j

ε_E = elasticidade-ingresso do setor elétrico

π_E = preço do 1kWh residencial

r_i = proporção do setor i no gasto das pessoas

r_E = proporção do setor elétrico no gasto das pessoas

K_C = custo da restrição do setor comercial

α = proporção do consumo do setor elétrico industrial e comercial

β = proporção do consumo elétrico comercial

Das suposições prévias se tem $\alpha + \beta = 1$.

4.6.2 - Metodologia de Composição dos Custos

Para avaliar os custos incorridos para uma determinada área, devem ser estabelecidos os modelos descrevendo:

- Desempenho do sistema de potência que supre a área
- O custo percebido pelo “mix” de consumidores conectados
- Características da carga

Neste sentido, os trabalhos apresentados na referência [3] servem de base para sistematização realizada pela referência [12], que constitui um completo roteiro para sistematizar a agregação dos dados levantados.

Para avaliar o custo da falha, “Customer Outage Costs” (COC), é necessário conhecer a taxa média de falha (λ) e a duração média das interrupções (r). Os valores λ e r podem ser obtidos usando técnicas analíticas as quais, apesar das limitações, vêm se tornando mais úteis à medida que dados mais realísticos são disponíveis, incluindo taxas de falhas e tempos de restauração.

Para uma determinada área, o modelo de custos é uma série de valores denominada “Composite Customer Damage Function” (CCDF), os quais representam os custos devidos a interrupções como uma função da duração das interrupções para um particular “mix” de consumidores.

As etapas seguidas para levantamento dos custos são as seguintes [12]:

- 1^a – Levantamento dos custos individuais (CIC)

Valores dos custos (US\$) percebidos pelos consumidores para interrupções de diferentes durações. Nesta etapa, são obtidas estimativas para os setores residenciais, comerciais, industriais e grandes consumidores (> 8MW). Os dados são coletados de acordo com o setor e, onde possível, agrupados de acordo com classes de consumidores dentro de cada setor, quando, por exemplo, hotéis constituem uma classe dentro do setor comercial.

- 2^a – Cálculo dos custos normalizados.

Obter, da companhia regional, informações sobre as faturas.

Normalizar os custos, dividindo-os pela energia consumida anualmente ou pela demanda máxima.

Os custos normalizados são dados pelas equações 13 abaixo.

$$C_{E,x}(r_i) = \frac{CIC_x(r_i)}{E_x} \quad (US\$/MWH)$$

ou

$$C_{L,x}(r_i) = \frac{CIC_x(r_i)}{L_x} \quad (US\$/KW)$$
(13)

onde, E_x é o consumo anual de energia do consumidor e L_x é a demanda de pico.

- 3ª – Verificar se as respostas são suficientes para subdivisão do setor em classes, se não, calcula as médias por setor e pula para etapa 7.
- 4ª - Agrupam-se $C_{E,x}$ e $C_{L,x}$ em classes e calcular os custos por classe, conforme equações 14:

$$C_{E,K}(r_i) = \frac{\sum_{x \in K} C_{E,x}}{n} \quad (US\$/MWh)$$
(14)

$$C_{L,K}(r_i) = \frac{\sum_{x \in K} C_{L,x}}{n} \quad (US\$/kW)$$

- 5ª – Ponderam-se os valores por classe.
- 6ª – Calculam-se os custos normalizados por setor. A função de danos por setor SCDF é apropriadamente ponderada para produzir um valor para todo o setor.

As equações que seguem mostram como são calculados os custos normalizados por setor.

Para um setor genérico, podem ser escritas as equações 15 a seguir.

$$C_{E,y}(r_i) = \frac{\sum_{K \in ns} C_{E,K}(r_i) \cdot E_K}{\sum_{K \in ns} E_K} \quad (US\$/MWh)$$

(15)

$$C_{L,y}(r_i) = \frac{\sum_{K \in ns} C_{L,K}(r_i) \cdot L_K}{\sum_{K \in ns} L_K} \quad (US\$/kW)$$

onde, $C_{E,y}(r_i)$ e $C_{L,y}(r_i)$ referem-se à função de danos por setor. Isto é definido como custo normalizado do setor devido a interrupções no fornecimento, expressa como uma função da duração da interrupção para o usuário. Na verdade, representam os custos que um usuário em um setor poderia ter por MWh consumido anualmente ou por kW da demanda de pico.

- 7ª - Uma análise das funções de danos por setor (SCDF) em US\$/MWh e em US\$/kW revela uma relação entre estes valores que pode ser vista na equação 16:

$$C_{E,y} = \frac{C_{L,y}}{LF_y \cdot 8,76} \quad (US\$/MWh) \quad (16)$$

4.7 - QUESTIONÁRIO UTILIZADO NA INDÚSTRIA TÊXTIL AVALIADA

Para levantamento dos dados na indústria têxtil de Três Lagoas – MS analisada, foi utilizado um questionário elaborado de acordo com as recomendações e cuidados observados na literatura.

A primeira parte, constituída por questões, levanta aspectos mais gerais e conhecidos sobre a empresa, tipos de equipamentos utilizados, existência de equipamentos de geração de emergência etc.

A segunda parte, constituída por dezenove questões, é mais específica e aborda as falhas de curta duração.

Como trata de um assunto ainda pouco explorado no ambiente industrial, esta parte é acompanhada de um texto explicativo sobre as variações de tensão de curta duração.

Inicialmente apresenta-se a descrição da indústria analisada.

1. Fornecedor de Energia Elétrica

Empresa fornecedora:	Elektro
Subestação ou ponto de entrega:	
Tensão de fornecimento (kV):	13.8
Consumo médio mensal ou anual (Kwh):	2941
Demanda máxima (Kw):	226

2. Máquinas e Equipamentos

Ano de implantação da planta:	2001
Fabricantes / procedência:	Barmag
Planos de modernização (previsão de uso de equipamentos mais sensíveis):	Atualmente possuímos umas das mais modernas máquinas do ramo de texturização do Brasil, com previsão de implantação para o ano de 2003/01 mais seis novas máquinas colocando-nos entre as três mais modernas do mundo.

3. Linha de produção

Quais são os setores e quais os tipos de máquinas instaladas em cada um deles?	
SETORES	EQUIPAMENTOS
Sala de Utilidades	Compressores Centac, Resfriador de água Chiller, Cecadores de ar, Torre de resfriamento.
Laboratório	Equipamento de Dinamometria, Microscópico, Estufa, Torcedor de Fio, Balança de alta precisão, Computadores, Aquecedores, etc.
Produção	Máquinas texturizadoras AFK, AFK, Multi-Fuso, FK6, Máquina de Meia, Ferros Aquecedores, Empilhadeira Elétrica.
Sistema de Climatização	Trocador de calor, Bombas d'água, Ventiladores e Exaustores, Sensores Termostáticos.
Há possibilidade de estoques intermediários preventivos para não paralisar toda a produção por causa de um setor parado por mais tempo? Quanto custaria estes estoques?	
Não	
Qual o percentual do processo que é paralisado por falhas de curta duração?	
98% de paralisação	

4. Dados sobre os equipamentos sensíveis a falhas na energia Elétrica

	Qtde	Fabricantes / Modelos	Tensão de alimentação, potência, etc.
CLP's (controladores lógicos programáveis)	05	Ingersoll-Rand	24 V
	44	Barmag	24 vV
Reles de controle	02	Dires	13.8 kV
	43	ABB	21 → 380 V 22 → 220 V
Contactores	153	Siemens (prod)	
	83	ABB	
Motores	1080	ATB	220 V
	17	Weg	380 V

	248		220 V
ASD's (acionamentos de velocidade variável)	59	Barmag	24 V
	01	Siemens	220 V
Outras cargas	630	Fornos	220 V

5. Dispositivos mais afetados

Na sua percepção, quais são os maiores responsáveis pelas perdas de produção?	
CLP's:	SIM
Processos computadorizados:	SIM
Acionamento de velocidade variável:	SIM
Motores:	SIM
Outros:	PICOS E QUEDAS DE ENERGIA

6. Geração de emergência (se houver)

Tipo: (Baterias, geradores etc)	NÃO
Qual a parte atendida:	
Custos:	
Investimento realizado:	
Operação/manutenção:	
Desde quando estão disponíveis:	
Planos de implantação ou ampliação:	

7. Estimativa das perdas por interrupção de energia

Pedimos dar uma idéia do custo global das perdas, considerando interrupções de:	
4 horas:	R\$ 50.000,00 + R\$ 30.000,00
1 hora:	R\$ 10.000,00 + R\$ 6.000,00
1 minuto:	R\$ 6.000,00 + R\$ 4.000,00
1 segundo:	R\$ 6.000,00 + R\$ 4.000,00
Observações:	
Pode indicar uma faixa de valores: mínimo, médio e máximo, por exemplo.	
A informação pode ser dada como percentual da produção diária.	

8. Dados contábeis e de mercado

Principais produtos:	Filamentos Texturizados de Polyester
Número de trabalhadores:	150
Horários dos turnos:	6 – 14 // 14 – 22 // 22 – 6
Mercado (a quem o produto se destina):	Malharias e Tecelarias
Localização do seu mercado (regiões do país, cidades, outros países etc):	Sul, Sudeste. (São Paulo, Sta Catarina, Minas)

9. Endereço e pessoas de contato

Nome da empresa:	Avanti Ind. Com. Imp. Exp. Ltda
Pessoas de contato:	Sérgio, Tupy
Endereço:	Rodovia BR 156
Telefone:	(0**67) 522-3761
E-mail:	manutenção@avanti-fios.com.br

IMPACTOS DAS FALHAS DE CURTA DURAÇÃO

1. O prejuízo devido a uma interrupção de curta duração (menos de 1 minuto), citado anteriormente, poderia ser distribuído nas parcelas s seguir?

Total: R\$	
Se possível indique a parcela de cada item	
Produto:	70%
Trabalho:	15%
Custos indiretos:	10%
Possibilidade de acidentes e danos pessoais:	5%

2. A produção ou serviços perdidos podem ser recuperados?

Em dias seguintes:	NÃO
Usando horas extras:	NÃO

3. Quais os dias da semana em que as perdas são maiores?

Finais de semana

4. As perdas dependem da hora em que ocorre a falha? Quais horários são mais críticos?

Em qualquer horário o prejuízo é muito grande

Sabendo que dezenas de falhas de curta duração (que duram menos de 1 minuto) podem ocorrer por ano, pedimos estimar quantas falhas deste tipo poderiam ter levado a interrupções do seu processo produtivo nos últimos anos.

5. Quantas interrupções de energia de curta duração crê haver sofrido?

Nos últimos anos (por ano):	9 paradas por ano
Nos últimos meses (por mês):	01 por mês

6. Quantas variações de tensão de curta duração crê haver sofrido?

Nos últimos anos (por ano):	Sem registro
Nos últimos meses (por mês):	Sem registro

7. As falhas de curta duração lhe causam prejuízo?

Sim, Perda de produção, perda de tempo para restabelecimento do sistema e perda da qualidade
--

8. Quantas interrupções do processo de produção poderiam ser devidas a afundamentos da tensão?

Nos últimos anos:	20 paradas
-------------------	------------

9. Existe suspeita de falhas não identificadas na energia? Quantas?

Nos últimos meses:	10 paradas
Se possível, cite como a falha se manifesta:	Corte de Produção e desligamento das máquinas. Piscada elétrica

10. Em média, quanto tempo tem durado as interrupções do processo causadas por falhas de curta duração?

Em média 5 horas

11. Quando ocorreu e quanto tempo durou a última falha?

Há mais ou menos 3 meses e durou por volta de 4 horas

12. Na sua opinião, qual a tendência quanto ao número de falhas?

Melhora a cada ano, tornando-se menor?	Com certeza
Aumenta?	Não
O que espera para o futuro?	Melhorias em todos os sentidos
No período de Chuvas – Maio e Março	

13. Seria desejável algum tipo de aviso sobre a falha ocorrida?

Logo após cada distúrbio:	Sim
Relatórios mensais sobre as falhas seriam suficientes:	Sim

Responda se tiver algum tipo de informação sobre o efeito dos distúrbios indicados abaixo.

14. Quanto do seu processo é afetado quando a tensão chega momentaneamente a 70% do seu valor nominal, durante um tempo inferior a 1 segundo?

Não possuímos nenhum registrador de variação de tensão, porém nesse nível as máquinas podem parar.

15. Quanto do seu processo é afetado quando a tensão chega momentaneamente a 50% do seu valor nominal, durante um tempo inferior a 1 segundo?

Já nestas condições, há uma probabilidade de parada total da fábrica.

16. As variações momentâneas de 1 a 3 Hz na frequência também lhe preocupam?

Não

17. Quantas destas variações de frequência crê haver sofrido?

Nos últimos anos:	Sem registro
Nos últimos meses:	Sem registro

18. Quantas interrupções do processo de produção poderiam ser devidas a variações de frequência?

Nos últimos anos:	Sem registro
Nos últimos meses:	Sem registro

19. Relacione abaixo os prêmios (nacional e internacional) recebidos pela empresa por investimentos na qualidade do produto

Prêmio de Sistema de Climatização de ar (Recente)

O gráfico da Figura 13 mostra as falhas relatadas.

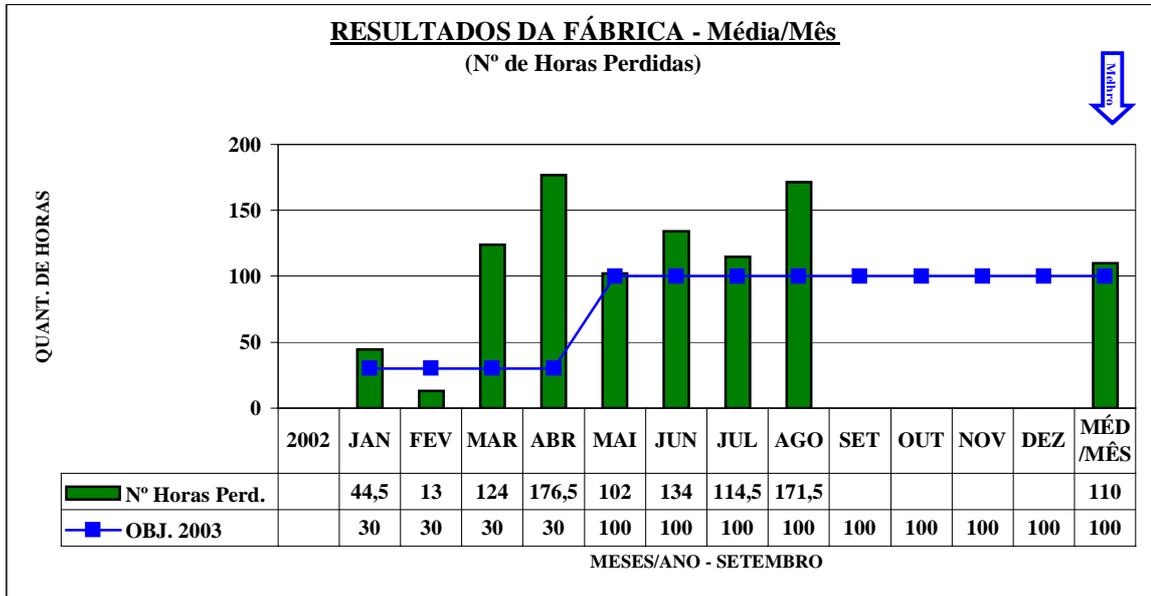


Figura 13 – Número de horas perdidas por Afundamento de Tensão

Os gráficos das Figuras 14 e 15 mostram o desempenho da qualidade de produção da indústria têxtil analisada.

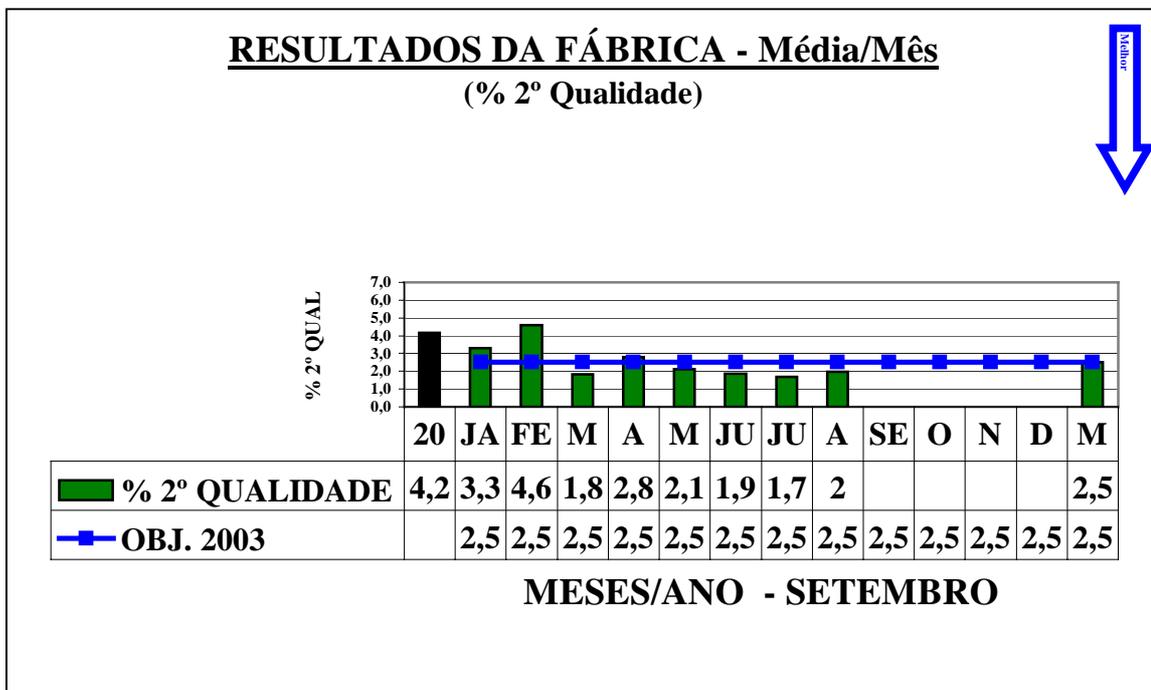


Figura 14 – Gráfico de qualidade

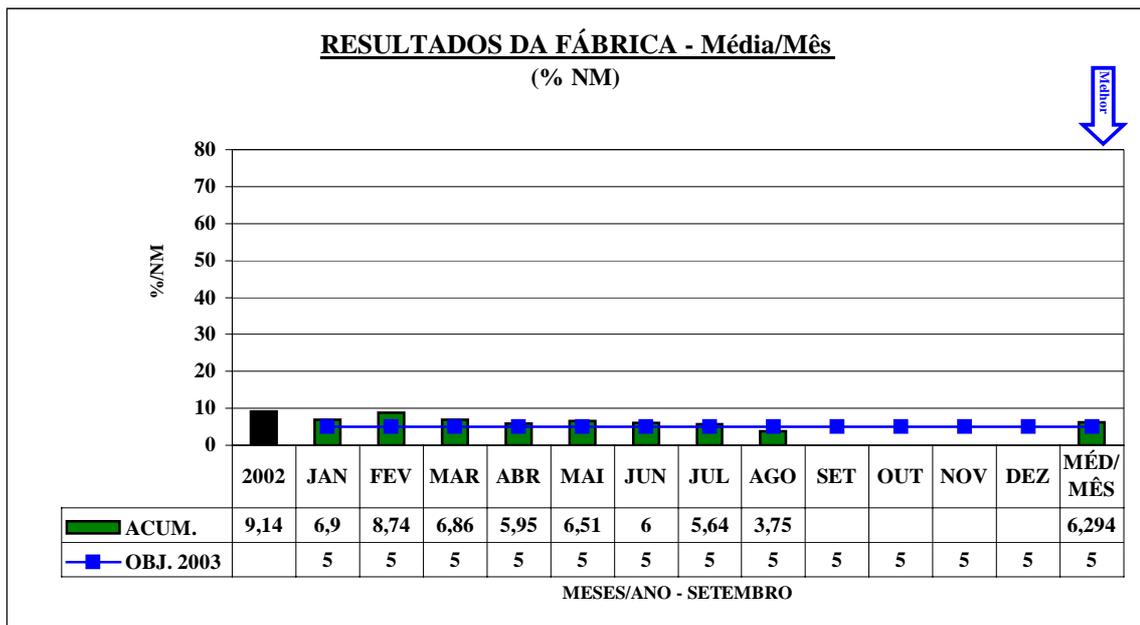


Figura 15 – Resultados da Fábrica

4.8 – CONCLUSÃO

É importante ressaltar que a escolha dos instrumentos a serem utilizados na pesquisa, assim como uma correta parametrização dos mesmos, influi diretamente no sucesso do programa de medição, sem que, corra-se o risco de perder registros e mascarar eventos, levando à má interpretação de resultados.

Embora auto-explicativas, observa-se que as respostas ao questionário são obtidas quando acompanhado de orientações e sugestões sobre a resposta. Entretanto, tal expediente não pode ser entendido como interferência no resultado, sendo muito mais uma orientação para a avaliação razoável, consideradas as informações disponíveis em trabalhos já desenvolvidos.

CAPÍTULO V

ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO DE AFUNDAMENTO DE TENSÃO - “MÉTODOS DE MITIGAÇÃO NA INDÚSTRIA TÊXTIL”

5.1 - ANÁLISE ECONÔMICA DOS MÉTODOS DE MITIGAÇÃO

Investimento em equipamento de mitigação, como forma de prevenir as falhas causadas por afundamento de tensão, deve ser objeto de análise custo-benefício. Esta análise de custo-benefício pode ser realizada usando o método de VALOR PRESENTE DE VOLUME (NPV) [1].

O investimento no equipamento de mitigação pode ser justificado se o fluxo de caixa, com a NPV total descontada, for positivo. Os seguintes elementos devem ser levados em consideração: investimento, manutenção e perdas por parada do equipamento.

Como exemplo de investimento em equipamentos de mitigação por uma indústria têxtil, pode ser observado o gráfico da Figura 16, onde os sucessos dos investimentos estão na parte positiva do gráfico e os insucessos na parte negativa [1].

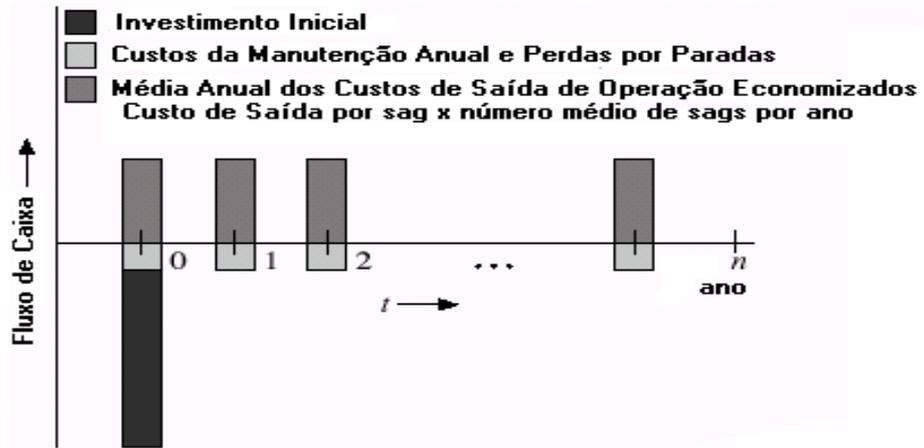


Figura 16 – Fluxo de Caixa na Análise do Custo-Benefício quando são instalados equipamentos para mitigação

Usando o Método NPV, obtém-se o seguinte custo por kVA:

$$NPV = (f \cdot C_{sag} - C_{mnt}) \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \cdot i} - C_{inv} \quad (17)$$

onde,

C_{inv} → investimento inicial por kVA;

f → Número de falhas por ano no qual o total de NPV será 0;

C_{sag} → Custo de falha por afundamento por kVA;

C_{mnt} → custo de manutenção por kVA por ano,

i → fator de desconto;

n → tempo projetado em anos;

O custo de manutenção e as perdas por interrupções podem ser expressas como uma porcentagem anual do custo adquirido, ou seja:

$$C_{mnt} = p_{mnt} \cdot C_{inv} \quad (18)$$

onde, p_{mnt} é o custo de apoio da manutenção.

Na equação 17, a variável f é o número dos afundamentos a partir do que a aquisição do equipamento de mitigação é economicamente justificada. Como visto anteriormente, a aquisição de equipamentos de mitigação pode ser financeiramente justificada se a NPV é positiva. Uma vez que o NPV é negativa quando $f=0$ (nenhuma mitigação) e o NPV aumenta

com um aumento de f , pode ser encontrado um f para o qual o NPV se transforma de negativo para positivo. Desta maneira, a equação 17 pode ser reescrita como:

$$f = \frac{C_{inv}}{C_{sag}} \left[\frac{(1+i)^n (i + p_{mt}) - p_{mt}}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (19)$$

A média de C_{sag} , para o processo de extrusão de fibra têxtil, esta na ordem de 2,5 Euros por kVA por falha [1].

5.2 - MÉTODOS DE MITIGAÇÃO

Neste item são discutidos os possíveis métodos de mitigação que podem ser aplicados no processo de fabricação de fibra têxtil e estimativa a partir de quantas interrupções do processo salvas por ano, o equipamento de mitigação pode se tornar economicamente atrativo. Estes métodos de mitigação podem ser subdivididos em 4 categorias, como mostrado na Figura 17.

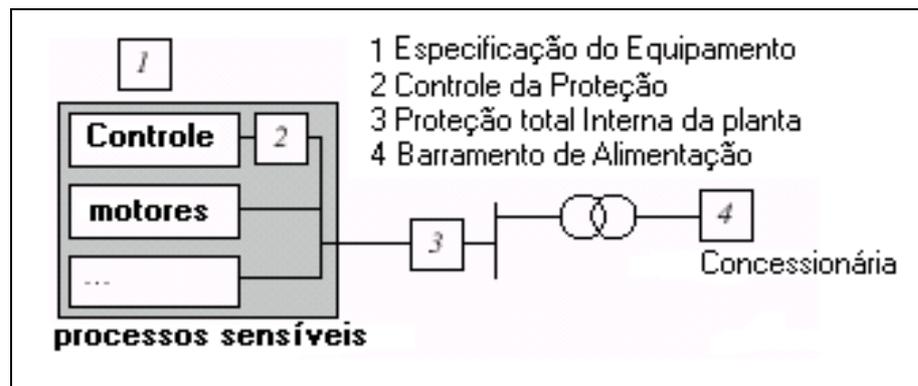


Figura 17 – Sugestão de possível método de mitigação

5.2.1 - Soluções Possíveis

Mudar um cliente sensível de um alimentador para um outro pode acontecer, mas é uma solução sem atuar dentro da planta da fábrica, e depende muito da configuração do sistema da concessionária, que fornece a energia elétrica, o que acontece fora do espaço do cliente industrial. Uma vez que esta solução só pode ser aplicada em certos casos e seus custos variam consideravelmente devido ao ambiente geográfico elétrico, tais aspectos não serão tratados neste trabalho.

As outras soluções podem sempre ser aplicadas, independentes da situação do sistema alimentador de entrada de energia elétrica da indústria.

5.2.2 - Sistema de Proteção Interno da Indústria

O equipamento de proteção pode ser colocado entre a rede principal e o processo sensível como mostra a Tabela 16.

Tabela 16 – Equipamentos para proteção total no lado interno da indústria e seus respectivos custos.

	Área de Mitigação	Custo de investimento inicial por kVA por grandes cargas (R\$)	Custo de manutenção e interrupção
UPS (Suprimento de energia sem interrupção)	Início do limite	1.016,00	10%
Flywheel (Volante de medição)	Limite	635,00	5%
DVR (Regulador dinâmico de tensão)/ StantCom (Compensador estático)	Limite	762,00	5%
UPFC (Controlador de saída de energia unificado)	Limite e.g. [6].[7]		1%
DySC (Regulador dinâmico de afundamento)	Limite e.g. [7]	508,00	

OBS: € \$ 1 = R\$ 2,54

A duração dos projetos de mitigação são estimados para 15 anos, uma vez que tanto a duração de uma linha de produção de uma indústria quanto a vida útil dos equipamentos é correspondente a este tempo.

Escolhendo esta estimativa de vida para todos os equipamentos de mitigação, a proteção pode ser estimativa com uma vida mais longa. Devido ao fato de que o risco do retorno do dinheiro, de que alguns benefícios decorrentes, para se evitar as falhas do processo não foram levados em consideração, um fator de desconto de 7% é indicado.

Nesta fase, a escolha de um fator de desconto mais elevado (por exemplo 15%) ou de uma estimativa de vida de um projeto menor (por exemplo 10 anos) não afetará muito as conclusões finais [1].

Quando se calcula o número de afundamentos em torno dos quais a aquisição de equipamento de proteção seria economicamente justificada, conclui-se que até mesmo a instalação de uma opção mais barata só seria interessante se nos confrontássemos com 10 ou mais falhas por ano.

5.2.3 - Soluções no Processo Industrial

As soluções 1 e 2 da Figura 17 são aplicadas dentro do próprio processo. Na maioria das vezes elas só podem ser instaladas em acordo com o fabricante do equipamento, que ajusta as suas proteções de maneira a afastar riscos, diminuindo assim a sensibilidade dos mesmos.

No mercado internacional, existem fabricantes de equipamentos para a indústria têxtil que já ofereceram soluções para clientes que tem problemas com afundamento de tensão.

Um fabricante ofereceu linhas de produção que usam o princípio da reversão cinética a fim de fornecer um caminho através dos afundamentos de tensão. Com isto, os motores se tornam geradores durante o afundamento e fornecem energia de volta até a conexão DC, mantendo no carregador DC um nível elevado de tensão evitando assim a atuação da proteção por sub tensão [1].

Durante o afundamento de tensão, todos os motores desacelerarão para um padrão de frequência imposto por um motor chamado de mestre. Este sistema funcionará por pelo menos 0,5 segundo mesmo que ocorra um colapso total de tensão. Este tempo de 0,5 segundo é suficiente, visto que a maioria dos relés de proteção, da rede de distribuição, atua em menos de 0,3 segundo sob condição de curto-circuito. Se for introduzido no custo adicional de cerca de 30 Euros por kVA para esta modificação imposta na equação 18, conclui-se que a mitigação entre uma e duas sags por ano já justifica o investimento adicional para uma linha de produção imunizada [1].

Um outro fabricante sugere a separação das cargas que são acionadas por equipamentos sensíveis aos afundamentos. Este fabricante afirma que se os motores com controle de velocidade são todos considerados sensíveis, o alimentador sensível transportará 45% da carga total (que corresponde à potência instalada destes equipamentos em uma planta industrial têxtil).

Portanto, o custo para imunizar o equipamento será também de 45%. Uma vez que só 45% da carga tem que ser protegida, a aquisição de um DySC será atraente com 5 afundamentos por ano. Se os afundamento de tensão são mais severos que DySC pode segurar, outra alternativa deve ser estudada [1].

5.3 - CONCLUSÃO

Se for observada a grande variedade de produtos dos fabricantes das máquinas para a indústria têxtil (a maioria dos equipamentos são importados), pode ser visto que oferecem sistema separado para os clientes que tem problemas com as falhas.

Este sistema se torna comercialmente atrativo quando se tem um afundamento por ano com um fabricante e cinco afundamentos por ano com outro fabricante. Procurando melhorias possíveis para o último fabricante, o acréscimo de um conversor regulador de tensão imunizaria o seu sistema em relação ao afundamento de tensão mais comum. O custo adicional desta solução seria justificado se aliviasse a dois ou mais afundamento por ano.

Além do mais, o método proposto de redução de quantidade de perda de matéria – prima devido ao afundamento reduziria as perdas até 50%, o que seria interessante no equipamento existente.

CAPÍTULO VI

CONCLUSÕES

6.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

A infraestrutura de energia elétrica construída ao longo dos últimos anos tem sido decisiva para o desenvolvimento econômico do país, sendo visível a relação entre oferta de energia e crescimento econômico. O Brasil ampliou sua participação no mercado global, passando a oferecer produtos manufaturados de alto valor agregado, necessitando de condições extremas de competitividade. Melhorar a qualidade do fornecimento, tornando o serviço mais eficiente, com menores custos e mais adequados às exigências dos consumidores, em especial os consumidores industriais, é o grande desafio dos últimos anos.

As interrupções, os afundamentos momentâneos de tensão, assim como as elevações momentâneas, provocam perdas significativas de produção no setor industrial têxtil.

As indústrias com extensos períodos de produção contínua, ou seja, com funcionamento em três períodos, não têm como recuperar as paradas ocasionadas devido às falhas no sistema elétrico, sendo tais indústrias as que mais sofrem com os distúrbios de afundamentos de tensão. Pequenas falhas, antes sem qualquer efeito tangível, passam a representar grandes prejuízos para a indústria têxtil devido ao uso de novas tecnologias de automação sensíveis a mergulho de tensão, como é o caso dos motores com acionamentos variáveis.

Com base nas informações, das respostas ao questionário observa-se os riscos das falhas e qual a dimensão da perda financeira. Esta é a base para a decisão sobre a melhor condição: vale-se a pena optar por uma melhor condição de fornecimento de energia, implementar recursos que minimizem as falhas, substituir os equipamentos ou conviver com a situação.

6.2 - SUGESTÕES DE CONTINUIDADE DO TRABALHO

A partir das evidências detectadas pelo presente trabalho, várias seriam as possibilidades de continuidade para a minimização dos problemas levantados. Como ilustração podemos mencionar:

- a) Monitoramento das grandezas elétricas na entrada do barramento industrial. A partir destes dados, obter resultados quantitativos, para os custos finais (perdas) devido aos afundamentos de tensão, utilizando-se os diferentes métodos propostos, comparando-os entre si.
- b) Incluir distorções harmônicas de tensão e corrente como novos fenômenos a serem observados durante as interrupções dos processos produtivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DIDDEN, M.; BELMANS, R.; D'HAESELEER, W.: Lessons learned from a thorough voltage sag case study. PQA conference, Pittsburgh/USA, 2001.
- [2] SANGHVI, A.P. Economic cost of electricity supply interruptions – US and foreign experience. **Energy Economics**, v.4, n.3, July. p. 180-198, 1982.
- [3] WACKER, G.; BILLINTON, R. Customer costs of electric service interruptions. Proceedings of the IEEE, v.77 n. 6, June, p.919-930, 1989a.
- [4] WANG, P.; JENKINS, N.; BOLLEN, M. Experimental investigation of voltage sag mitigation by an advanced Static VAr Compensator. IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 13 (1998), no. 4, pp. 1461–1467.
- [5] BREALEY, R.; MYERS, S.: Principles of corporate finance (international edition), 5 th edition, New York/USA: McGraw-Hill,1996.
- [6] BOLLEN, M. H. J. Understanding power quality problems, voltage sags and interruptions, Piscataway/USA, IEEE Press Series, 2000. 541p.
- [7] SARMIENTO H.G. AND E. ESTRADA. “A voltage sag study in an industry with adjustable speed drives,” *IEEE Ind. Appl. Mag.*, vol. 2, pp. 16–19, Jan./Feb. 1996.
- [8] FREITAS FILHO, A. P. **Potência e Indústria (1850-1950): Uma contribuição ao Estudo da Indústria no Brasil sob a Ótica da Força Motriz.** São Paulo, 1999. 305p.
- [9] OLIVEIRA, H. R. P. M.; JESUS, N. C.; FIGUEIREDO, C. E. C.; LÍBANO, F. B.;DIAS, G. A. D. Monitoramento da qualidade da tensão em um consumidor industrial. SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA, 4, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, agosto, 2001.p. 391-402.
- [10] BRANCO, C. Energia Elétrica e Capital Estrangeiro no Brasil. São Paulo: Alfa-Omega, 1975.
- [11] BAER, W. **A Industrialização e o Desenvolvimento Econômico do País.** 4ª edição. Rio de Janeiro, Fundação Getúlio Vargas, 1979.

- [12] KARIUKI, K. K.; ALLAN, R. N. Factors affecting customer outage costs due to electric service interruptions. **IEE Proceeding-Generation, Transmission, Distribution**, v. 143, n.6, November, p. 521-528, 1996c.
- [13] FRASER, R. Prince, Quality And Regulation – Na analysis of price and reliability of electricity supply. **Energy Economics**. V. 16, n.3, july, p. 175-183, 1994.
- [14] MME. Ministério das Minas e Energia. Características do desenvolvimento energético brasileiro. Disponível em: [http:// www.mme.gov](http://www.mme.gov). Acesso em: september 2005.
- [15] LEITÃO, J. J. A.L. **Impactos Econômicos Causados pelos Distúrbios na Rede Básica de energia: curtos-circuitos, interrupções e afundamentos de tensão**. Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, 2002. 230p.
- [16] NRS. 048-2. Electric Supply – Quality of Supply. Part 1; Minimum Standards, 1996.
- [17] RAMOS, A. J. P.; MEDEIROS, R. K. D. Avaliação e mensuração da qualidade da energia através dos indicadores das normas Sul Africanas: análise conceitual, atributos e análise de casos em sistemas reais. SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA, 4, Porto Alegre. **Anais...** Campinas, outubro, 2001.
- [18] IEEE. **Recommended practice for emergency and standby power systems for industrial and commercial applications**. New York: IEEE Std. 446, 1995
- [19] IEEE. **Recommended practice for evaluating electric power system compatibility with electronic process equipment**. IEEE Stand. 1346, 1998.
- [20] CASTRO, J. G. V. **Metodologías de Evaluación de Costo de Falla en Sistemas Eléctricos**. Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Ingenieria, Santiago de Chile, 1994.
- [21] SULLIVAN, M.J.; SUDDETH, B. N.; VARDELL. T.; VOJDANI. A interruption Costs, Customer Satisfaction and Expectations for service Reliability. *Transactions on Power Systems*, v. 104, n.11, 1996.