

**RITA MARIA BEZERRA MARQUES**

**FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA  
AVALIAÇÃO DO IMPACTO ECONÔMICO DA  
QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR  
DE PRODUÇÃO DAS INDÚSTRIAS**

**FORTALEZA 2006**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**

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

**FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA  
AVALIAÇÃO DO IMPACTO ECONÔMICO DA  
QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR  
DE PRODUÇÃO DAS INDÚSTRIAS**

Dissertação submetida à Universidade Federal do Ceará como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

**RITA MARIA BEZERRA MARQUES**

Fortaleza, janeiro de 2006.

# **FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DO IMPACTO ECONÔMICO DA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR DE PRODUÇÃO DAS INDÚSTRIAS**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em *Eletrônica de Potência e Acionamentos*, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará.

---

Rita Maria Bezerra Marques

---

Prof<sup>ª</sup>. Ruth Pastôra Saraiva Leão, PhD  
Orientadora

---

Prof. Otacílio da Mota Almeida, Dr.  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora:

---

Prof<sup>ª</sup>. Ruth Pastôra Saraiva Leão, PhD

---

Prof. Fernando Luiz Marcelo Antunes, PhD

---

Prof<sup>ª</sup>. Maria da Guia da Silva, PhD

---

Prof. José Belo Torres, Dr.

Fortaleza, janeiro de 2006.

*Dedico este trabalho aos meus  
pais, Maria de Fátima e  
Edberto, às minhas irmãs, Rute  
Maria e Rejane Maria, e ao  
meu amor, Walber.*

---

## AGRADECIMENTOS

---

A Deus pela força que encontro todos os dias de minha vida.

Ao meu pai, Edberto V. Marques e à minha mãe, Maria de Fátima B. Marques, pela educação que me proporcionaram e pelo incentivo na realização do mestrado.

Às minhas irmãs, Rute Maria e Rejane Maria pelo apoio constante e incondicional dados a mim durante a realização deste trabalho.

Aos meus queridos sobrinhos, Rômulo e Rodrigo, pelas horas de distração que me proporcionaram.

Aos meus cunhados, Rodrigo pela força na elaboração das planilhas eletrônicas, Leocádio e Ana Marília pelo encorajamento e incentivo.

Ao meu amor, Walber, que por tantas vezes me deu carinho, conforto e incentivo, tendo, por muitas vezes, que ter paciência.

À minha orientadora, professora Ruth Leão, pelo apoio, motivação e competência com que desempenha o seu trabalho, e enfim, pela participação no desenvolvimento desta dissertação.

Aos professores do PPGEE da UFC pela contribuição direta ou indireta neste trabalho.

Aos engenheiros eletricitas das indústrias cearenses que participaram da pesquisa por meio da resolução do questionário.

Aos funcionários, amigos e colegas do PPGEE.

Aos amigos do mestrado, que vivenciaram comigo as alegrias e tristezas destes dois anos de estudo.

A Capes pela oportunidade concedida e apoio financeiro.

Enfim a todos que acreditaram e incentivaram.



CAPÍTULO 4 ANÁLISE DE CUSTO DA FALTA DE QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR INDUSTRIAL .....	50
4.1 Construção das Planilhas Eletrônicas para a Estimação do Custo da Falta de Qualidade de Energia Elétrica .....	50
4.1.1 Planilha do cálculo do custo da falta de qualidade de energia elétrica.....	51
4.1.2 Planilha para estatística das indústrias .....	61
4.2 Análise das Informações Obtidas dos Questionários Aplicados .....	70
4.3 Conclusão .....	83
CAPÍTULO 5 CONCLUSÃO .....	84
5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros .....	85
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	86
APÊNDICE A SELEÇÃO DAS INDÚSTRIAS PESQUISADAS.....	91
APÊNDICE B QUESTIONÁRIO DA PESQUISA .....	94

Resumo da Dissertação apresentada a UFC como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

## **FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DO IMPACTO ECONÔMICO DA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR DE PRODUÇÃO DAS INDÚSTRIAS**

**Rita Maria Bezerra Marques**

Janeiro/2006

Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Ruth Pastôra Saraiva Leão, PhD.

Área de Concentração: Eletrônica de Potência e Acionamentos.

Palavras-chave: Qualidade de energia elétrica, custo, planilha, indústria.

Número de Páginas: 135.

RESUMO: No ambiente industrial competitivo de hoje, os executivos de operação e produção são cada vez mais requeridos a fazer mais com menos, e a pressão é constante para aumentar produtividade e cortar custos. Os distúrbios elétricos causam perdas econômicas sendo responsáveis por paradas inexplicáveis e indesejáveis na produção. O presente trabalho propõe um método para a estimação da perda de produção relacionada à energia elétrica levando-se em consideração a frequência de ocorrência dos fenômenos que causam prejuízos para as indústrias, a duração dos mesmos e o número de linhas de produção afetada por cada distúrbio. O método é de baixo custo de implementação com o levantamento de informações realizado por questionário em que se apresenta um conjunto de cenários que descrevem distúrbios elétricos factíveis de ocorrerem na indústria, em um tempo específico, com uma certa duração, com e sem notificação prévia pela concessionária. A estimação do custo das variações na qualidade da energia sobre a produção das indústrias é obtida por meio de uma ferramenta computacional desenvolvida em *Visual Basic*<sup>®</sup> e *Excel*<sup>®</sup>. Além do custo individual de cada indústria, a ferramenta desenvolvida permite a comparação do impacto da qualidade da energia entre empresas permitindo avaliar as variáveis de custo de maior impacto e os setores de maior sensibilidade. Os distúrbios elétricos podem ter significantes conseqüências econômicas para muitos tipos diferentes de negócios, conhecer a dimensão do problema é o primeiro passo para solucioná-lo de forma adequada.

Abstract of Dissertation presented to UFC as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Electrical Engineering.

## **A COMPUTER PROGRAM FOR THE EVALUATION OF THE ECONOMICAL IMPACT OF THE POWER QUALITY IN THE INDUSTRY PRODUCTION PROCESSES**

**Rita Maria Bezerra Marques**

Jan./2006

Supervisor: Prof<sup>a</sup>. Ruth Pastôra Saraiva Leão, PhD.

Area of Concentration: Power Electronics and Driver

Keywords: Cost, economic impact, power quality, production process.

Number of Pages: 135.

**ABSTRACT:** In the competitive industrial environment, the personnel in charge of the operation and manufacturing processes are strongly requested to do more with less, and the pressure is constant to increase productivity and to cut costs. The electric disturbances cause economical losses being responsible for inconceivable and undesirable halts in the production. The present work proposes a method for the estimation of the production loss related to outages taking into account the frequency of occurrence of the phenomena, its duration and the number of production lines affected by the disturbances. The method is of low implementation cost with the acquisition of data accomplished by questionnaire which presents sceneries with a set of feasible electric disturbances to the industry, which may occur in a specific time, with certain duration, with and without previous notification for the dealership. The cost of the power quality variations on the industry production is estimated through a computer tool developed in *Visual Basic*<sup>®</sup> and *Excel*<sup>®</sup>. Besides the individual cost for each industry, the developed tool allows the comparison of the impact of the power quality variation among companies, allowing evaluating the terms of the cost of larger impact and the industry sectors of larger sensitivity. The electric disturbances can have significant economical consequences for many different types of businesses, to know the dimension of the problem is the first step to solve it in an appropriate way.

---

## LISTA DE FIGURAS

---

Figura 1.1	Custo médio da falta por kWh em relação aos grupos de consumidores residenciais, industriais, comerciais, e serviços de iluminação pública e hospitalar [2].	5
Figura 1.2	Frequência de ocorrência de interrupções em um ano típico para sete variações de durações destes eventos [3].	6
Figura 1.3	Valor anual agregado de problemas na QEE em bilhões de dólares americanos	7
Figura 1.4	Percentual estimado de custo para a ocorrência de interrupções de energia elétrica por kWh consumido no ano [3].	7
Figura 1.5	Valor médio em dólar para cada duração representada em relação a cada tipo de custos e economias conseqüentes de interrupções [3].	8
Figura 1.6	Porcentagem da composição do PIB setorial de 2000 do Estado do Ceará. FONTE: IPLANCE/Células de Contas Regionais.	8
Figura 1.7	Participação percentual setorial no consumo de energia elétrica no ano de 2001 no Estado do Ceará. FONTE: Departamento de Mercado - COELCE.	9
Figura 2.1	Custo de interrupção de energia elétrica em dólar/kWh de acordo com a duração e o grupo de consumidores [41].	22
Figura 3.1	Curva dos custos anuais dos consumidores e concessionárias versus confiabilidade do sistema elétrico de potência.	33
Figura 3.2	Fluxograma para a obtenção do custo anual de perda de materiais e produtos por distúrbio $j$ , $C_{MP(j)}$ .	42
Figura 3.3	Fluxograma para a obtenção do custo anual de capital e mão-de-obra ociosos devido à influência do distúrbio $j$ , $C_{CM(j)}$ e do custo anual com a recuperação da produção devido à ocorrência do distúrbio $j$ , $C_{R(j)}$ .	43
Figura 3.4	Fluxograma para a obtenção do custo anual com mão-de-obra associado à recuperação da produção durante horas extras de trabalho devido a ocorrência do distúrbio $j$ , $C_{HEX(j)}$ .	44
Figura 3.5	Fluxograma para a obtenção do custo anual da energia não consumida durante a interrupção do processo, devido à ocorrência do distúrbio $j$ , $C_{E(j)}$ e do custo	

anual de substituição de materiais e equipamentos por causa da ocorrência do distúrbio $j$ , $C_{S(j)}$ .....	45
Figura 3.6 Fluxograma para a obtenção dos custos anuais diversos associados à operação da indústria, $C_{DAop}$ .....	46
Figura 3.7 Fluxograma para a obtenção dos custos anuais diversos associados à ocorrência do distúrbio $j$ , $C_{DAd(j)}$ e dos custos anuais diversos, por distúrbio $j$ , $C_{D(j)}$ .....	47
Figura 3.8 Fluxograma para a obtenção do custo anual da falta de qualidade de energia elétrica por distúrbio $j$ , $C_{FQ(j)}$ .....	48
Figura 3.9 Fluxograma para a obtenção do custo anual da falta de qualidade de energia elétrica na indústria, $C_{FQ\_Total}$ .....	49
Figura 4.1 Janela inicial da planilha de estimação do impacto econômico dos distúrbios de energia elétrica.....	52
Figura 4.2 Informações gerais da indústria.....	53
Figura 4.3 Custos operacionais da indústria.....	53
Figura 4.4 Janela de aviso sobre o início da simulação por tipo de distúrbio.....	54
Figura 4.5 Janela para obtenção das características do distúrbio elétrico a ser analisado..	54
Figura 4.6 Janela para obtenção do custo anual de perda de materiais e produtos por distúrbio $j$ .....	55
Figura 4.7 Janela para a estimação do custo anual de capital e mão-de-obra ociosos devido à influência do distúrbio $j$ .....	55
Figura 4.8 Janela para a obtenção do custo anual com a recuperação da produção devido à ocorrência do distúrbio $j$ .....	56
Figura 4.9 Janela para a obtenção do custo anual com mão-de-obra associado à recuperação da produção durante horas extras de trabalho devido à ocorrência do distúrbio $j$ .....	56
Figura 4.10 Janela de obtenção do custo anual de substituição de materiais e equipamentos por causa da ocorrência do distúrbio $j$ .....	57
Figura 4.11 Janela de obtenção do custo anual da energia não consumida durante a interrupção do processo, devido à ocorrência do distúrbio $j$ .....	57
Figura 4.12 Janela para a obtenção dos custos anuais diversos associados à ocorrência do distúrbio $j$ .....	58
Figura 4.13 Janela final do programa, resumo dos custos por distúrbio $j$ .....	58
Figura 4.14 Janela de ajuda.....	59

Figura 4.15	Gráfico com os valores totais de cada variável de custo.....	59
Figura 4.16	Relatório das variáveis de custo por distúrbio. ....	60
Figura 4.17	Relatório das informações gerais e de operação da indústria. ....	61
Figura 4.18	Relatório com os custos totais.....	61
Figura 4.19	Planilha de estatística da comparação das indústrias para o cálculo do custo total da falta de qualidade de energia elétrica.....	63
Figura 4.20	Janela de classificação das indústrias.....	63
Figura 4.21	Aviso de inserção dos dados dos custos totais a partir da quinta linha do <i>Excel</i> <sup>®</sup> . ....	64
Figura 4.22	Planilha de obtenção de dados para a classificação das indústrias do setor de bebidas - 13,8kV.....	65
Figura 4.23	Janela de escolha do nível de tensão para as indústrias de mesmo setor. ....	65
Figura 4.24	Janela para a escolha do setor industrial no nível de tensão de 69kV.....	65
Figura 4.25	Figura com os gráficos representativos de cada custo industrial referentes à falta de QEE, para indústrias e valores hipotéticos. ....	66
Figura 4.26	Janela de escolha entre os níveis de tensão para a comparação entre as indústrias de diferentes setores. ....	67
Figura 4.27	Figura com os gráficos representativos de cada média do custo industrial referente à falta de QEE, para indústrias e valores hipotéticos, de diferentes setores. ....	68
Figura 4.28	Figura com os gráficos de barra de cada desvio padrão do custo médio industrial referente à falta de QEE, para indústrias e valores hipotéticos, de diferentes setores. ....	69
Figura 4.29	Participação das indústrias selecionadas no Estado do Ceará.....	70
Figura 4.30	Percentagem de devolução do questionário respondido. ....	71
Figura 4.31	Definição do fornecimento de energia elétrica por parte das indústrias pesquisadas. ....	71
Figura 4.32	Percentual de frequência dos problemas industriais ocasionados pelos distúrbios de energia elétrica. ....	72
Figura 4.33	Percentual de duração dos distúrbios elétricos considerados no questionário.....	73
Figura 4.34	Grau da severidade média dos distúrbios elétricos considerados no questionário.....	74

Figura 4.35	Percentual de redução da produção industrial, de acordo com a duração dos distúrbios elétricos considerados no questionário. ....	75
Figura 4.36	Custos totais para os cenários ocorridos na indústria têxtil. ....	77
Figura 4.37	Custos totais para os cenários ocorridos na indústria de vidros.....	78
Figura 4.38	Custos totais para os cenários ocorridos na indústria de mármore. ....	79
Figura 4.39	Custos totais para os cenários ocorridos na indústria metalúrgica.....	80
Figura 4.40	Gráficos com a média de cada parcela dos custos referentes a produção industrial com a ocorrência dos distúrbios elétricos. ....	82
Figura 4.41	Figura que representa o desvio padrão de cada parcela de custo para as 3 indústrias de 13,8kV. ....	83

---

## LISTA DE TABELAS

---

Tabela 1.1	Categoria dos fenômenos relacionados à qualidade de energia elétrica, suas causa, efeitos e dispositivos para a mitigação dos distúrbios. ....	3
Tabela 1.2	Investimentos programados para o período de 1998/2005 no Estado do Ceará. FONTE: Datainvest. ....	9
Tabela 2.1	Custos industriais de interrupções de fornecimentos de energia elétrica (US\$/kWh) [19]. ....	24
Tabela 2.2	Média das componentes de custos das interrupções, por cenário, para grandes consumidores industriais e comerciais. ....	26
Tabela 4.1	Características obtidas via questionário da indústria têxtil pesquisada e parcelas dos custos para cada cenário ocorrido. ....	76
Tabela 4.2	Características obtidas via questionário da indústria de vidros pesquisada e parcelas dos custos para cada cenário ocorrido. ....	77
Tabela 4.3	Características obtidas via questionário da indústria de mármore pesquisada e parcelas dos custos para cada cenário ocorrido. ....	78
Tabela 4.4	Características obtidas via questionário da indústria metalúrgica pesquisada e parcelas dos custos para cada cenário ocorrido. ....	79
Tabela A.1	Indústrias que aceitaram responder o questionário. ....	91
Tabela A.2	Indústrias que não aceitaram responder o questionário. ....	92
Tabela A.3	Indústrias as quais não foi possível o contato. ....	93

---

## LISTA DE SÍMBOLOS

---

$\sigma$	Desvio padrão populacional.
$\varepsilon$	Fração da produção normal não produzida durante o desligamento.
$\mu$	Fração da produção normal não produzida durante o religamento.
$\mu_p$	Média aritmética populacional.
$\rho$	Fração do regime de trabalho para recuperação da produção perdida através de horas extras.
$\varpi$	Salário pago em hora extra, em R\$ por mês.
$\omega$	Salário pago em regime normal de trabalho, em R\$ por mês.
$\lambda$	Valor percentual da folga da capacidade de produção.
$\gamma_t$	Tempo de religamento de um distúrbio de duração $t$ , em horas.
$C_{CM(j)}$	Custo anual de capital e mão-de-obra ociosos devido à influência do distúrbio $j$ .
$C_{D(j)}$	Custos anuais diversos, por distúrbio $j$ .
$C_{DAd(j)}$	Custos anuais diversos associados à ocorrência do distúrbio $j$ .
$C_{DAop}$	Custos anuais diversos associados à operação.
$C_{E(j)}$	Custo anual da energia não consumida durante a interrupção do processo, devido à ocorrência do distúrbio $j$ .
$C_{el}$	Custo anual gasto com a energia elétrica consumida durante as horas extras de trabalho.
$C_{FQ(j)}$	Custo anual da falta de qualidade de energia elétrica por distúrbio $j$ .
$C_{FQ\_Total}$	Custo anual da falta de qualidade de energia elétrica na indústria.
$C_{HEX(j)}$	Custo anual com mão-de-obra associado à recuperação da produção durante horas extras de trabalho devido à ocorrência do distúrbio $j$ .
CIGRE	<i>International Council on Large Electric Systems.</i>
$C_{inf}$	Custo anual de recuperação das perdas de informação digital.
$C_{lpz}$	Custo anual com a limpeza da planta industrial antes do reinício do processo, após a ocorrência do distúrbio $j$ .
$C_{m\_esp}$	Custo anual com a mão-de-obra especializada para o reinício da produção,

	devido à ocorrência do distúrbio $j$ .
$C_{MP(j)}$	Custo anual de perda de materiais e produtos por distúrbio $j$ .
$C_{Mp\dot{N}ut(j)}$	Custo anual de matérias-primas não utilizadas por distúrbio $j$ .
$C_{mul}$	Custo anual de multas ou penalidades devido ao não cumprimento de contratos, por causa da ocorrência do distúrbio $j$ .
$C_{o\&m\_cont}$	Custo anual com a operação e manutenção de equipamentos de controle ou de compensação de energia elétrica.
$C_{o\&m\_ger}$	Custo anual com a operação e manutenção de equipamentos de geração auxiliar.
COELCE	Companhia Energética do Ceará.
$C_P$	Custo total de produção anual perdida pela indústria devido não apenas às perturbações elétricas, em R\$ por ano.
$C_{r\&c\_eq}$	Custo anual com o reparo ou conserto de equipamentos.
$C_{R(j)}$	Custo anual com a recuperação da produção devido à ocorrência do distúrbio $j$ .
$C_{RM(j)}$	Custo anual de reembolso de materiais re-aproveitáveis por distúrbio $j$ .
$C_{S(j)}$	Custo anual de substituição de materiais e equipamentos por causa da ocorrência do distúrbio $j$ .
$C_{Seq(j)}$	Custo anual de substituição de equipamentos danificados, incluindo também o valor do frete, por distúrbio $j$ .
$C_{Smp(j)}$	Custo anual de substituição de matérias-primas estragadas ou danificadas por distúrbio $j$ .
$C_{vend}$	Custo anual das vendas não realizadas devido à queda de produção, por causa da ocorrência do distúrbio $j$ .
$E_{Ncons(j)}$	Energia elétrica não consumida durante a parada do processo de produção, em kWh, devido ao distúrbio $j$ .
EPRI	<i>Electric Power Research Institute.</i>
$f$	Frequência de ocorrência por ano do distúrbio $j$ .
FIEC	Federação das Indústrias do Estado do Ceará.
$h$	Regime total de trabalho do setor de produção, em horas por ano.
$h_{Ex}$	Quantidade de horas extras disponíveis, por ano, para a recuperação da produção industrial.
IEEE	<i>The Institute of Electrical and Electronics Engineers.</i>
$N$	Quantidade total da população.

nd	Número de distúrbios que ocorrem, durante o ano, na indústria, ou número de cenários.
nl	Número de linhas de produção sensíveis ao distúrbio j.
PIB	Produto Interno Bruto.
QEE	Qualidade de Energia Elétrica.
t	Tempo de duração do distúrbio, em horas.
VBA	<i>Visual Basic for Applications</i> .
$V_{Cel}$	Valor médio do consumo anual de energia elétrica, em kWh.
$V_{Econs}$	Custo médio anual da energia elétrica consumida, em R\$ por ano.
$v_i$	Porcentagem do custo total de produção anual perdida para a linha de produção i, $\%C_p$ .
$V_{MOAcr}$	Valor de mão de obra anual a ser acrescentado, R\$ por ano.
X	Valores dos argumentos populacionais.

---

## CAPÍTULO 1 | INTRODUÇÃO

---

A importância de um sistema elétrico confiável e de uma energia elétrica com qualidade cresce à medida que a sociedade e seus setores produtivos tornam-se cada vez mais dependentes da tecnologia digital.

De maneira geral, as mudanças na forma de realizar negócios, prestar serviços, e manufaturar produtos têm tornado todas estas atividades cada vez mais sensíveis aos distúrbios no suprimento de energia elétrica. Tais distúrbios não apenas incluem as interrupções de suprimento, caracterizada pela ausência de tensão, quer por uma fração de segundo, ou por várias horas, mas também fenômenos responsáveis pela variação da qualidade da energia elétrica, os quais compreendem os desvios na conformidade da tensão e corrente, como harmônicos, afundamentos de tensão, transitórios, e outros.

Desta forma, são inquestionáveis os impactos econômicos, adversos às concessionárias e consumidores, causados por problemas relacionados à degradação da qualidade da energia elétrica.

Um distúrbio elétrico pode provocar diversos transtornos ao setor produtivo como parada de produção por tempo além da duração da perturbação, pois muitas operações demandam tempo para serem reiniciadas; perda de produção e conseqüentemente de vendas; extravio ou perda de qualidade de materiais ou produtos; custo para reiniciar a produção, como o custo com a limpeza do processo e com a reprogramação das máquinas; custo com a aquisição de novas matérias-primas necessárias para o reinício do processo de produção; valor agregado pela falha em equipamentos e dispositivos; quebra de contratos com multas e aumento nas alíquotas de seguro e; ociosidade do trabalhador durante a parada de produção.

Como efeitos adversos à concessionária, porém, tem-se que energia não consumida é energia não faturada. Ademais, com a falta de qualidade da energia elétrica (QEE) fornecida as relações de negócio com os clientes podem tornar-se conflituosas com disputas judiciais que em sua grande maioria são onerosas e desgastantes; a imagem da empresa fornecedora é abalada; e o mais preocupante para as empresas de energia elétrica

é a liberdade que o consumidor tem de estabelecer negócios relacionados à energia com empresas concorrentes.

Diante deste quadro, concessionárias e setores produtivos carecem de uma ferramenta capaz de estimar o custo relacionado à falta de qualidade da energia elétrica de suprimento.

### **1.1 Objetivos da Pesquisa**

Sabendo-se que a energia elétrica de boa qualidade é aquela que garante o funcionamento contínuo, seguro e adequado dos equipamentos elétricos e processos industriais associados, sem afetar o meio ambiente, o bem estar das pessoas, e a produção de bens e serviços, este projeto tem por objetivo estimar os custos associados aos distúrbios na energia elétrica, sustentados e de curta duração, sobre a produção industrial no Estado do Ceará. Os custos oferecem uma referência quantitativa útil à indústria para nortear os investimentos e auxiliar na gestão da energia. O projeto visa contribuir com federações de indústrias, sindicatos de classe, concessionárias, e agentes reguladores para definir políticas para melhorar e garantir maior confiabilidade e qualidade de energia para a indústria.

Para a avaliação do impacto econômico da falta de qualidade de energia elétrica no sistema de custo da produção industrial será desenvolvida uma ferramenta computacional a fim de se obter uma melhor estimativa do custo-benefício para as ações voltadas à melhoria da qualidade de energia elétrica fornecida às indústrias.

Os objetivos específicos são analisar as características e os efeitos econômicos na operação das indústrias dos diversos tipos de eventos relacionados à qualidade de energia elétrica, tratando tanto os fenômenos de longa como os de curta duração; quantificar os custos incorridos aos consumidores industriais devido a problemas de qualidade da energia elétrica e; desenvolver duas planilhas eletrônicas que auxiliem a avaliação da utilização do insumo energia elétrica na operação das indústrias, sendo a primeira com a finalidade de obter a avaliação do impacto econômico da falta de QEE para cada indústria, e a segunda sendo utilizada por instituições responsáveis pelo gerenciamento da energia ou das indústrias tendo como finalidade a estatística de custos totais relacionados a QEE por meio dos setores industriais cadastrados.

## 1.2 Relevância do Trabalho

Os fenômenos relacionados à qualidade de energia elétrica podem ser agrupados segundo a suas causas, conseqüências e possíveis mitigações, como pode ser observado na Tabela 1.1 [1].

Tabela 1.1 - Categoria dos fenômenos relacionados à qualidade de energia elétrica, suas causa, efeitos e dispositivos para a mitigação dos distúrbios.

Categoria	Causas	Conseqüências	Dispositivos de Condicionamento
Transitórios Impulsivos	Descargas atmosféricas Manobra Carga	Distúrbios em dispositivos Eletrônicos	Pára-raios Filtros Transformador de isolamento
Transitórios Oscilatórios	Descargas atmosféricas remotas Manobras de linhas, cabos, capacitores, transformadores, e cargas.	Distúrbios em dispositivos Eletrônicos	Pára-raios Filtros Transformador de isolamento
Variações de Curta Duração	Faltas remotas Manobra de carga	Distúrbios de processos industriais	Transformador de tensão constante
Variações de Longa Duração	Partida de motor Variação de carga Manobra de capacitor Sobrecargas	Distúrbios de processos industriais	Regulador de tensão Transformador de tensão constante
Interrupções	Faltas Manobra Disjuntor	Distúrbios de processos industriais	Sistemas UPS Geradores de reserva
Desequilíbrio de Tensão	Cargas desequilibradas		
Componentes CC	Distúrbios geomagnéticos	Saturação de transformadores Solicitação extra de isolamento	
Harmônicas	Cargas não lineares	Sobre aquecimento Capacitor Distúrbios em contadores	Filtros Transformador de isolamento
Inter-harmônicas	Conversores estáticos de frequência Dispositivos a arco	<i>Flicker</i> em vídeos Problemas em sinais em PLC	
<i>Notching</i>	PE's c/ comutação de corrente entre fases		
Ruído	Manobra PE's Arcos I EM	Distúrbio em PC's e controladores programáveis	Aterramento Bobina de bloqueio Filtro Blindagem
Flutuação de Tensão	Cargas intermitentes Cargas a arco Partida de motor	<i>Flicker</i> (Cintilação)	Compensadores estáticos Capacitor série
Variação da Frequência	Variação de carga e geração	Operação de máquinas girantes e contadores	

Para alguns grupos de consumidores de energia elétrica os prejuízos econômicos associados aos efeitos das perturbações na qualidade da energia elétrica são bastante

significativos. O custo com a falta de qualidade da energia elétrica deverá estar associado à atividade interrompida ou prejudicada o seu desempenho e à dependência desta atividade com a eletricidade, ou seja, a sensibilidade dos equipamentos de cada grupo de consumidores, assim como com as características do fenômeno considerado.

São três os principais grupos de consumidores de energia elétrica: residenciais, comerciais e industriais, além dos serviços essenciais, como hospitais e iluminação pública.

- Consumidores Residenciais. O prejuízo decorrente da perda de qualidade de energia elétrica para este grupo de consumidores é muito menor ao se comparar com os outros dois grupos. O que influencia no custo deste grupo de consumidores são os trabalhos domésticos, a alimentação dos residentes e o seu lazer. O primeiro pode ter suas atividades temporariamente interrompidas, porém é possível o re-planejamento para horários diferentes destas atividades sem maiores prejuízos, desta forma este é considerado pequeno; já a segunda atividade poderia se ter um maior comprometimento financeiro, porém esta avaliação de custo caberia intrinsecamente a cada consumidor, visto que a maior parte da população brasileira consome o gás de cozinha para o cozimento dos alimentos. A terceira atividade, lazer, pode ser bem mais significativa, pois o divertimento torna-se comprometido, principalmente para aqueles que têm um período de lazer pré-definido, e também por existir atividades durante o lazer cujo fornecimento de energia elétrica pode ser considerada essencial, como: televisão, rádio, leitura noturna, *Internet*, entre outras, ao passo que se torna limitada à possibilidade de mudança do horário destas atividades. Nas últimas décadas tem-se verificado uma mudança de paradigma quanto ao local do trabalho, podendo este ser realizado nas residências. Em geral, quando o trabalho é executado na residência existe uma dependência da energia elétrica; em assim sendo, a qualidade da energia passa a ter maior importância para este segmento de consumidores.

- Consumidores Comerciais. O custo deste grupo de consumidores varia bastante conforme o tipo de serviço prestado e das características específicas de cada atividade, visto que, a cada dia as atividades comerciais se tornam mais dependentes da eletricidade, com a utilização de ar condicionado, movimentação de esteiras rolantes, utilização de sistemas microprocessados em caixas, controle de estoque, segurança, entre outros. Os custos diretos podem ser pequenos, mas os indiretos, refletidos na insatisfação dos clientes,

diminuição de vendas, podem ser muitas vezes consideráveis, dependendo do porte comercial destas companhias.

- **Hospitais.** A falta de qualidade da energia elétrica tem grande impacto no custo operacional dos hospitais. Alguns fenômenos para o setor hospitalar, como variações bruscas de tensão e variações de frequência são críticos para os equipamentos utilizados em salas de cirurgia, unidades de tratamento e, centros de diagnóstico. Não podendo esquecer que há casos que falhas na qualidade da energia elétrica consumida nos hospitais pode implicar até mesmo em prejuízos imensuráveis para a vida humana.
- **Iluminação Pública.** O custo aqui relacionado está na forma de reduzir o bem-estar da população, comprometendo alguns aspectos, como a segurança das pessoas e dos motoristas. Este possui a mesma característica dos custos residenciais, ou seja, não são muitas vezes perceptíveis.
- **Consumidores Industriais.** Na indústria, a energia elétrica é um insumo, e sua qualidade tem influência nos custos de produção, na produtividade, e competitividade industrial. Os consumidores industriais são alvos diretos da falta de qualidade da energia elétrica.

Em pesquisa realizada [2], em 1979, na área urbana de Cascavel (PR), no Brasil, foi apresentado que a maior porcentagem de custos com a interrupção no fornecimento de energia elétrica está relacionada com os consumidores industriais, como mostra a Figura 1.1, o que ilustra a importância da determinação dos custos advindos da falta de qualidade de energia elétrica para esta categoria de consumidores.

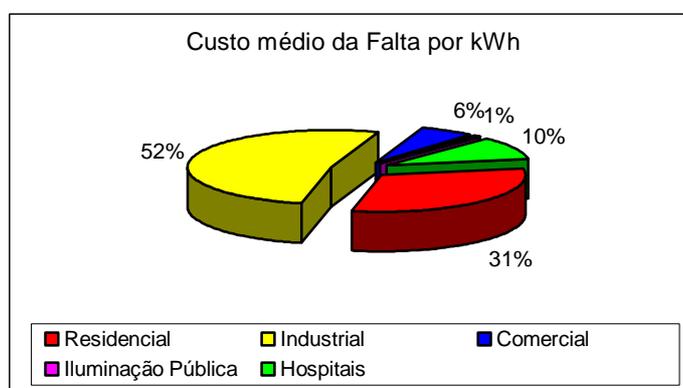


Figura 1.1 - Custo médio da falta por kWh em relação aos grupos de consumidores residenciais, industriais, comerciais, e serviços de iluminação pública e hospitalar [2].

A duração e a frequência de ocorrência dos fenômenos relacionados à qualidade de energia elétrica nas indústrias também são fatores importantes para a obtenção do cálculo deste custo, pois quanto maior for a incidência destas perturbações maior será o valor do custo final para qualquer grupo de consumidores. A Figura 1.2 apresenta a frequência de interrupções no fornecimento em um ano típico nos Estados Unidos [3]. Para determinados setores industriais distúrbios com duração pequena e incidência elevada pode proporcionar altos custos de produção, como pode ser observado na frequência de ocorrência de interrupção com duração inferior a 1 segundo que é de 16%, por exemplo.

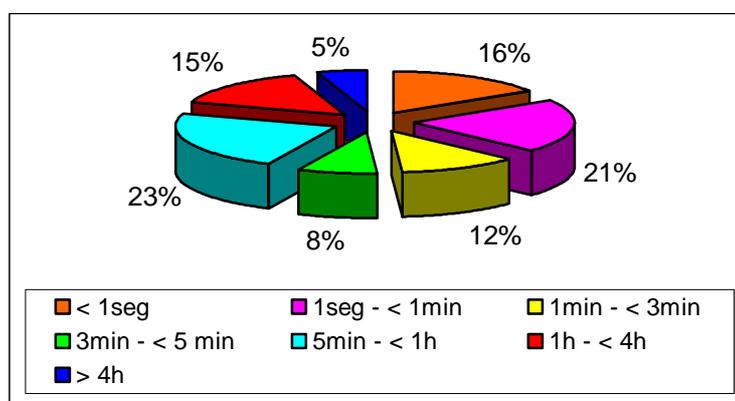


Figura 1.2 - Frequência de ocorrência de interrupções em um ano típico para sete variações de durações destes eventos [3].

Os custos relativos à falta da qualidade de energia elétrica também dependem muito do porte das indústrias e da categoria ou setor a que elas pertencem. Para determinadas indústrias o insumo energia elétrica é de grande importância na produção industrial, não necessariamente pela quantidade de energia consumida, mas pela sensibilidade de seus equipamentos é de se esperar que estes custos sejam mais elevados do que em outras indústrias. Para a economia norte-americana, por exemplo, três setores industriais são de essencial importância: (a) indústrias digitais como as de telecomunicação, fabricação de aparelhos eletrônicos, indústrias de armazenamento de dados, da área financeira e biotecnologia, etc, consideradas como empresas de economia digital (ED); (b) indústrias com processo de fabricação contínuo (PFC), voltadas para a fabricação de papel, borracha e petróleo, substâncias químicas, pedra, barro, vidro, entre outros; (c) indústrias de serviços ou produções ditas como essenciais (SE) são as indústrias de tratamento de água e esgoto, oleodutos, etc. Assim, por meio da Figura 1.3 observa-se que o valor anual agregado em relação à problemas na QEE para as indústrias de serviços ou produções ditas essenciais é

mais significativo. Não menos relevante é a importância da qualidade de energia para as empresas de economia digital, com prejuízo para o setor de aproximadamente um bilhão de dólar por ano.

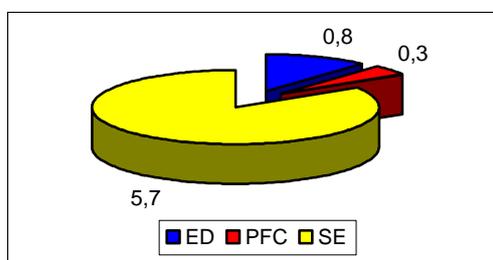


Figura 1.3 - Valor anual agregado de problemas na QEE em bilhões de dólares americanos por setor industrial [3].

A quantidade de kWh consumido pelas indústrias também demonstra o quanto de perda estes consumidores sofrem com a ocorrência de problemas relativos à qualidade de energia elétrica [3]. Pode-se observar por meio da Figura 1.4 que quanto maior a quantidade de energia consumida maior é o valor anual médio estimado para ocorrências de interrupções de energia elétrica a partir da quantidade de kWh consumido.

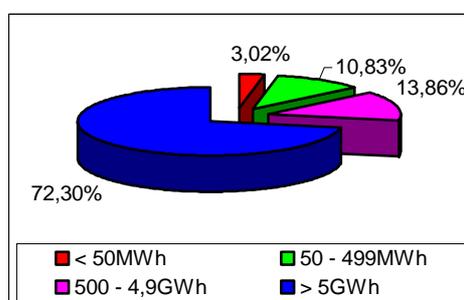


Figura 1.4 - Percentual estimado de custo para a ocorrência de interrupções de energia elétrica por kWh consumido no ano [3].

Desta forma, torna-se evidente que o estudo dos problemas devido à falta da qualidade de energia elétrica para a obtenção do cálculo dos custos envolvidos no setor industrial é consideravelmente significativo.

A Figura 1.5 apresenta os custos intrínsecos à produção industrial [3], os quais considera tanto os custos médios relacionados com a duração dos distúrbios como custos da produção perdida, do trabalho, dos materiais perdidos ou danificados, dos equipamentos danificados, da geração auxiliar, das despesas gerais, de reinício, e das economias decorrentes como materiais não utilizados, economias no faturamento de energia, trabalho

não pago, sendo estas algumas das variáveis a serem consideradas para o cálculo do impacto econômico da falta de QEE nas indústrias. Nota-se pela Figura 1.5 que as variáveis de custo diferem entre si com a duração do distúrbio, a exemplo dos custos relacionados à produção perdida, ao trabalho e custos de reinício que são mais significativos para interrupções de 1h, e os custos com materiais não utilizados com maior valor médio para a condição de interrupção com religamento.

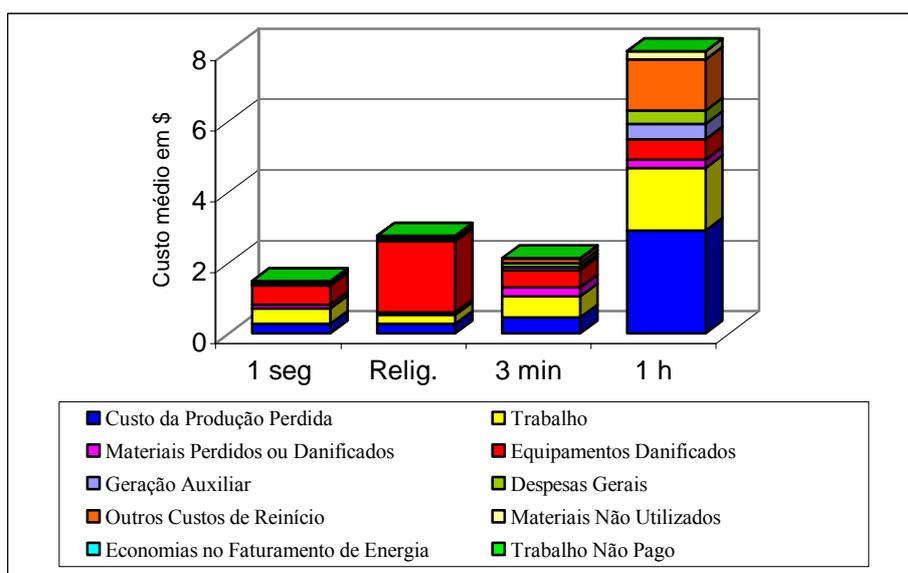


Figura 1.5 - Valor médio em dólar para cada duração representada em relação a cada tipo de custos e economias conseqüentes de interrupções [3].

A relevância deste trabalho torna-se ainda mais significativa se considerarmos que no Estado do Ceará a participação do setor industrial para o produto interno bruto (PIB), em 2000, foi de quase 50% quando comparado com os setores de serviços e de agropecuária, como pode ser observado na Figura 1.6, segundo a Federação das Indústrias do Estado do Ceará.

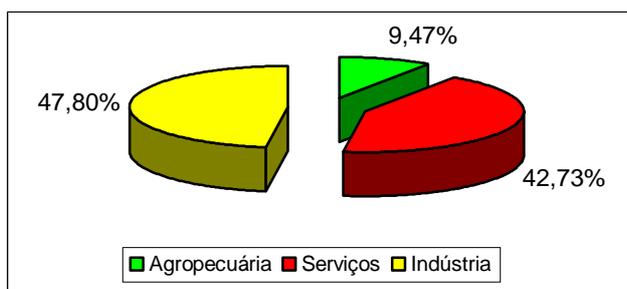


Figura 1.6 - Porcentagem da composição do PIB setorial de 2000 do Estado do Ceará. FONTE: IPLANCE/Células de Contas Regionais.

No Estado do Ceará o consumo de energia elétrica, de janeiro a dezembro de 2001, totalizou cerca de 5.353 GWh, obtendo os consumidores industriais o segundo lugar na classificação de participação de consumo com 30,10%, somente perdendo para o grupo dos consumidores residenciais, o que mais uma vez demonstra a importância na preocupação da coleta de dados a fim de se estimar o custo com as perdas de produção das indústrias conseqüentes de problemas com a qualidade de energia elétrica para este grupo de consumidores. A Figura 1.7 mostra a participação setorial no consumo de energia elétrica no ano 2001.

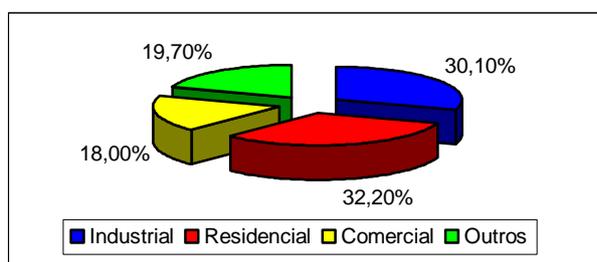


Figura 1.7 - Participação percentual setorial no consumo de energia elétrica no ano de 2001 no Estado do Ceará. FONTE: Departamento de Mercado - COELCE.

Por fim, o setor industrial cearense trabalha na expectativa de um crescimento continuado, como pode ser observado na Tabela 1.2 o montante de investimentos programados para vários setores da indústria do Estado do Ceará. À medida que a indústria cresce, cresce a sua dependência na tecnologia digital e, portanto, sua vulnerabilidade às variações na QEE. É, portanto, premente o desenvolvimento e a implementação de uma ferramenta computacional capaz de avaliar o impacto econômico da falta de qualidade de energia elétrica na produção industrial, para melhor gerenciar os recursos e garantir retorno dos investimentos.

Tabela 1.2 - Investimentos programados para o período de 1998/2005 no Estado do Ceará. FONTE: Datainvest.

Setor	Valor em US\$
Serviços Públicos	3.090,1
Química e Petroquímica	2.056,4
Transporte e Logística	1.730,6
Serviços Gerais	955,5
Metalurgia	898,3
Bebidas e Fumo	341,3
Alimentos	290,4
Autopeças e Material de Transporte	218,2
Construção	207,7

Têxtil e Couro	202,8
Eletroeletrônica	125,2
Madeira / Móveis / Papel	45,9
Informática e Telecomunicações	40,0
Farmacêuticos / Higiene	31,9
Não - Metálicos	28,5
Comunicação	16,7
Comércio Varejista	10,7
Mineração	7,0
Plásticos e Borracha	5,0
Comércio exterior	2,5
Mecânica	2,5
<b>TOTAL</b>	<b>10.307,4</b>

### 1.3 Metodologia

Para estimar o valor econômico agregado à falta de qualidade de energia elétrica na produção das indústrias, o primeiro passo, que se deve adotar, é a seleção das indústrias que serão pesquisadas. Através dos setores competentes, se buscou a relação das indústrias do Estado, para que assim, se pudesse realizar a seleção das indústrias de interesse. As indústrias pré-selecionadas são contatadas a fim de se saber do interesse na participação na pesquisa.

Os órgãos competentes requisitados para a obtenção do banco de dados das indústrias do Ceará foram a Federação das Indústrias do Estado do Ceará - FIEC, por meio da presidência e do Departamento de Unidade de Estatística e Economia, e a Companhia Energética do Ceará - COELCE, através da presidência e da Gerência de Grandes Clientes. A Federação das Indústrias do Estado do Ceará ao ser procurada atendeu a solicitação e disponibilizou o banco de dados das indústrias cearenses dos anos de 2000 e 2001 do guia industrial cearense, utilizado nesta pesquisa. Segundo a FIEC o banco de dados mais atualizado estava em processo de elaboração, programado para ser divulgado no segundo semestre de 2005. O banco de dados é de grande importância, pois contém informações das indústrias cearenses, como: faixa de faturamento, número de empregados, endereço, contato, CNPJ, etc. Já o segundo órgão procurado para a seleção das principais indústrias do Estado do Ceará, no que diz respeito a maior capacidade de investimentos financeiros, negou, para fins desta pesquisa, a relação de suas indústrias, o que não gerou desmotivação para dar prosseguimento à pesquisa, visto que é sabido que a concessionária, sendo também uma empresa privada, tem a obrigação de preservar a integridade dos seus

clientes, apesar desta pesquisa ser acadêmica e, também, ter como compromisso a confidência de todos os dados industriais obtidos.

Com a obtenção do banco de dados fornecido pela FIEC, as indústrias selecionadas são contadas para saber do interesse em participar da pesquisa, dispondo-se a responder um questionário elaborado para se coletar dados para a aplicação da metodologia desenvolvida. A relação das indústrias contatadas para esta pesquisa encontra-se no apêndice A, o qual também informa sobre a parceria que foi encontrada ou não nestas indústrias.

Após a seleção das indústrias tem-se a elaboração de um questionário e a definição da forma de alcance à indústria: correio, *Internet* e visita *in loco*. O questionário levantou os dados necessários à estimação dos custos relacionados à perda de produção industrial com a ocorrência de fenômenos que afetam a qualidade da energia elétrica fornecida às indústrias.

Definidas as variáveis relacionadas ao setor de produção das indústrias que sofrem influência da variação de QEE, são formuladas as equações que devem compor o cálculo do impacto econômico da falta de qualidade de energia elétrica na produção industrial. Com a pesquisa realizada por meio do referencial teórico, foi realizado o agrupamento das principais variáveis de custos a serem adotadas para a estimação do impacto econômico da falta de qualidade de energia elétrica no setor industrial. Este agrupamento gerou a formulação de equações que visam à obtenção dos valores de custos específicos do setor de produção, para seis diferentes cenários:

- Cenário 1: variação de energia elétrica com a duração de 1 segundo, em um dia de semana a partir das 2 horas da tarde, no período seco, sem advertência ou notificação por parte da concessionária de energia elétrica;
- Cenário 2: as mesmas condições do cenário 1, porém com duração de 3 minutos;
- Cenário 3: idem, para uma duração de 1 segundo seguida por 2 segundos sem variação e com a ocorrência de outra variação também de 1 segundo;

- Cenário 4: interrupção de energia elétrica com a duração de 1 hora, em um dia de semana a partir das 2 horas da tarde, no período seco, sem advertência ou notificação por parte da concessionária de energia elétrica;
- Cenário 5: as mesmas condições do cenário 4, porém com advertência ou notificação por parte da concessionária de energia elétrica 1 hora antes da ocorrência da interrupção prevista;
- Cenário 6: idem, com notificação 24 horas antes da ocorrência da interrupção prevista.

As equações que compõem a metodologia proposta podem ser aplicadas para qualquer tipo de duração de distúrbio, sendo os seis cenários apresentados utilizados para a obtenção de dados no questionário elaborado para a realização da pesquisa junto às indústrias. O questionário aplicado encontra-se no apêndice B, onde se pode observar o nível das questões formuladas para a coleta dos dados industriais, além da coletânea de outras informações estatísticas por parte da indústria no que se refere a QEE.

Com a formulação das equações de custo pode-se então desenvolver uma interface gráfica onde os dados coletados, via questionário, são introduzidos em planilha eletrônica e estimado o impacto econômico dos distúrbios elétricos na produção industrial, objeto deste trabalho. A elaboração desta ferramenta computacional visa sua utilização pelas indústrias, por esta razão, deu-se preferência ao *software Microsoft Excel*<sup>®</sup>, de larga utilização pela indústria, de fácil uso, e com vinculação ao *Visual Basic*<sup>®</sup> que permite a criação de interface gráfica. Os custos são tratados estatisticamente a fim de apresentar valores representativos para os diferentes setores das indústrias nas classes de 13,8kV e 69kV.

#### **1.4 Contribuição do Trabalho**

Devido à falta de informação quanto ao desempenho do sistema de fornecimento da energia elétrica, no que diz respeito aos distúrbios presentes na rede de distribuição de energia elétrica, sua duração, magnitude e frequência de ocorrência, e também, pela falta de informação sobre a tolerância dos equipamentos aos distúrbios elétricos, dados estes fornecidos pelos fabricantes, desenvolveu-se a metodologia apresentada permitindo a criação de bancos de dados referentes às estimativas de custos devido à falta de QEE.

Espera-se que tão logo o desempenho do sistema de fornecimento seja um dado disponível ao usuário da rede elétrica, tal prática concorra na obtenção de custos mais precisos. Semelhantemente, espera-se, em um futuro próximo, que os fabricantes de equipamentos disponibilizem informações de seus produtos no que diz respeito à sensibilidade dos mesmos, a fim de incorrer em maiores precisões para o cálculo do impacto econômico dos fenômenos de QEE.

Este trabalho contribui, também, para o agrupamento das principais variáveis para o cálculo do custo da falta de qualidade de energia em um processo industrial, onde visa o conhecimento amplo para o setor industrial dos pontos em sua produção que podem ser afetados economicamente com a ocorrência de fenômenos de QEE. Como também para a obtenção de resultados de custo para cada cenário de ocorrência das variações de QEE que as indústrias podem vir sofrer, servindo tanto para o cálculo do custo de variações de longa ou de curta duração.

### **1.5 Estrutura do Trabalho**

Este trabalho está dividido em cinco capítulos, os quais apresentam a importância da qualidade de energia na produção industrial, as pesquisas realizadas para se chegar à metodologia proposta, a ferramenta computacional voltada para a análise da estimativa do custo dos fenômenos de qualidade de energia elétrica, a análise dos dados obtidos pelas indústrias do Estado do Ceará e por fim, as conclusões finais do trabalho.

A estrutura é composta de:

- Capítulo 1. Este é composto pela introdução da dissertação, objetivos da pesquisa, relevância, metodologia e contribuições do trabalho.
- Capítulo 2. O custo da qualidade da energia elétrica. Neste capítulo são apresentadas abordagens e conceitos relativos aos impactos econômicos da falta de QEE. Trata-se das vantagens e desvantagens de todo um referencial teórico levantado para a formulação da metodologia que será apresentada, como também uma visão global do estado da arte sobre este assunto.
- Capítulo 3. Metodologia para avaliação econômica do impacto de distúrbios de energia elétrica na indústria. Com o enquadramento das principais variáveis a serem

trabalhadas para a obtenção do cálculo dos custos industriais relativos à variação na QEE apresenta-se neste capítulo, a metodologia que servirá para a estimação dos custos. Assim também, se apresentará o desenvolvimento da planilha eletrônica para a obtenção destes valores, a fim de ajudar os industriais na tomada de decisões no que diz respeito o fator custo-benefício quando se tratar de perdas de produção devido aos fenômenos de QEE.

- Capítulo 4. Análise de custo da falta da qualidade de energia elétrica no setor industrial. Neste capítulo é demonstrada a maneira como foi elaborada a pesquisa junto aos consumidores industriais do Estado do Ceará, visando a coleta de dados para fins da consolidação das estimativas de custos com a utilização da ferramenta computacional. É apresentada também a análise destes dados.

- Capítulo 5. Conclusão. Neste capítulo apresentam-se as conclusões da pesquisa realizada e alguns temas para futuros trabalhos relacionados à continuidade do tema.

- Apêndice A. Seleção das indústrias pesquisadas. Neste apêndice encontram-se as 111 indústrias selecionadas para a realização da pesquisa desenvolvida por este trabalho, as indústrias e suas respectivas localizações no Estado do Ceará, são divididas em três grupos: indústrias que aceitaram responder o questionário, as que não aceitaram responder o questionário e as indústrias cujo contato não foi possível.

- Apêndice B. Questionário da pesquisa. Este apêndice apresenta o questionário elaborado para a pesquisa desta dissertação, que foi enviado para as indústrias que aceitaram participar da pesquisa.

Este capítulo apresenta o estudo bibliográfico realizado para o desenvolvimento da metodologia do impacto econômico da falta de qualidade de energia elétrica, trazendo uma explanação geral dos estudos realizados no mundo inteiro e as principais formulações empregadas para o cálculo destes custos com suas respectivas vantagens e desvantagens.

### **2.1 Estado da Arte**

Os parágrafos que se seguem apresentam a pesquisa bibliográfica, realizada em periódicos nacionais e internacionais, livros e artigos de congressos e seminários, caracterizando o estado da arte sobre os tipos de custos associados aos diversos tipos de fenômenos que caracterizam a falta de QEE.

Desde a década de 80, são desenvolvidas contribuições sobre a definição de teorias e modelos de custos de interrupção de energia elétrica também utilizadas para a avaliação da confiabilidade do sistema elétrico e conseqüentemente para o seu planejamento [4].

MUNASINGHE e GELLERSON [5], em 1979, propõem um modelo de simulação para otimização do nível de confiabilidade por meio da análise do custo-benefício para implementação da confiabilidade em um sistema elétrico de potência. Formularam uma metodologia de cálculo do custo de interrupção de energia elétrica para consumidores residenciais, comerciais e industriais, desenvolvendo, assim um critério econômico para aperfeiçoar o sistema elétrico de potência em níveis de confiabilidade de energia.

A revista *Electrical World* [6], em 1981, publicou um artigo que trata da história do desenvolvimento do uso do planejamento na confiabilidade dos sistemas elétricos de potência definindo critérios de confiabilidade e apresentando avaliações de custo-benefício. Também, em 1981, o Departamento Norte Americano de Energia [7] apresentou um relatório técnico que identifica as medidas que são utilizadas ou propostas para mitigar os efeitos socioeconômicos causados com a ocorrência de interrupção de energia elétrica no sistema elétrico de potência, utilizando para isto informações baseadas em um estudo de

cinco interrupções ocorridas na época. Nesse mesmo período, YABROFF [8] também publicou um estudo sobre as interrupções de energia elétrica sofridas por vinte e nove tipos diferentes de consumidores em quatro regiões dos Estados Unidos para a obtenção dos custos em curto prazo.

SANGHVI [9], em 1982, escreveu um estudo que enfoca as vantagens e as desvantagens na confiabilidade do sistema elétrico, em relação aos custos econômicos com a ocorrência de interrupções de energia elétrica. Também em 1982, BENTAL e RAVID [10] desenvolveram um método de se calcular o custo marginal nas indústrias em relação aos cortes de energia elétrica, especificando parâmetros matemáticos que entram na avaliação destes custos; os autores aplicaram o método em exemplos específicos, comparando, assim, os resultados.

Em 1983, um seminário no EPRI (*Electric Power Research Institute* ou Instituto de Pesquisa de Engenharia Elétrica) intitulado: *Value of Service Reliability to Consumers*, SHEW [11] avaliou vários tipos de métodos que determinam o valor da confiabilidade da energia elétrica para os consumidores. Também, em 1983, SKOF [12] elaborou um programa de pesquisa junto aos consumidores, o qual visava determinar os efeitos percebidos para vários níveis de confiabilidade no fornecimento de energia elétrica, gerando assim um artigo com a apresentação dos resultados na estimação dos custos gerados por interrupções de energia elétrica.

SUBRAMANIAM, BILLINTON e WACKER [13], em 1985, elaboraram um estudo a fim de obter os custos advindos de interrupções de energia elétrica para os consumidores do setor industrial com e sem sistema *standby*, e também as variações dos custos de interrupção com o período do ano, semana e dia.

ANDERSSON e TAYLOR [14] publicaram no *Journal of Energy Economics*, em 1986, um estudo o qual discute a avaliação dos custos sociais da energia elétrica quando esta não é fornecida.

JUREST, em 1987, analisou os critérios de confiabilidade em diversos países participantes do CIGRE (*International Council on Large Electric Systems* ou Conferência Internacional de Grandes Sistemas Elétricos), com comparação de seus custos; uma tabela com o resultado do estudo é apresentada em [15].

BILLINTON e OTENG-ADJEI [16], em 1988, apresentaram uma metodologia a qual desenvolve uma taxa de avaliação da energia interrompida (IEAR - *Interrupted Energy Assessment Rate*), que relaciona as perdas dos consumidores de energia elétrica causadas pela falta de confiabilidade do sistema elétrico de potência. A combinação do índice de expectativa de perda de energia (LOEE - *Loss Of Energy Expectation*) e a taxa IEAR fornecem uma ferramenta capaz de avaliar adequadamente o custo da capacidade de geração de energia. Com isso, é apresentada a susceptibilidade da taxa IEAR para compor a função de custo dos consumidores de determinados setores, além de mudanças na forma de obtenção destes custos.

BHAVARAJU, HEBSON e WOOD [17], em 1989, discutiram os riscos e as incertezas sobre o planejamento crescente dos sistemas elétricos de potência, observando os critérios e os modelos utilizados para este planejamento. Também em 1989, WACKER e BILLINTON [18] desenvolveram uma metodologia para a obtenção do valor aproximado do custo de interrupções de energia elétrica.

A partir da década de 90 observa-se o início com a preocupação não só com a confiabilidade dos sistemas elétricos de potência, mas também, com os efeitos que a falta da qualidade da energia elétrica causam aos consumidores, sendo o impacto econômico um destes efeitos.

Em 1994, MASSAUD, SCHILLING e HERNANDEZ [19] realizaram uma pesquisa no Brasil para se estimar os custos das interrupções utilizando-se para isto a investigação direta realizada junto aos consumidores residenciais, comerciais e industriais de energia elétrica.

NEUDORF *et al* [20], em 1995, analisaram o custo-benefício em relação à melhoria da confiabilidade do sistema elétrico de potência e os custos com o não fornecimento de energia elétrica por meio de dois estudos de caso. Também, em 1995, GATES *et al* [21] apresentam uma metodologia desenvolvida para avaliar os custos e as perdas incorridas por consumidores de energia durante interrupções no sistema elétrico de potência.

SULLIVAN *et al* [22], em 1996, avaliam o custo de interrupção para os desligamentos momentâneos e os distúrbios de tensão, abordando, também, indicadores

econômicos e expectativas dos consumidores em relação ao sistema elétrico de potência americano e sua qualidade de energia elétrica. Também, em 1996, SARKAR [23] desenvolveu uma ferramenta para a avaliação do custo da QEE, em relação a interrupções mostrando os resultados destes custos para diferentes setores de consumidores de energia elétrica na Índia.

Em 1997, SULLIVAN, VARDELL e JOHNSON [24] apresentaram os resultados de uma pesquisa realizada com 210 grandes clientes comerciais e industriais dos Estados Unidos e Canadá a fim de obter descrições detalhadas dos componentes de custo das interrupções de energia elétrica. Também, em 1997, no Brasil, GOMES e SCHILLING [25] publicaram um artigo que trata dos custos de interrupção baseados em métodos probabilísticos permitindo às concessionárias planejarem os seus sistemas dentro de níveis de confiabilidade de acordo com aquilo que os consumidores estariam dispostos a pagar.

Em 1998 o IEEE [26] (*The Institute of Electrical and Electronics Engineers* ou Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos) publicou uma recomendação para a avaliação da compatibilidade dos sistemas elétricos de potência com os equipamentos eletrônicos, dando-se a devida importância para a preocupação das perdas financeiras causadas por problemas de QEE, apontando, ainda, um método para a determinação destes custos. Também, em 1998, KOSKOLOS, MEGALOCOMOS E DIALYNAS [27] apresentaram uma avaliação geral de uma pesquisa com clientes industriais, realizada na Grécia, em relação ao valor das interrupções de energia elétrica.

Em 1999, CROZIER e WISDOM [28] propuseram um índice que observa o custo de interrupções de energia elétrica por kWh consumido nas indústrias, porém este índice não possui nenhuma informação sobre o impacto econômico em relação a QEE nas indústrias e os seus produtos finais.

BILLINTON *et al* [29], [30], em 2000, definiram o custo da confiabilidade relacionada aos sistemas elétricos de potências como sendo o custo do investimento somado com o valor dos danos causados aos consumidores por falhas na QEE do sistema.

Em 2001, LAMEDICA *et al* [31] apresentaram o resultado de uma pesquisa, desenvolvida em indústrias de médio e grande porte, na Itália, com o objetivo de calcular o dano devido à ocorrência de perturbações que geram perdas de produtividade. A pesquisa

foi elaborada por meio de questionários que investigavam vários aspectos deste problema. Também, em 2001, YIN *et al* [32] publicaram uma pesquisa, realizada em Taiwan, junto a seis categorias de indústrias: semicondutores, computadores e periféricos, telecomunicações, óptico-eletrônicos, máquinas de precisão, e biotecnologia para a avaliação dos custos, em decorrência da duração e da frequência de faltas e interrupções de energia elétrica.

No Brasil, em 2001, MAGALHÃES *et al* [33] analisaram as diferentes modalidades de transtornos e prejuízos ao consumidor, em relação à avaliação do custo social, devido à interrupção de energia elétrica. Também, em 2001, o EPRI [3] realizou um estudo nos Estados Unidos, visando avaliar os custos associados à falta de QEE nos consumidores industriais através de uma pesquisa direta junto a estes consumidores. Os dados para a pesquisa foram obtidos por meio de um questionário que apresenta seis tipos diferentes de distúrbios de QEE.

Em 2002, MCGRANAGHAN e ROETTGER [34] descreveram um método para a avaliação econômica da qualidade de energia, que é subdividida em quatro etapas: caracterização do desempenho da QEE do sistema elétrico de potência, estimativa de custos associados com relação às variações de QEE, caracterização das alternativas de soluções em termos de custos e benefícios, e execução da análise comparativa econômica destes custos.

Também, em 2002, CHOI *et al* [35] avaliaram os custos dos consumidores de energia elétrica na Coreia, utilizando-se de dois métodos: o macro, que avalia os custos de interrupção em relação à economia nacional; e, o segundo método, o micro, que calcula o custo de interrupção através de tipo de consumidor baseado na pesquisa dos consumidores individualmente. Neste mesmo ano, ANDERSSON e NILSSON [36] avaliaram os custos do fenômeno afundamento de tensão em relação aos vários tipos de indústrias, a partir da criação de um índice para o cálculo destes custos, o qual é subdividido em três partes principais: perdas relacionadas ao produto, perdas relacionadas ao trabalho, e custos adicionais.

HAMOUD e EL-NAHAS [37], em 2003, propuseram um método para ser utilizado na avaliação de soluções para melhorar a confiabilidade e a QEE na indústria, abordando interrupções e quedas de tensão, mas não tratam da análise econômica que estes fenômenos

podem causar. Também, em 2003, PRUDENZI e D'ADAMO [38] desenvolveram um software como uma ferramenta, baseada no conhecimento de experiências nacionais e internacionais em QEE, capaz de avaliar os custos da QEE, através dos impactos das perturbações nos processos industriais, permitindo o cálculo da suscetibilidade dos processos industriais devido aos vários eventos de QEE e os custos típicos associados a perturbações de QEE. No Brasil, neste mesmo ano, ALVES, COSTA e FONSECA [39] publicaram um artigo que trata dos problemas associados à ocorrência dos distúrbios da QEE, em especial o afundamento de tensão apresentando uma metodologia que calcula os prejuízos associados a este fenômeno. MELO e CAVALCANTI [40], em 2003, propuseram uma nova metodologia de avaliação da QEE fornecida às indústrias, analisando e definindo novos indicadores de energia elétrica, além dos já utilizados pelo setor elétrico brasileiro.

## **2.2 Metodologias para a Avaliação do Custo das Variações de QEE**

Para o desenvolvimento da metodologia apresentada nesta dissertação para o cálculo do impacto econômico da qualidade de energia elétrica na produção industrial, tendo em vista a visão global das proposições apresentadas acima, selecionou-se seis referências bibliográficas que serão utilizadas de maneira a se trabalhar com as suas principais vantagens para a composição do cálculo dos custos relacionados à falta da QEE e, também, suas desvantagens a fim de se obter uma maior otimização na estimação destes custos. As referências bibliográficas estudadas estão explanadas a seguir.

### **2.2.1 Custos de interrupções por capacidade instalada**

BOLLEN em [41] subdivide os custos de uma interrupção de energia elétrica em três grupos, quais são:

- Custos diretos - são os custos atribuídos diretamente às interrupções de energia elétrica. Para os consumidores industriais fazem parte dos custos diretos as perdas de matérias-primas, perdas de produção e salários pagos durante os períodos de não operação. Nos custos diretos devem-se subtrair as economias realizadas durante as interrupções, estas são enquadradas para os consumidores industriais como os custos com a não utilização de eletricidade, matérias-primas não utilizadas e o valor da produção que pode ser recuperada.

- Custos indiretos - são mais difíceis de serem avaliados, pois em muitos casos simplesmente não expressam quantias monetárias, como por exemplo, a perda de contratos futuros devido à demora na entrega dos produtos decorrente de interrupções de energia elétrica na indústria, ou a remoção da planta industrial para áreas menos susceptíveis às ocorrências de interrupções, porém esta é uma decisão difícil de ser tomada devido à complexidade de avaliação.
- Inconveniência não materiais - no ambiente industrial esta inconveniência se dá pelo valor que o consumidor está disposto a pagar por um fornecimento livre de interrupções de energia elétrica.

Com esta visualização simplificada dos problemas relacionados com as ocorrências de interrupções de energia elétrica, BOLLEN apresenta uma formulação destes custos associado ao porte dos consumidores, ou seja, a formulação relaciona os custos de uma interrupção de uma determinada duração a carga instalada no consumidor  $i$ , sendo, portanto, o valor do custo total dado pelo somatório dos custos individuais de cada consumidor para um determinado setor industrial, como pode ser observado na Equação 2.1.

$$CI = \frac{\sum_i C_i(d)}{\sum_i L_i} \quad (2.1)$$

Em que:

$CI$  Custo total por kW de interrupção

$C_i(d)$  Custo de uma interrupção de duração  $d$  para um determinado consumidor  $i$

$L_i$  Carga, em kW, do consumidor  $i$ .

Utilizando a metodologia apresentada em [41] pode-se observar na Figura 2.1 os resultados de uma pesquisa realizada na Suécia, em 1993, com 4000 consumidores para as seguintes durações de interrupções: 2 minutos, 1 hora, 4 horas, e 8 horas sem notificação ou advertência prévia por parte das concessionárias de energia.

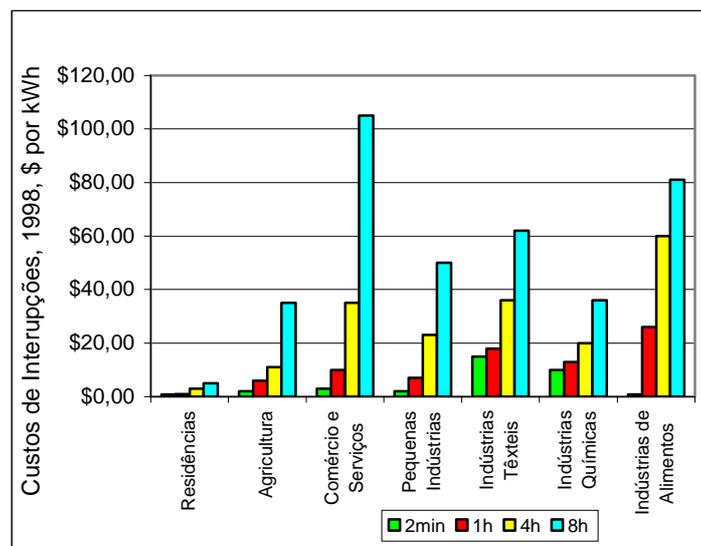


Figura 2.1 - Custo de interrupção de energia elétrica em dólar/kWh de acordo com a duração e o grupo de consumidores [41].

A vantagem proposta na metodologia descrita por BOLLEN é a estimativa dos custos das interrupções em relação à capacidade da carga instalada. Para aplicação da metodologia, porém não são apresentadas as variáveis que permitam melhor aferir os custos segundo as classificações apresentadas pelo autor, sendo, portanto, a principal desvantagem encontrada nesta metodologia.

### 2.2.2 Custos de interrupções no Brasil

Em 1994, MASSAUD, SCHILLING e HERNANDEZ elaboraram um estudo no Brasil [19] que avalia os custos das restrições no fornecimento de energia pelo setor elétrico sob três pontos de vista:

- Custos com o não faturamento, expressos pelas perdas sofridas pelas concessionárias de energia elétrica devido a não venda da energia elétrica para os usuários.
- Custos de déficit refletem as restrições de energia elétrica no que diz respeito às fontes primárias de energia, ou restrições relacionadas às capacidades de instalação no sistema de geração, transmissão e distribuição; estes estão associados ao conceito de racionamento e sua aplicação principal relaciona-se com as políticas de planejamento em longo prazo. Para o horizonte de curto prazo, a aplicação dos custos de déficit ainda é considerada quando os eventos de restrição têm uma natureza de ocorrência periódica e os

usuários podem, de algum modo, tomar leves medidas precatórias e então minimizar os seus custos.

- Custos de interrupção refletem as perdas causadas pela restrição no fornecimento de energia elétrica, surpreendendo de repente os usuários, subdivididos em três classes: industrial, comercial e residencial. Este é o tipo de custo aqui considerado, visto que ele reflete os custos que são abordados na metodologia proposta nesta dissertação.

A metodologia proposta em [19] empregada para o cálculo dos custos relacionados aos consumidores industriais leva em consideração as entradas básicas de economia para as indústrias, como energia elétrica, matérias-primas, etc, assim como o trabalho e o capital para se obter o produto final.

A perda de produção causada pela falta de energia elétrica é quantificada pelo volume de matéria-prima perdida, pelos produtos inacabados que talvez se deteriorem, pelo trabalho e capital ociosos e pelo período necessário de tempo para a retomada da produção, além das horas extras que são utilizadas na recuperação da produção. Desta forma se obtém a formulação para o cálculo do impacto econômico das interrupções de energia elétrica no setor industrial, que é expresso como índice já que é dado de acordo com a energia não consumida devido às interrupções. Este pode ser estimado através da Equação 2.2.

$$IC_i = \frac{BIC - RFC + ELC}{F \cdot ENS} \quad (2.2)$$

Em que:

$IC_i$  Custo da interrupção para o consumidor industrial  $i$ .

$BIC$  Custos básicos da interrupção, dados pela quantidade total dos custos devido ao trabalho mais o capital e mais os custos devido às matérias primas inutilizadas.

$RFC$  Custos relacionados à recuperação da produção por horas extras de trabalho.

$ELC$  Custos das horas extras.

$ENS$  Energia não fornecida.

$F$  Frequência de interrupções durante um ano.

A Tabela 2.1 mostra alguns resultados alcançados para os consumidores industriais em dezembro de 1990, no Brasil, através da formulação apresentada em [19]. A tabela apresenta os índices de custos das interrupções de energia elétrica, de acordo com o horário do início destas interrupções e suas respectivas durações. Observa-se que o custo é maior para interrupções de menor duração.

Tabela 2.1 - Custos industriais de interrupções de fornecimentos de energia elétrica (US\$/kWh) [19].

Horário do Início da Interrupção	Duração da Interrupção (minutos)					
	0-3	3-15	15-30	30-60	60-120	Mais de 120
0-8h	2,87	1,23	1,07	0,90	0,81	0,78
8-18h	2,73	1,26	1,20	0,95	0,86	0,78
18-24h	2,80	1,14	1,06	0,83	0,75	0,78

A pesquisa por MASSAUD, SCHILLING e HERNANDEZ [19] foi uma das pioneiras realizadas em âmbito nacional a fim de se obter dados para a estimação dos índices de custos de interrupções de consumidores de energia elétrica. A metodologia traz como vantagem uma formulação mais precisa para a obtenção dos custos de interrupção para os consumidores industriais, englobando mais variáveis do que a metodologia apresentada no item 2.2.1. As variáveis relacionadas em [19] são: custos básicos de interrupções, quantificados como os custos com trabalho e capital, custos devido às matérias-primas, e os custos com as horas extras de trabalho. A economia que pode ser contabilizada no valor destes custos diz respeito ao valor relacionado à recuperação da produção industrial devido às horas extras de trabalho.

A principal desvantagem do método [19] é que apesar de mais detalhadas as variáveis a serem consideradas na formulação do cálculo dos custos, há, ainda, uma necessidade direta de pesquisa para a obtenção destes custos, através de questionários a serem respondidos pelos consumidores. No entanto, em todo o mundo há uma consciência de que a pesquisa direta com os consumidores é ainda a maneira mais fiel de obtenção dos valores agregados ao cálculo dos custos de interrupções de energia elétrica, apesar de serem valores estimados.

### 2.2.3 Custos da interrupção de energia para os consumidores industriais

Outra abordagem para o cálculo do custo das interrupções de energia elétrica para os setores industriais, e também, os comerciais é expressa por SULLIVAN, VARDELL e JOHNSON em [24], como mostra a Equação 2.3.

$$IC = LP + OrC - OrS \quad (2.3)$$

Em que:

*IC* Custo das interrupções.

*LP* Valor de produção perdida.

*OrC* Custos relacionados às interrupções.

*OrS* Valor das poupanças relacionadas às interrupções.

O valor da produção perdida é obtido pela renda esperada dos consumidores sem a ocorrência das interrupções menos à renda dada à ocorrência destes fenômenos. Normalmente, esta quantia é igual ao valor do produto que não pôde ser produzido por causa da ocorrência das interrupções menos o valor de qualquer produção que será realizada para repor a produção perdida.

Os custos relacionados às interrupções são quantificados como sendo os valores de mão-de-obra para reiniciar e/ou repor a produção, materiais para reiniciar a produção, materiais danificados, danos para planta física, re-processamento de materiais e os custos com a operação de equipamento de geração.

As poupanças relacionadas às interrupções são expressas como sendo os valores de retorno financeiro para as indústrias mesmo com a ocorrência das interrupções, estes são: salários não pagos a trabalhadores durante a interrupção do processo de produção, custos de matérias-primas e combustíveis não utilizados, e os valores dos materiais danificados que podem ser re-aproveitados.

Para a aplicação da metodologia [24] foi realizada uma pesquisa com 1997 consumidores estratificados em dois tipos. O primeiro com relação ao tipo de negócio, como por exemplo, indústria têxtil, etc. E o segundo em relação ao tipo de tensão fornecida a estes consumidores, nível de transmissão ou distribuição.

As interrupções foram analisadas de acordo com seis cenários diferentes:

- Cenário 1 - duração de 1h, a interrupção começa às 3 da tarde em uma tarde de verão sem advertência por parte da concessionária;
- Cenário 2 - duração de 1h, a interrupção começa às 3 da tarde em uma tarde de verão com 1 hora de advertência por parte da concessionária;
- Cenário 3 - duração de 4h, a interrupção começa às 3 da tarde em uma tarde de verão sem advertência por parte da concessionária;
- Cenário 4 - duração de 2h, a interrupção começa às 7 da noite em uma manhã de inverno sem advertência por parte da concessionária;
- Cenário 5 - duração de 1 a 2s, a interrupção momentânea ocorre em uma tarde de verão em tempo claro;
- Cenário 6 - um afundamento de tensão com queda de tensão de 10% a 20%, durante 15 ciclos.

Os valores expressos na Tabela 2.2 mostram os resultados alcançados na pesquisa, onde se observa a estratificação de cada variável de custo para a obtenção do custo total na ocorrência das interrupções para cinco cenários acima apresentados.

Tabela 2.2 - Média das componentes de custos das interrupções, por cenário, para grandes consumidores industriais e comerciais.

Elemento de Custo	Cenários				
	Interrupção de 4h sem notificação	Interrupção de 1h sem notificação	Interrupção de 1h com notificação	Afundamento de Tensão	Desligamento momentâneo
<b>Impacto da Produção</b>					
Tempo perdido na produção	6,67h	2,96h	2,26h	0,36h	0,7h
Percentual de trabalho parado	91%	91%	91%	37%	57%
<b>Perda da Produção</b>					
Valor da produção perdida	US\$81,932.00	US\$32,816.00	US\$28,746.00	US\$3,914.00	US\$7,407.00
Percentual de produção recuperada	36%	34%	34%	16%	19%
<b>Perda devido ao Prejuízo</b>					
Prejuízo em matéria-prima	US\$13,070.00	US\$8,518.00	US\$3,287.00	US\$1,163.00	US\$2,051.00
Prejuízo de equipamentos	US\$8,421.00	US\$4,977.00	US\$408.00	US\$3,143.00	US\$3,239.00
<b>Custo de Manutenção de Reserva e Reinício</b>					
Custo de manutenção de gerador reserva	US\$178.00	US\$65.00	US\$65.00	US\$22.00	US\$22.00
Custo para reinício dos equipamentos elétricos	US\$1,241.00	US\$1,241.00	US\$171.00	US\$29.00	US\$29.00

Outros custos para o reinício	US\$401.00	US\$368.00	US\$280.00	US\$74.00	US\$149.00
<b>Economias</b>					
Economia em matéria-prima	US\$1,927.00	US\$645.00	US\$461.00	US\$114.00	US\$166.00
Economia em combustível e eletricidade	US\$317.00	US\$103.00	US\$85.00	US\$9.00	US\$12.00
Valor da sucata	US\$2,337.00	US\$874.00	US\$450.00	US\$140.00	US\$228.00
<b>Gerenciamento da Mão-de-Obra durante a Recuperação</b>					
Percentual de hora extra	33%	26%	25%	6%	7%
Percentual de turno extra	1%	1%	0%	1%	1%
Percentual de mão-de-obra intensiva	3%	4%	4%	4%	7%
Percentual de operação re-agendada	4%	5%	5%	0%	0%
Outros percentuais	1%	2%	2%	0%	1%
Percentual não recuperado	59%	62%	64%	89%	84%
<b>Custo de Mão-de-Obra e economias</b>					
Custo para re-organizar a produção	US\$1,854.00	US\$1,709.00	US\$1,373.00	US\$60.00	US\$254.00
Custo para reinício	US\$665.00	US\$570.00	US\$426.00	US\$114.00	US\$192.00
Economia de mão-de-obra	US\$2,159.00	US\$644.00	US\$555.00	US\$0	US\$0
<b>Custo Médio Total</b>					
Custo total	US\$74,835.00	US\$39,459.00	US\$22,973.00	US\$7,694.00	US\$11,027.00
Custo por kWh mensalmente	US\$0.2981	US\$0.0182	US\$0.0438	US\$0.0492	US\$0.0506

As principais vantagens consideradas na pesquisa realizada por SULLIVAN, VARDELL e JOHNSON são uma maior e mais ampla explanação das variáveis a serem consideradas para o cálculo do custo das interrupções de energia elétrica para os consumidores industriais, proporcionando uma abrangência nas características a serem acrescentadas na formulação da metodologia desta dissertação. O método considera um retorno financeiro apesar de ser esperado um prejuízo com a ocorrência das interrupções, devido algum tipo de poupança que pode ser contabilizada apesar da ocorrência de variações na qualidade da energia elétrica.

A principal desvantagem encontrada em [24] é que, apesar das variáveis serem bastante detalhadas, há uma dificuldade de se obter os seus valores; continua-se a se esperar dos consumidores respostas para cada uma das variáveis que gerarão o valor final do custo com a ocorrência das interrupções.

#### **2.2.4 Critério econômico para a confiabilidade dos sistemas**

No ano de 1979 MUNASINGHE e GELLERSON [5] abordaram os custos das interrupções de energia elétrica para os consumidores industriais, levando-se em consideração a frequência de ocorrência destas interrupções e a sua duração. Também são

variáveis incluídas na formulação matemática desenvolvida pelos autores as características intrínsecas de cada indústria pesquisada, como o seu porte e setor que pertence, o número de horas trabalhadas, se existe folga na capacidade de produção das máquinas, se possui capacidade de recuperação com a produção em horas extras, etc. Há, portanto uma extensa formulação em [5] apresentando cada variável que compõe os custos das interrupções para o setor industrial. As variáveis consideradas são:

- Custo dos produtos e materiais deteriorados. Este valor é importante ser determinado, pois com a ocorrência das interrupções materiais e produtos podem ser danificados implicando na não continuidade da produção normal da indústria.
- Custo com trabalho e capital ociosos. Com a descontinuidade do processo de produção industrial, ocorre que trabalhadores tornam-se ociosos como também o capital, isto leva em um acréscimo no valor final do custo das interrupções de energia elétrica;
- Valor de recuperação. Se os equipamentos que fazem parte do processo industrial não trabalham a 100% de sua capacidade, isto implica em um fator de folga na capacidade de produção das indústrias. Para estas indústrias, pode haver um decréscimo no custo das interrupções de energia, por causa da retomada de produção a fim de se recuperar a produção que não foi realizada no período da interrupção;
- Custo com a produção em horas extras. Esta variável leva em consideração a possibilidade de recuperação da produção em períodos de trabalho extra para as indústrias que não operam durante as 24 horas do dia e durante todos os dias da semana; porém as indústrias que podem fazer esta recuperação também arcam com prejuízos visto que há necessidade de pagamentos salariais maiores e maior quantidade de matéria-prima, para a realização desta produção. E há ainda, que se levar em consideração às obrigações trabalhistas para se tomar a decisão para a produção em horas extras de trabalho.

A principal relevância trazida por MUNASINGHE e GELLERSON em sua metodologia é a obtenção dos custos das interrupções por meio não mais de perguntas diretas dos valores de cada variável dos custos, mas sim da obtenção destes valores por meio de fórmulas matemáticas, elaboradas a partir de dados estimados ou conhecidos das características de produção de cada indústria.

Uma desvantagem encontrada nesta metodologia é o fato que não são todas as variáveis já estudadas que são apresentadas nas equações matemáticas de [5], portanto, há falta de variáveis importantes que também deveriam ser contabilizadas, como, por exemplo, os custos de retorno apresentados no item 2.2.3, que como visto tendem a diminuir o valor final dos custos das interrupções de energia elétrica. Pode-se apontar, também, como desvantagem o fato de que apesar de terem sido formuladas equações para a determinação do cálculo destes custos ainda há uma necessidade de se realizar pesquisa direta com os consumidores, visto que há variáveis dentro das equações que precisam ser informadas pelas indústrias e/ou pelos fornecedores de energia elétrica, com, por exemplo, a frequência e a duração destes fenômenos.

### **2.2.5 Impacto econômico do afundamento de tensão na indústria**

A metodologia [39] proposta por ALVES, COSTA e FONSECA se assemelha à [5], com a diferença de que o impacto econômico é contabilizado para os custos relacionados especificamente aos fenômenos de afundamento de tensão com influência sobre a produção.

A vantagem observada na metodologia [39], principalmente quando se compara com a metodologia [5] é o acréscimo de mais duas variáveis a serem contabilizadas no cálculo do impacto econômico dos afundamentos de tensão que são:

- Valor de retorno da energia que não foi consumida durante a interrupção do processo de produção, este é o valor monetário do kWh não consumido;
- Custos diversos associados. São os custos que não foram incluídos nas formulações matemáticas apresentadas em [5], como, por exemplo, a compra de material de limpeza para a planta industrial com a ocorrência dos afundamentos de tensão.

### **2.2.6 Avaliação do custo social na ocorrência de interrupções**

Para finalizar o estudo bibliográfico elaborado neste trabalho sobre a avaliação do impacto econômico dos fenômenos relacionados com a falta da qualidade da energia elétrica fornecida aos consumidores industriais, não se poderia deixar de considerar a pesquisa [33] elaborada no Estado de São Paulo. Por meio de pesquisa direta, foram aplicados questionários em 17 atividades diferentes da indústria para estimar os custos

relacionados às interrupções de energia elétrica, a saber: agroindústria, alimentos, alumínio, mecânica, química, couro / calçados, cerâmica, cimento, elétrica / eletrônica, madeira / mobiliário, metalúrgica, têxtil / vestuário, papel, extração mineral, vidro, siderúrgica.

As variáveis adotadas nesta pesquisa para a estimação dos custos de interrupção são:

- Custo de geração própria. É o valor devido à produção de energia através de geradores, baterias etc, caso haja a interrupção.
- Custo de proteção. É o valor gasto pelo consumidor para proteção, com equipamentos de suprimento de energia, das falhas do sistema elétrico, valor fixo mensal.
- Custo de reparos. São os gastos com reparo de equipamentos danificados pela interrupção súbita da energia e seu retorno em faixas de tensão fora da faixa adequada.
- Custo de horas extras para compensar períodos interrompidos. É o valor associado à operação do estabelecimento, quando seu período normal de funcionamento é prolongado caso haja interrupção.
- Custo de perdas de informação. É o custo associado a perdas de informações guardadas em meio computadorizado (dados, arquivos, etc.), decorrentes de interrupção ocorrida no estabelecimento, que motivam a reposição de dados e o re-processamento computacional.
- Custos de matéria-prima ou produtos primários estocados deteriorados ou estragados. É o valor associado à perda de produtos primários ou matérias-primas, estocados, por exemplo, em meio frio que se deterioram ou perdem valor devido à interrupção de energia.
- Custos de produtos em elaboração estragados ou danificados. É o valor associado à perda de produtos durante seu processo de fabricação.
- Custos de produtos acabados estragados ou danificados. É o valor associado à perda de produtos acabados, ou em estoque.

- Custo da produção perdida. É o valor da perda de produção considerada irrecuperável, referindo-se aos produtos que estão sendo processados.
- Custo de retomada ou reinício da produção. É o valor devido aos procedimentos de retomada do ritmo normal da produção no caso de ocorrência de uma interrupção, incluindo o tempo gasto com a re-programação da produção, preparo de equipamentos, limpeza de resíduos, reposição de ferramentas, aferição de padrões e outros.
- Custo de vendas não realizadas. É o valor de oportunidade associado à perda de vendas caso haja interrupção de energia elétrica.
- Custo com outros fatores ou custos extras. É o valor associado a outros fatores não previstos anteriormente.

A importância do artigo [33] foi a adição de variáveis que devem compor o cálculo do impacto econômico dos distúrbios de energia elétrica.

### **2.3 Conclusão**

Com o aparato de informações obtidas por meio da realização da revisão bibliográfica e, também, pela descrição do referencial teórico analisado de maneira sucinta, lastream-se os passos que devem ser desenvolvidos para a obtenção do modelo capaz de estimar os custos referentes à falta de qualidade de energia elétrica na operação das indústrias, passos estes que serão descritos nos capítulos seguintes. Pode-se observar que, com o estudo aqui elaborado, há uma preocupação em todo o mundo para a obtenção dos valores dos custos relacionados à operação das indústrias no que diz respeito às variações de energia elétrica. Pondo-se ainda mais em relevância ao trabalho aqui descrito pela ausência na indústria, na concessionária e na federação das indústrias cearenses de uma ferramenta que permita avaliar tais custos.

*As* indústrias, como instrumento econômico representativo da sociedade moderna, reúnem um conjunto de funções que utiliza recursos visando a produção de bens, porém estas sempre estão à procura da redução de seus custos de produção [42]. Para se obter o equilíbrio econômico do ponto de vista da produção nas indústrias e as perturbações de qualidade de energia elétrica que podem ocorrer durante este processo de produção, é necessário encontrar o ponto ótimo dos custos industriais associados à falta da QEE.

Neste trabalho define-se como perturbação ou distúrbio elétrico qualquer ocorrência no suprimento de energia elétrica responsável pela parada ou má operação de processos produtivos.

Para o cálculo econômico do custo dos distúrbios elétricos sobre a produção industrial, considera-se este como sendo o valor, expresso em moeda corrente, de atividades e materiais efetivamente consumidos e aplicados na fabricação e comercialização dos produtos.

A Figura 3.1 mostra a influência da confiabilidade do sistema elétrico no custo do consumidor e da concessionária. Observa-se que para os consumidores a curva de custos é descendente com o aumento da confiabilidade do sistema, enquanto que para as concessionárias de energia a curva é crescente. Isto significa que, para níveis baixos de confiabilidade do sistema o custo do consumidor industrial é alto, devido aos custos operacionais, por exemplo, e que o custo das concessionárias é baixo, devido ao capital que é empregado. À medida que a confiabilidade do sistema aumenta verifica-se uma redução no custo do consumidor e aumento no custo da concessionária. Como toda análise econômica de curvas de custos busca-se sempre o ponto ótimo ou de equilíbrio, observado no ponto mínimo da curva total de custo, o qual representa o nível econômico ótimo de confiabilidade para um determinado sistema de energia em relação aos consumidores e

concessionárias. Sendo, portanto, o alcance desse ótimo a tradução da redução dos custos para o consumidor de energia elétrica do ponto de vista da confiabilidade [21].

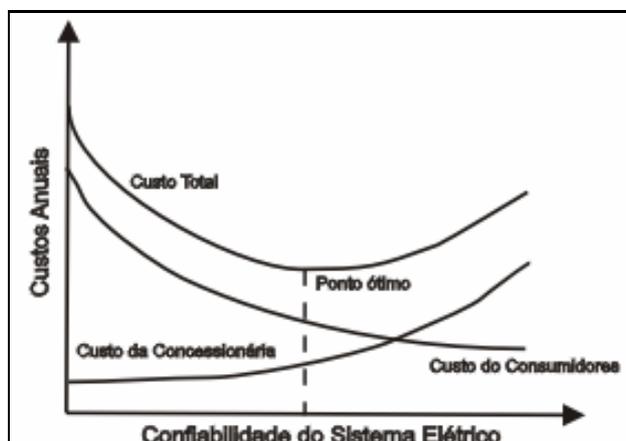


Figura 3.1 - Curva dos custos anuais dos consumidores e concessionárias versus confiabilidade do sistema elétrico de potência.

Esta análise é importante, pois se sabendo quais os custos industriais relacionados à falta da QEE pode-se diminuir os custos operacionais relacionados buscando sempre o equilíbrio econômico ótimo. A obtenção dos custos de produção relacionados às variações na QEE auxilia a avaliação do custo-benefício das soluções propostas para mitigar a falta da QEE. Desta forma, certos da importância em estimar estes custos, formulou-se uma metodologia para o cálculo dos custos relacionados à falta de qualidade de energia elétrica nas indústrias, que é exposta a seguir.

### 3.1 Estimação dos Custos de Produção devido à Falta de QEE

A ausência de informações sobre os custos industriais referentes à produção e comercialização de produtos pode implicar em [43]:

- Desconhecimento do lucro por produtos fabricados;
- Desconhecimento dos custos das atividades da indústria;
- Menor lucro;
- Menor rentabilidade, e;
- Ameaças à estabilidade econômica, financeira, e ao crescimento industrial.

Dentre estes custos industriais existem os custos associados à falta de qualidade de energia elétrica, desta forma é importante que a indústria tenha conhecimento destes valores para se reduzir ao máximo os seus custos totais.

A metodologia aqui apresentada foi formulada a partir de referências bibliográficas [5], [19], [24], [36], [39], [44].

Os custos devido à falta da QEE na indústria são classificados em quatro categorias: (a) custos por perdas de produto; (b) custos relacionados ao trabalho; (c) custos suplementares, e; (d) custos poupados.

### **3.1.1 Custos por perdas de produto**

Os custos por perdas de produto tratam das perdas de produtos que tiveram sua produção interrompida ou materiais danificados devido às variações de qualidade de energia elétrica. São subdivididos em:

- Custo de perdas de materiais e produtos, por distúrbio, e;
- Custo de substituição de matérias-primas estragadas ou danificadas.

### **3.1.2 Custos relacionados ao trabalho**

Os custos relacionados ao trabalho são todos os custos que envolvem o trabalho empregado no processo de produção das indústrias, sendo de caráter humano ou das linhas de produção, o trabalho ocioso devido à interrupção do processo de produção, assim como o trabalho extra, para compensar as perdas de produção em regime extra de trabalho e, também, a limpeza e a manutenção de equipamentos. Esta classificação de custos pode ser subdividida em:

- Custo de capital e mão-de-obra ociosos;
- Custo com mão-de-obra associada à recuperação da produção durante horas extras;
- Custo com mão-de-obra especializada para o reinício da produção;
- Custo com a limpeza da planta industrial para o reinício do processo;
- Custo com a operação e manutenção de equipamentos de controle ou de compensação de energia elétrica;

- Custo com a operação e manutenção de equipamentos de geração auxiliar, e;
- Custo de recuperação das perdas de informação digital.

### **3.1.3 Custos suplementares**

Os custos suplementares são advindos do conserto de equipamentos danificados, consumo extra de energia elétrica, perda de oportunidades de vendas e, penalidades causadas pela falta de QEE. Os custos suplementares compreendem:

- Custo de substituição de equipamentos danificados;
- Custo com o reparo ou conserto de equipamentos;
- Custo com a energia elétrica consumida durante as horas extras de trabalho;
- Custo das vendas não realizadas devido à queda de produção;
- Custo de multas ou penalidades devido ao não cumprimento de contratos.

### **3.1.4 Custos poupados**

Os custos classificados como poupados são os valores referentes a possíveis retornos monetários para as indústrias, apesar da interrupção do processo de produção. Estes são subdivididos em:

- Custo de recuperação da produção através da folga da capacidade de produção dos equipamentos industriais, ou pelo reembolso dos materiais re-aproveitáveis, ou ainda pelo valor das matérias-primas não consumidas durante a interrupção do processo, e;
- Custo da energia não consumida durante a interrupção do processo.

A seguir serão apresentadas as variáveis relacionadas aos custos acima classificados para estimação dos custos de produção devido à falta de QEE.

## **3.2 Cálculo do Custo da Falta de Qualidade de Energia Elétrica**

A metodologia proposta neste trabalho para o cálculo do custo da qualidade de energia elétrica congrega as principais características de três metodologias apresentadas em [2], [19] e [24]. A primeira, de 1979, o autor [2] trata o custo da interrupção de energia elétrica nas indústrias por meio de cálculos matemáticos. A segunda referência, de 1994, os

autores [19] abordam os custos industriais das interrupções por meio de índices de energia, com base na relação existente entre os valores dos custos e a energia não consumida devido às interrupções; e por fim, a terceira metodologia, de 1997, o cálculo dos custos de interrupções é expresso com variáveis globais, ou seja, uma só variável congrega uma série de características ou indicadores específicos dos custos de interrupção de energia elétrica [24]. Estas duas últimas referências trazem como característica relevante à visão de custos de retornos para as indústrias mesmo com a ocorrência de distúrbios que afetam os processos industriais, contribuindo assim para a redução nos custos finais decorrentes da falta da QEE nas indústrias.

A metodologia aqui proposta estima a influência de distúrbios sobre as linhas de produção da indústria. Os distúrbios podem ser de longa ou de curta duração. Como, em geral, indústrias e concessionárias ainda não incorporaram a prática de avaliar a qualidade da energia elétrica no ponto de entrega através da caracterização do tipo de distúrbio, a frequência de ocorrência, magnitude e duração, neste trabalho optou-se na apresentação de cenários representando ocorrências plausíveis de ocorrer na planta industrial e de duração definidas. Para os cenários apresentados o usuário deverá estimar a frequência de ocorrência do distúrbio e o número de linhas de produção afetada por cada distúrbio.

O custo anual total,  $C_{FQ\_Total}$ , estima o valor final dos prejuízos sofridos pelas indústria com a falta de qualidade da energia elétrica. O custo  $C_{FQ\_Total}$ , expresso em R\$ por ano, é igual à soma do custo anual estimado por distúrbio, como mostra a Equação 3.1.

$$C_{FQ\_Total} = \sum_{j=1}^{nd} C_{FQ(j)} \quad (3.1)$$

Em que:

$C_{FQ\_Total}$  Custo anual da falta de qualidade de energia elétrica na indústria.

$C_{FQ(j)}$  Custo anual da falta de qualidade de energia elétrica por distúrbio j.

$nd$  Número de distúrbios que ocorrem, durante o ano, na indústria, ou número de cenários.

O custo anual da falta de qualidade de energia elétrica por distúrbio,  $C_{FQ(j)}$ , expresso em R\$ por ano, é obtido pela soma de um conjunto de parcelas que consideram todas as variáveis de custo para o distúrbio ou cenário j como mostra a Equação 3.2.

$$C_{FQ(j)} = C_{MP(j)} + C_{CM(j)} + C_{HEX(j)} + C_{S(j)} - C_{R(j)} - C_{E(j)} + C_{D(j)} \quad (3.2)$$

Em que:

- $C_{MP(j)}$  Custo anual de perda de materiais e produtos por distúrbio j
- $C_{CM(j)}$  Custo anual de capital e mão-de-obra ociosos devido à influência do distúrbio j.
- $C_{HEX(j)}$  Custo anual com mão-de-obra associado a recuperação da produção durante horas extras de trabalho devido a ocorrência do distúrbio j.
- $C_{S(j)}$  Custo anual de substituição de materiais e equipamentos por causa da ocorrência do distúrbio j.
- $C_{R(j)}$  Custo anual com a recuperação da produção devido à ocorrência do distúrbio j.
- $C_{E(j)}$  Custo anual da energia não consumida durante a interrupção do processo, devido à ocorrência do distúrbio j.
- $C_{D(j)}$  Custos anuais diversos, por distúrbio j.

O custo anual de perda de materiais e produtos por distúrbio,  $C_{MP(j)}$ , é obtido a partir da perda anual de produção industrial. A estimação de  $C_{MP(j)}$  é obtida para cada linha de produção da indústria sensível ao distúrbio j em consideração.

$$C_{MP(j)} = f \cdot \sum_{i=1}^{nl} v_i \cdot t \cdot \frac{C_p}{h} \quad (3.3)$$

Em que:

- $C_p$  Custo total de produção anual perdida pela indústria, devido não apenas às perturbações elétricas, em R\$ por ano.
- $h$  Regime total de trabalho do setor de produção, em horas por ano.
- $f$  Frequência de ocorrência por ano do distúrbio j
- $t$  Tempo de duração do distúrbio, em horas.
- $v_i$  Percentagem do custo total de produção anual perdida para a linha de produção i, % $C_p$ .
- $nl$  Número de linhas de produção sensíveis ao distúrbio j.

Quando ocorre a parada na produção industrial devido a fenômenos de QEE, resulta no custo anual de capital e mão-de-obra ociosos devido à influência do distúrbio j. O custo  $C_{CM(j)}$  é estimado pela Equação 3.4.

$$C_{CM(j)} = f \cdot (\varepsilon \cdot t + \mu \cdot \gamma_t) \cdot \frac{C_p}{h} \quad (3.4)$$

Em que:

- $\varepsilon$  Fração da produção normal não produzida durante o desligamento.
- $\mu$  Fração da produção normal não produzida durante o religamento.
- $\gamma_t$  Tempo de religamento de um distúrbio de duração  $t$ , em horas.

Para a obtenção do custo anual com mão-de-obra associado à recuperação da produção durante horas extras de trabalho devido a ocorrência do distúrbio é necessário obter a quantidade de horas extras disponíveis, por ano, para a recuperação da produção industrial,  $h_{Ex}$ , isto ocorre se a indústria não tiver seu regime de trabalho totalmente preenchido durante as 24 horas do dia e em todos os dias da semana. Para o cálculo desta quantidade de horas utiliza-se a Equação 3.5.

$$h_{Ex} = \rho \cdot f \cdot \left[ \left( \sum_{i=1}^{nl} v_i \cdot t \right) + (\varepsilon \cdot t + \mu \cdot \gamma_t) \cdot (1 - \lambda) \right] \quad (3.5)$$

Em que:

- $\rho$  Fração do regime de trabalho para recuperação da produção perdida através de horas extras.

A partir do valor  $h_{Ex}$  encontra-se o custo anual com mão-de-obra associado à recuperação da produção durante horas extras de trabalho,  $C_{HEX(j)}$ , representado na Equação 3.6.

$$C_{HEX(j)} = h_{Ex} \cdot \frac{\varpi}{\omega} \cdot \frac{V_{MOAc}}{h} \quad (3.6)$$

Em que:

- $V_{MOAc}$  Valor de mão-de-obra anual a ser acrescentado, R\$ por ano.
- $\varpi$  Salário pago em hora extra, em R\$ por mês.
- $\omega$  Salário pago em regime normal de trabalho, em R\$ por mês.

Devido à ocorrência de um distúrbio elétrico pode haver perda de matérias-primas e falha de equipamentos, assim se faz necessário, também, o cálculo do custo anual de substituição de materiais e equipamentos por causa da ocorrência do distúrbio  $j$ ,  $C_{S(j)}$ , expresso pela Equação 3.7.

$$C_{S(j)} = C_{Smp(j)} + C_{Seq(j)} \quad (3.7)$$

Em que:

$C_{Smp(j)}$  Custo anual de substituição de matérias-primas estragadas ou danificadas por distúrbio  $j$ .

$C_{Seq(j)}$  Custo anual de substituição de equipamentos danificados, incluindo também o valor do frete, por distúrbio  $j$ .

Na estimação dos prejuízos sobre a produção decorrente das variações na qualidade de energia elétrica, devem ser observadas as condições que contribuem para o reembolso ou recuperação das perdas econômicas. O custo anual com a recuperação da produção devido à ocorrência do distúrbio  $j$ ,  $C_{R(j)}$ , Equação 3.8, caracteriza-se como uma parcela de reembolso para as indústrias.

Na Equação 3.8, a parcela referente à fração do custo anual de capital e mão-de-obra ociosos devido à influência do distúrbio  $j$ ,  $C_{CM(j)}$ , é representada para as indústrias que não operam com 100% de sua capacidade de produção. Este é um retorno do custo de trabalho parado, visto que existe para estas indústrias uma maneira de se retomar a produção perdida com a ocorrência de distúrbios de QEE pelo aumento do nível da capacidade de produção industrial de suas linhas de produção.

Pode-se, ainda, considerar pela Equação 3.8 a possibilidade de recuperar a produção por meio do reembolso de materiais re-aveitáveis ou com perda de qualidade por distúrbio  $j$ , isto se dá através da venda de sucatas, materiais que servem para outros processos de produção e, materiais ou produtos manufaturados com nível de qualidade reduzida. O valor das matérias-primas não utilizadas por distúrbio  $j$ , também pode ser abatido do custo que este distúrbio causa à indústria.

$$C_{R(j)} = (\lambda \cdot C_{CM(j)}) + C_{RM(j)} + C_{Mp\tilde{N}ut(j)} \quad (3.8)$$

Em que:

- $\lambda$  Valor percentual da folga da capacidade de produção.  
 $C_{RM(j)}$  Custo anual de reembolso de materiais re-aveitáveis por distúrbio j.  
 $C_{Mp\tilde{N}ut(j)}$  Custo anual de matérias-primas não utilizadas por distúrbio j.

Quando há parada de produção devido a variações de QEE ocorre um outro reembolso industrial, deve-se ao custo anual da energia não consumida durante a interrupção do processo devido à ocorrência do distúrbio j, principalmente para os fenômenos de longa duração. O custo  $C_{E(j)}$  é estimado utilizando-se a Equação 3.9, este valor se refere à quantidade monetária de kWh não consumido por causa da falta de QEE.

$$C_{E(j)} = \frac{V_{Econs}}{V_{Cel}} \cdot E_{\tilde{N}cons(j)} \quad (3.9)$$

Em que:

- $V_{Econs}$  Custo médio anual da energia elétrica consumida, em R\$ por ano.  
 $V_{Cel}$  Valor médio do consumo anual de energia elétrica, em kWh.  
 $E_{\tilde{N}cons(j)}$  Energia elétrica não consumida durante a parada do processo de produção, em kWh, devido ao distúrbio j.

Para a obtenção dos custos anuais diversos por distúrbio j,  $C_{D(j)}$ , que podem ocorrer na indústria devido aos distúrbios de qualidade de energia elétrica, é necessário o emprego da Equação 3.10, a qual possui valores descritos em R\$ por ano.

$$C_{D(j)} = C_{DAd(j)} + \frac{C_{DAop}}{nd} \quad (3.10)$$

Em que:

- $C_{DAop}$  Custos anuais diversos associados à operação.  
 $C_{DAd(j)}$  Custos anuais diversos associados à ocorrência do distúrbio j.  
 $nd$  Número de distúrbios que ocorrem, durante o ano, na indústria, ou número de cenários.

Os custos anuais diversos associados à operação da indústria,  $C_{DAop}$  são expressos na Equação 3.11.

$$C_{DAop} = C_{r\&c\_eq} + C_{o\&m\_cont} + C_{o\&m\_ger} + C_{inf} + C_{el} \quad (3.11)$$

Em que:

- $C_{r\&c\_eq}$  Custo anual com o reparo ou conserto de equipamentos.
- $C_{o\&m\_cont}$  Custo anual com a operação e manutenção de equipamentos de controle ou de compensação de energia elétrica.
- $C_{o\&m\_ger}$  Custo anual com a operação e manutenção de equipamentos de geração auxiliar.
- $C_{inf}$  Custo anual de recuperação das perdas de informação digital.
- $C_{el}$  Custo anual gasto com a energia elétrica consumida durante as horas extras de trabalho.

Para o cálculo dos custos anuais diversos associados à ocorrência do distúrbio  $j$ ,  $C_{DAd(j)}$ , emprega-se a Equação 3.12.

$$C_{DAd(j)} = C_{m\_esp(j)} + C_{lpz(j)} + C_{vend(j)} + C_{mul(j)} \quad (3.12)$$

Em que:

- $C_{m\_esp(j)}$  Custo anual com a mão-de-obra especializada para o reinício da produção, devido à ocorrência do distúrbio  $j$ .
- $C_{lpz(j)}$  Custo anual com a limpeza da planta industrial antes do reinício do processo, após a ocorrência do distúrbio  $j$ .
- $C_{vend(j)}$  Custo anual das vendas não realizadas devido à queda de produção, por causa da ocorrência do distúrbio  $j$ .
- $C_{mul(j)}$  Custo anual de multas ou penalidades devido ao não cumprimento de contratos, por causa da ocorrência do distúrbio  $j$ .

### 3.3 Fluxograma das Equações Matemáticas Descritas

Para uma melhor compreensão da formulação matemática descrita acima para a obtenção do valor financeiro do impacto dos distúrbios elétricos na produção dos consumidores industriais, elaborou-se o fluxograma em diagrama de blocos para as equações a fim de se aplicar no código fonte do programa computacional com interface gráfica apresentado no Capítulo 4.

A Figura 3.2 representa o diagrama de blocos para a obtenção do custo anual de perda de materiais e produtos por distúrbio  $j$ ,  $C_{MP(j)}$ , apresentado na Equação 3.3.

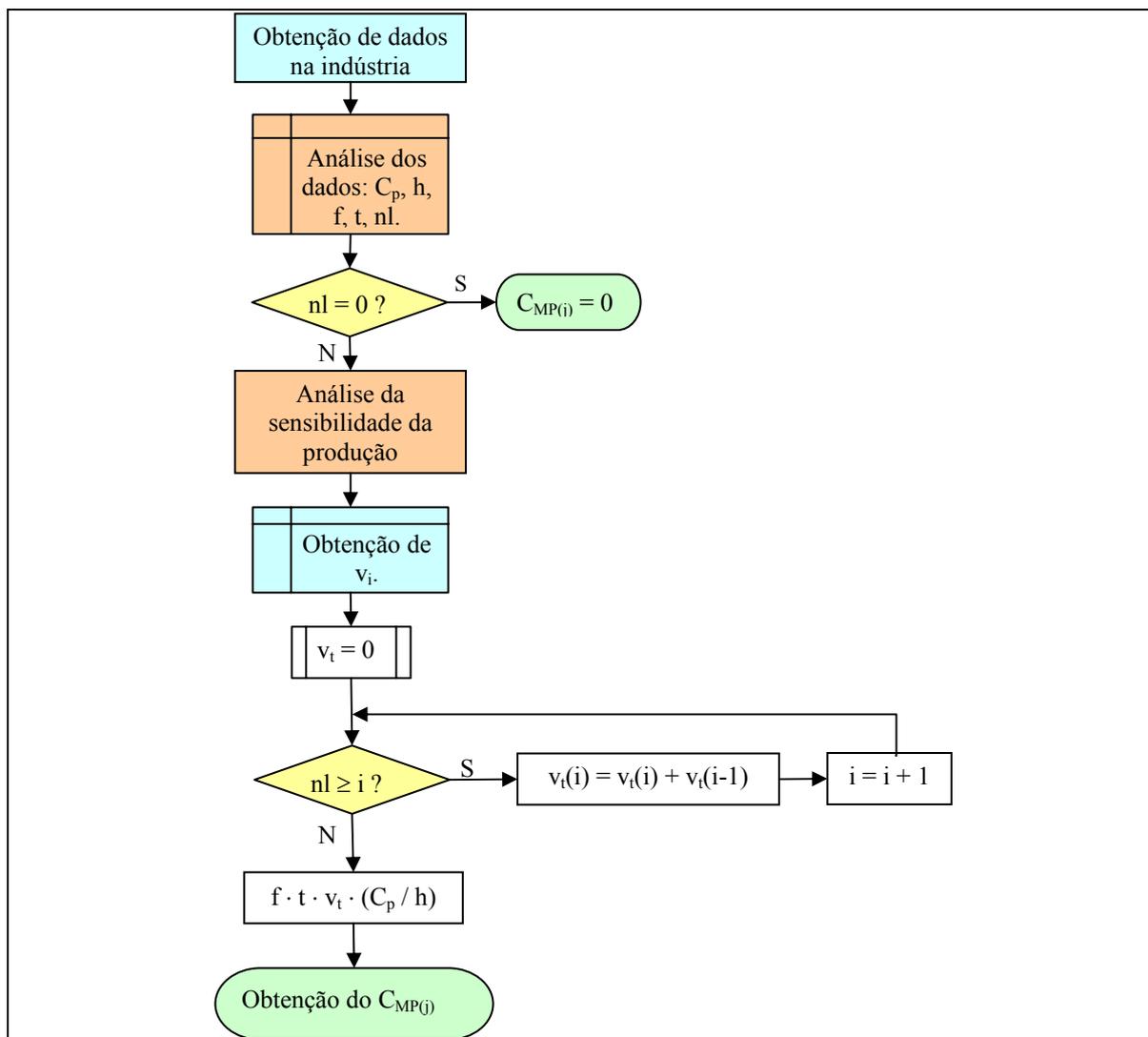


Figura 3.2 - Fluxograma para a obtenção do custo anual de perda de materiais e produtos por distúrbio  $j$ ,  $C_{MP(j)}$ .

Observa-se na Figura 3.3 o fluxograma para o cálculo do custo anual de capital e mão-de-obra ociosos devido à influência do distúrbio  $j$ ,  $C_{CM(j)}$ , apresentado na Equação 3.4 e do custo anual com a recuperação da produção devido à ocorrência do distúrbio  $j$ ,  $C_{R(j)}$ , expresso na Equação 3.8.

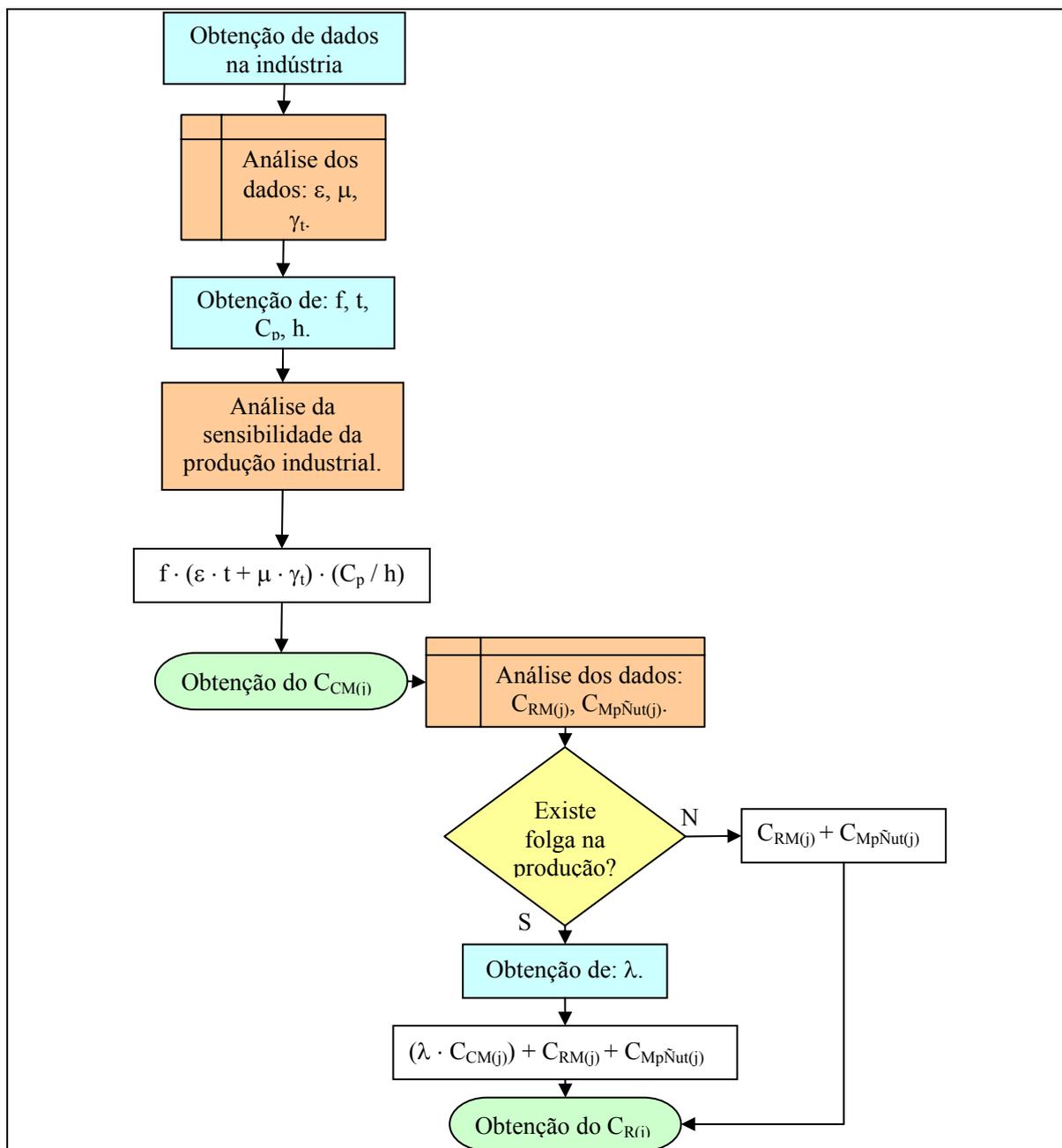


Figura 3.3 - Fluxograma para a obtenção do custo anual de capital e mão-de-obra ociosos devido à influência do distúrbio  $j$ ,  $C_{CM(j)}$  e do custo anual com a recuperação da produção devido à ocorrência do distúrbio  $j$ ,  $C_{R(j)}$ .

A obtenção do custo anual com mão-de-obra associado à recuperação da produção durante horas extras de trabalho devido a ocorrência do distúrbio  $j$ ,  $C_{HEX(j)}$ , pode ser observada pelo fluxograma da Figura 3.4, de acordo com são expressas nas Equações 3.5 e 3.6.

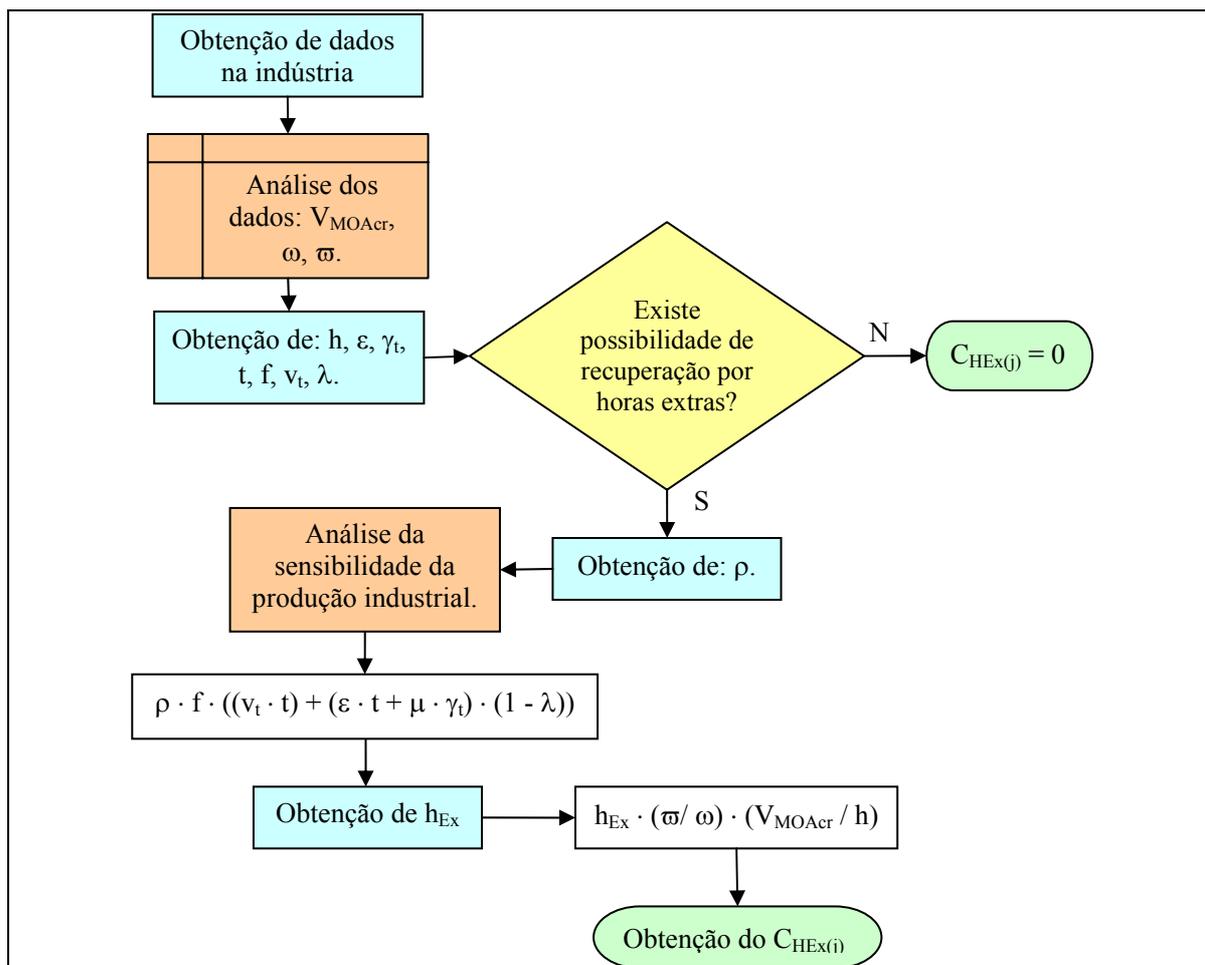


Figura 3.4 - Fluxograma para a obtenção do custo anual com mão-de-obra associado à recuperação da produção durante horas extras de trabalho devido a ocorrência do distúrbio  $j$ ,  $C_{HEX(j)}$ .

Os diagramas de blocos do custo anual da energia não consumida durante a interrupção do processo, devido à ocorrência do distúrbio  $j$ ,  $C_{E(j)}$ , apresentado na Equação 3.9. E o do custo anual de substituição de materiais e equipamentos por causa da ocorrência do distúrbio  $j$ ,  $C_{S(j)}$  expresso na Equação 3.7. Podem ser vistos no fluxograma da Figura 3.5.

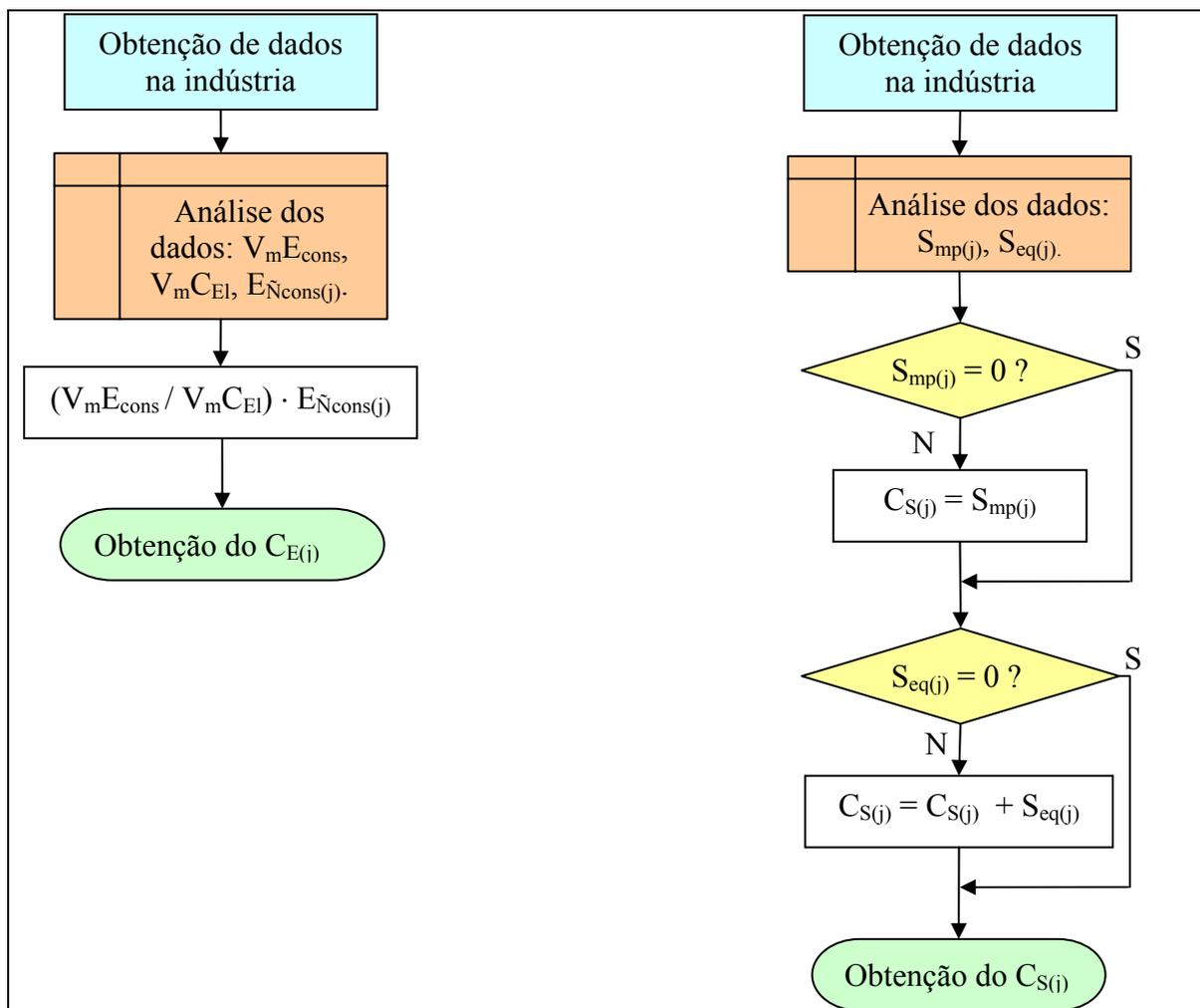


Figura 3.5 - Fluxograma para a obtenção do custo anual da energia não consumida durante a interrupção do processo, devido à ocorrência do distúrbio  $j$ ,  $C_{E(j)}$  e do custo anual de substituição de materiais e equipamentos por causa da ocorrência do distúrbio  $j$ ,  $C_{S(j)}$ .

A Equação 3.11 do cálculo dos custos anuais diversos associados à operação da indústria,  $C_{DAop}$ , pode ser visualizada por meio do diagrama de blocos da Figura 3.6.

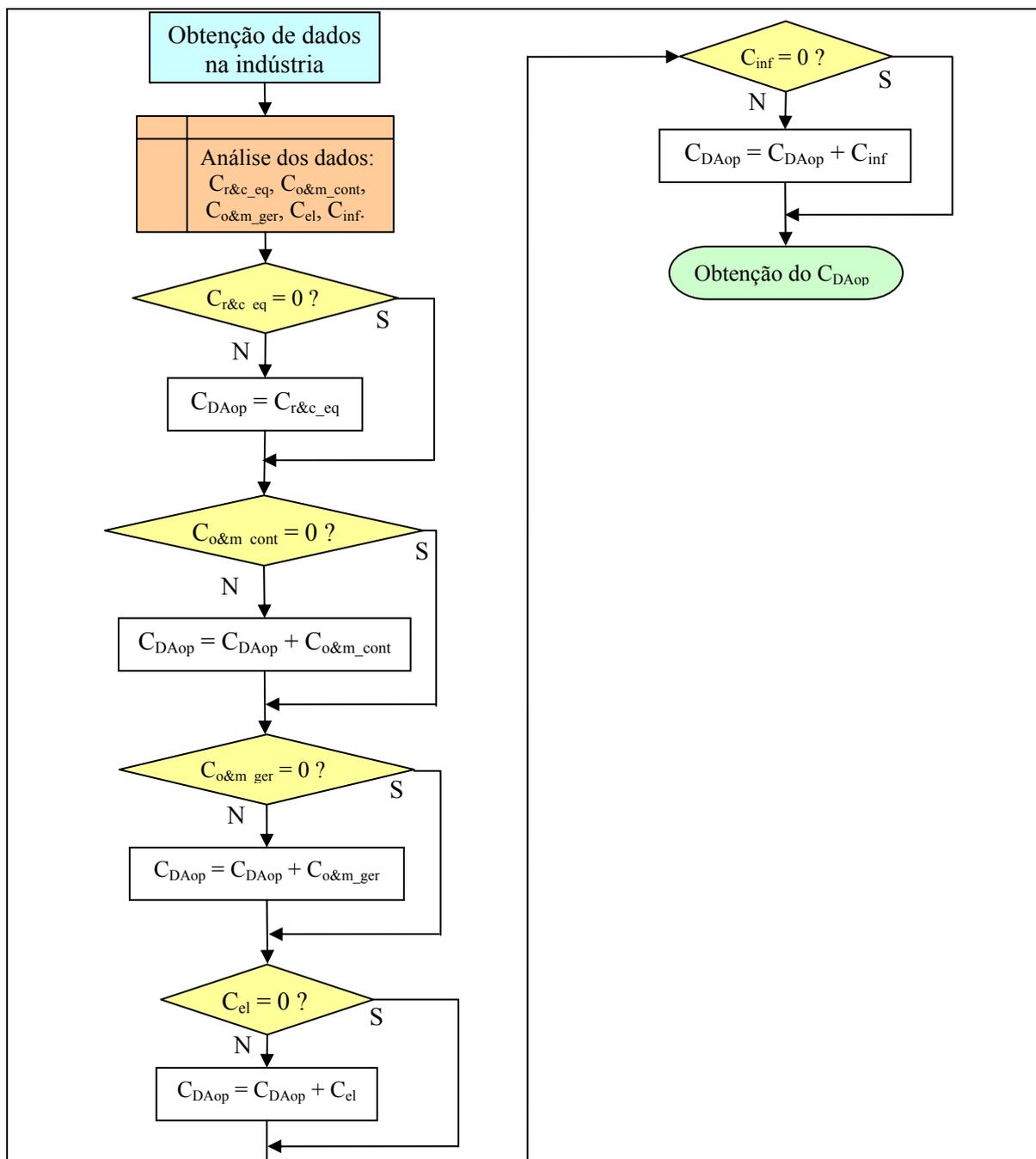


Figura 3.6 - Fluxograma para a obtenção dos custos anuais diversos associados à operação da indústria,  $C_{DAop}$ .

Para a obtenção dos custos anuais diversos associados à ocorrência do distúrbio  $j$ ,  $C_{DA(j)}$ , expresso na Equação 3.12 e dos custos anuais diversos, por distúrbio  $j$ ,  $C_{D(j)}$ , apresentado na Equação 3.10. Observa-se através da Figura 3.7 o fluxograma com o digrama de blocos destes custos.

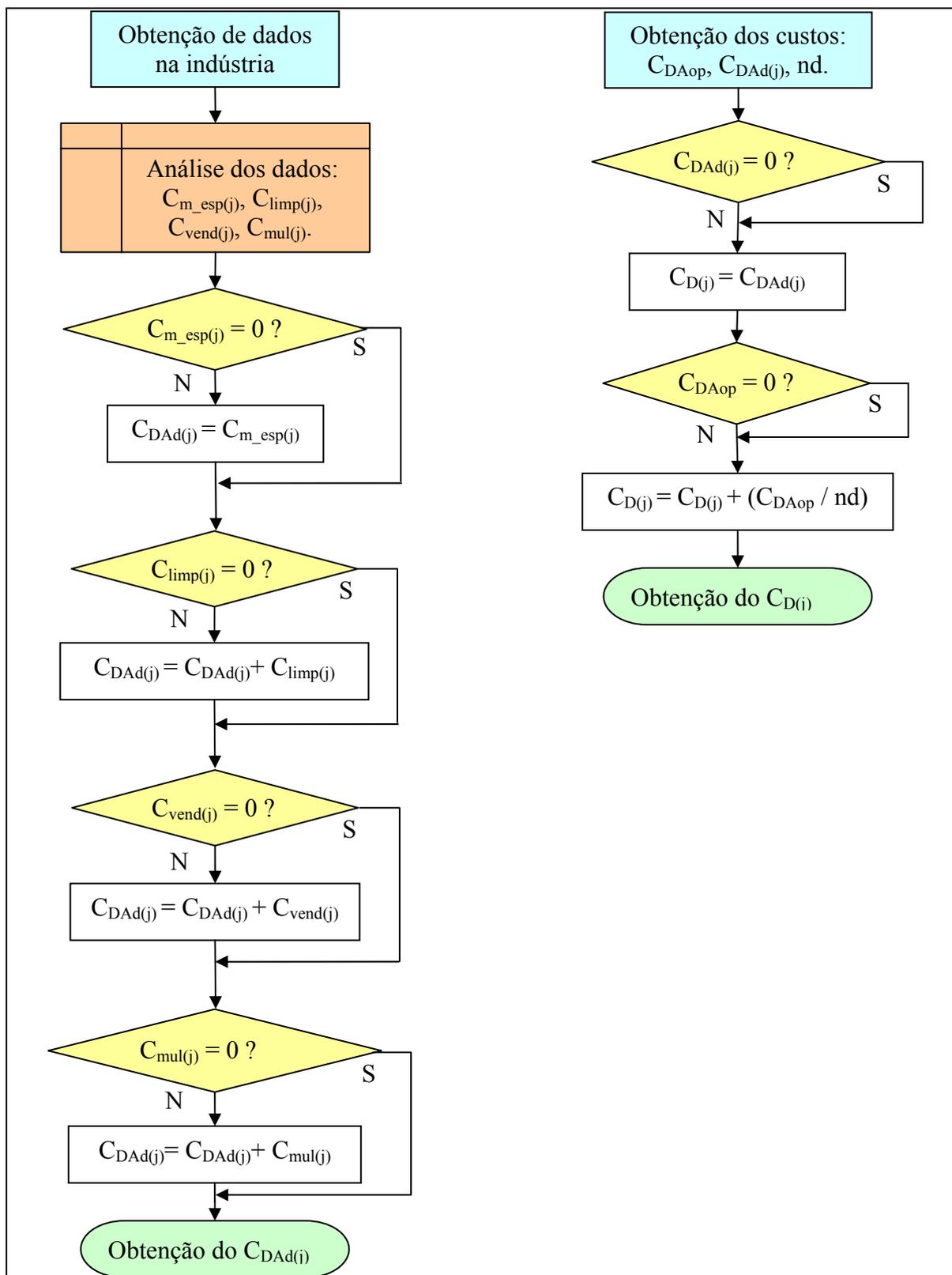


Figura 3.7 - Fluxograma para a obtenção dos custos anuais diversos associados à ocorrência do distúrbio  $j$ ,  $C_{DAd(j)}$  e dos custos anuais diversos, por distúrbio  $j$ ,  $C_{D(j)}$ .

O cálculo do custo anual da falta de qualidade de energia elétrica por distúrbio  $j$ ,

$C_{FQ(j)}$ , apresentado na Equação 3.2, é visualizado por meio do diagrama de blocos da Figura 3.8.

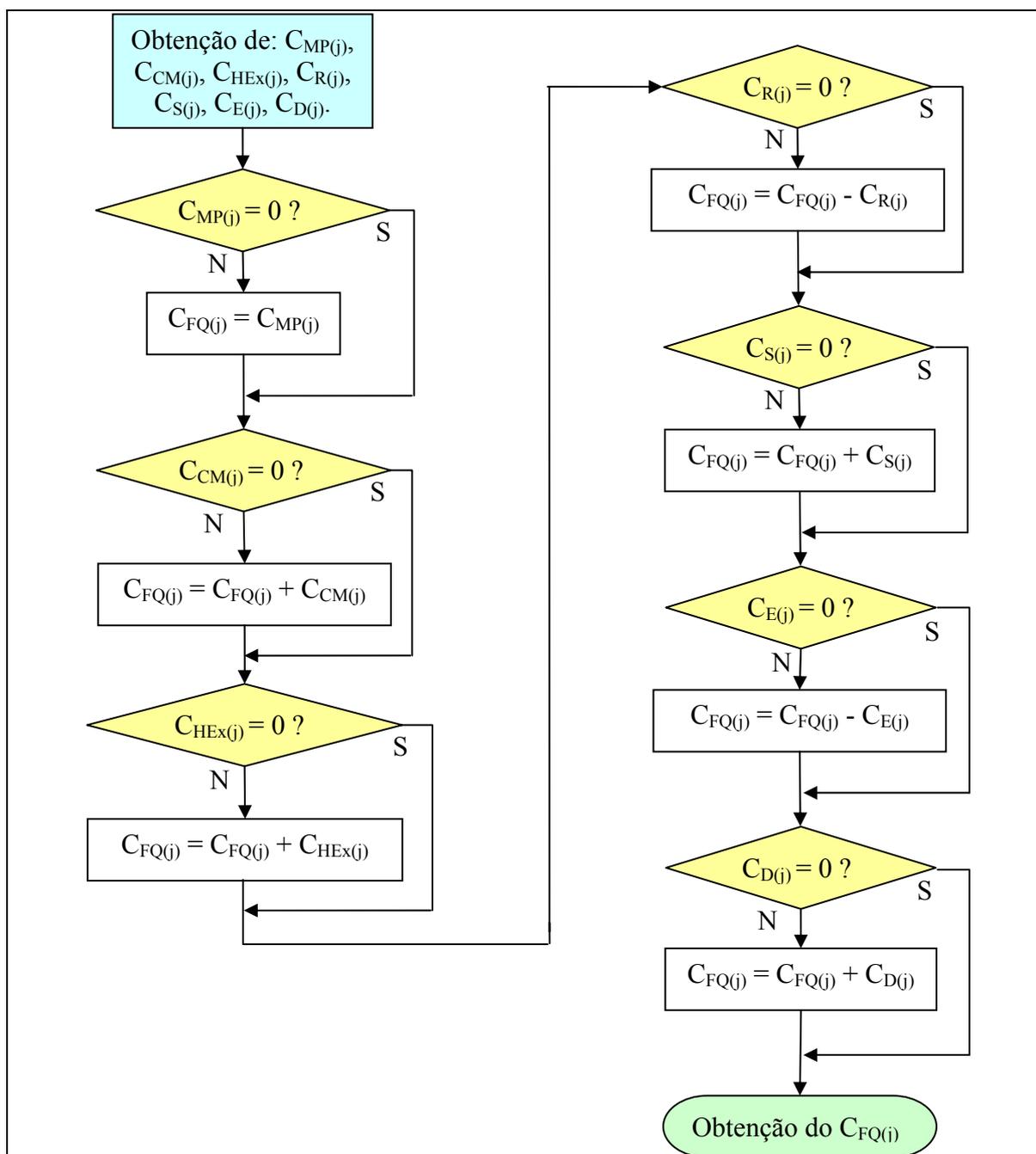


Figura 3.8 - Fluxograma para a obtenção do custo anual da falta de qualidade de energia elétrica por distúrbio  $j$ ,  $C_{FQ(j)}$ .

Por fim para a obtenção do custo anual da falta de qualidade de energia elétrica na indústria,  $C_{FQ\_Total}$ , como é expresso na Equação 3.1, observa-se na Figura 3.9 o fluxograma como diagrama de blocos o qual leva a determinação deste custo.

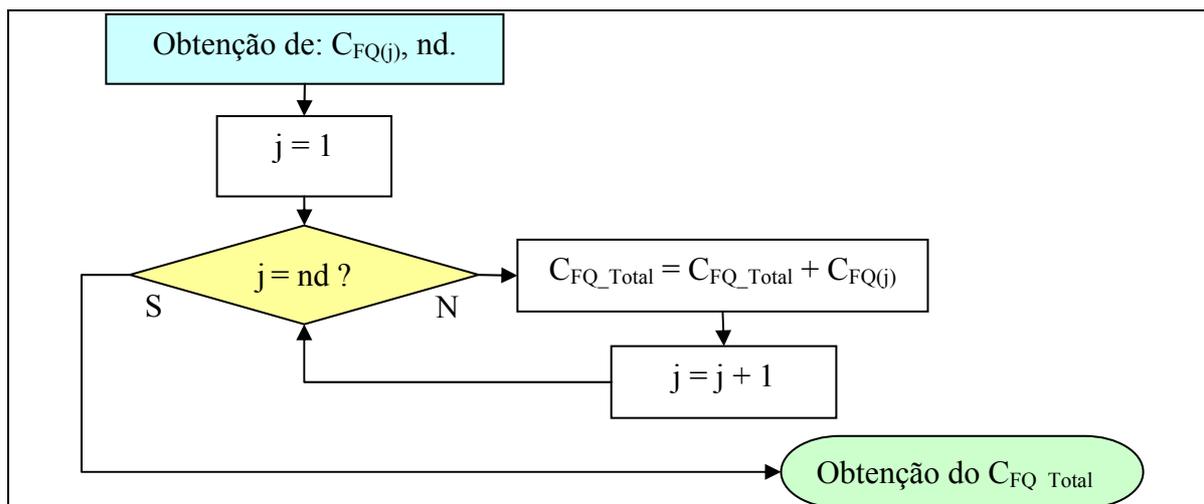


Figura 3.9 - Fluxograma para a obtenção do custo anual da falta de qualidade de energia elétrica na indústria,  $C_{FQ\_Total}$ .

### 3.4 Conclusão

A influência da qualidade da energia elétrica sobre a produtividade de uma empresa é uma realidade sobre a qual não há contestação. No entanto, as indústrias no Brasil necessitam de procedimentos capazes de mensurar a influência direta dos distúrbios elétricos na produção industrial.

A ausência de informações técnicas quanto ao desempenho do sistema supridor no ponto de entrega, bem como da sensibilidade dos equipamentos e dispositivos usados nos processos industriais levaram ao método proposto de estimação de custos de produção perdida devido aos distúrbios elétricos. Estando baseado em cenários que descrevem a condição de distúrbio e sua duração, com base no custo total de produção anual perdida pela indústria e na estimação da frequência anual de ocorrência de distúrbios, é estimada a perda de produção anual associada aos distúrbios elétricos.

Com a metodologia expressa pôde-se desenvolver a planilha eletrônica para avaliação do impacto econômico dos distúrbios elétricos no setor de produção dos consumidores industriais, a partir daí pôde-se consolidar os dados obtidos das indústrias cearenses e analisar os impactos econômicos decorrentes da falta de QEE.

Com a formulação matemática para a obtenção do impacto econômico dos distúrbios de energia elétrica nas indústrias, elaborada no capítulo anterior, foi desenvolvida uma planilha eletrônica para o cálculo dos custos relacionados à falta da qualidade da energia elétrica na indústria.

Foram construídas duas planilhas eletrônicas, a primeira voltada à estimação do custo incidente sobre a produção industrial em consequência da falta da qualidade da energia elétrica, e a segunda para comparação dos custos entre indústrias de um mesmo setor como também entre as indústrias de diferentes setores. Os dados obtidos através dos questionários são inseridos na planilha de cálculo de custo e para cada indústria tem-se um relatório com as parcelas de custo para o conjunto de distúrbios considerados e o custo total. Com base nas informações contidas nos relatórios de cada indústria calcula-se na segunda planilha a média normal e o desvio padrão para as várias parcelas de custo e o custo total de todas as indústrias consideradas. Enquanto a primeira planilha é voltada ao interesse da indústria em particular, a segunda é de interesse de sindicatos, federação das indústrias e concessionárias de energia elétrica.

#### **4.1 Construção das Planilhas Eletrônicas para a Estimação do Custo da Falta de Qualidade de Energia Elétrica**

De forma a obter uma interface de fácil utilização e com o menor custo possível de desenvolvimento e obtenção escolheu-se o *software Microsoft Excel*<sup>®</sup> utilizando-se a linguagem de programação do *Visual Basic*<sup>®</sup>, fazendo com que as planilhas de custos se tornem mais amigáveis. Para a construção das planilhas buscou-se na literatura um referencial que ajudasse no seu desenvolvimento, assim como, exemplos de aplicações do VBA (*Visual Basic for Applications*) em planilhas de custos de um modo geral [45-58].

As planilhas eletrônicas desenvolvidas para a avaliação do custo da falta de QEE são executadas a partir do *Excel*, versão *Office XP*<sup>®</sup> para *Windows XP*<sup>®</sup>. Como foram

desenvolvidas sob a linguagem VBA deve-se sempre que iniciar sua execução habilitar ou ativar as ‘macros’ que contêm o programa, as quais permitem executar as janelas construídas para o cálculo dos custos.

#### **4.1.1 Planilha do cálculo do custo da falta de qualidade de energia elétrica**

Com o emprego das fórmulas matemáticas para a estimação do impacto econômico dos distúrbios de energia elétrica no VBA pode-se construir o programa para a obtenção do custo total para a produção na indústria decorrente de distúrbios elétricos. A programação VBA foi realizada de acordo com os fluxogramas apresentado no Capítulo 3, o qual mostra as entradas, cálculos e saídas das principais janelas da planilha eletrônica construída, assim como o algoritmo seguido de acordo com a formulação descrita no capítulo anterior.

A partir da abertura do programa, com a habilitação das ‘macros’, pode-se observar por meio da Figura 4.1 o botão de execução do programa, assim como dados de identificação da indústria: nome, data, e responsável pela execução da estimação do custo, além de informações adicionais que podem ser acrescentadas. Os dados de identificação irão compor o relatório final do custo da falta de QEE, obtido ao final da execução do programa depois de estimado o custo para todos os distúrbios de energia elétrica a que a indústria foi submetida no período de um ano.

Pode-se, também, na Figura 4.1 observar que existem cinco janelas do *Excel*<sup>®</sup> que fazem parte do programa para a estimação do custo da falta de QEE, que são: Custo da Falta de QEE, Gráfico, Distúrbio, Indústria e Total. A planilha ‘Custo da Falta de QEE’ é a janela inicial para execução do programa, retratada na Figura 4.1.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with a form titled "Dados de Identificação:" (Identification Data). The form includes the following fields:

- Indústria:** A text input field.
- Responsável:** A text input field.
- Data da execução do programa:** A date input field.
- Informações adicionais:** A text input field.

Below the form is a button labeled "Executar o Programa" (Execute the Program). A legend box is also present, listing the following cost categories:

- CFQ - Custo da Falta de Qualidade da Energia Elétrica na Produção das Indústrias;
- CMP - Custo de Perda de Materiais e Produtos por Distúrbio;
- CCM - Custo de Capital e Mão-de-Obra Ociosos;
- CR - Custo de Recuperação da Produção;
- CHEX - Custo de Recuperação da Produção Durante Horas Extras;
- CS - Custo de Substituição de Materiais e Equipamentos;
- CE - Custo da Energia Não Consumida Durante a Interrupção do Processo;
- CD - Custos Diversos.

The spreadsheet interface shows columns A through K and rows 1 through 25. The active sheet is named "Custo da Falta de QEE".

Figura 4.1 - Janela inicial da planilha de estimação do impacto econômico dos distúrbios de energia elétrica.

Com a execução do programa a estimação dos custos, descritos sob a denominação de Legenda na Figura 4.1, irá se dá por meio de janelas do VBA as quais são abertas de acordo com a inserção das informações requeridas. Cada uma destas janelas representa a composição de dados a fim de se obter cada uma das variáveis que compõem o cálculo da falta de QEE.

Nas Figuras 4.2 e 4.3 observam-se as informações iniciais da indústria, como também, os custos operacionais que estão relacionados aos distúrbios de energia elétrica.

Na Figura 4.2 as informações gerais da indústria são obtidas por meio de três etapas: energia, trabalho e operação. Em energia devem ser conhecidos e inseridos os dados de consumo e valor anual da energia elétrica da indústria. A etapa do trabalho diz respeito a características de tempo de trabalho, assim como mão-de-obra a ser acrescentada anualmente e os salários pagos no regime normal e extra de trabalho. Caso a indústria não permita a recuperação da produção em regime extra de trabalho, não existindo, portanto, horas extras, pode-se anular esta informação. A terceira etapa diz respeito a informações relacionadas à operação da indústria como percentual de folga da capacidade de produção, caso os equipamentos não trabalhem a 100% de sua capacidade bem como o percentual de horas de capacidade de recuperação da produção por horas extra, caso exista.

**Informações Gerais da Indústria**

**Energia**

Estime o valor médio do consumo anual de energia elétrica [kWh]:

Estime o valor médio anual da energia elétrica consumida [R\$/ano]:

**Trabalho**

Regime Total de Trabalho [h/ano]:

Estime o valor dos salários pagos ao pessoal do setor de produção em regime normal de trabalho [R\$]:

Estime o valor dos salários pagos ao pessoal do setor de produção em regime extra de trabalho [R\$]:

Estime o número de empregados do setor de produção a serem acrescentados na indústria anualmente:

**Operação**

Percentual de folga da capacidade de produção [%]:

Percentual de recuperação da produção por regime de horas extra de trabalho [%]:

AVANÇAR

FECHAR

Figura 4.2 - Informações gerais da indústria.

A Figura 4.3 apresenta a janela para entrada de dados relativos aos custos operacionais da indústria devido aos distúrbios de energia elétrica. Inicialmente deve ser inserido o valor estimado da perda total de produção industrial durante um ano, o qual será empregado para o cálculo do custo anual de perda de materiais e produtos por distúrbio  $j$ ,  $C_{MP(j)}$ , e o cálculo do custo anual de capital e mão-de-obra ociosos devido à influência do distúrbio  $j$ ,  $C_{CM(j)}$ . Os demais dados permitem o cálculo dos custos anuais diversos associados à operação,  $C_{DAop}$ , definido na Equação 3.11, Capítulo 3. Estes custos operacionais não dizem respeito a um só tipo de distúrbio e sim com a operação geral da indústria.

**Custos Operacionais da Indústria**

Perda Total Anual de Produção [R\$/ano]:

Estime o custo anual com o reparo ou conserto de equipamentos [R\$/ano]:

Estime o custo anual com a operação e manutenção de equipamentos de controle ou de compensação de energia elétrica [R\$/ano]:

Estime o custo anual com a operação e manutenção de equipamentos de geração auxiliar [R\$/ano]:

Estime o custo anual de recuperação das perdas de informação digital (perdas de banco de dados ou planilhas, software corrompido, etc) [R\$/ano]:

Estime o custo anual gasto com a energia elétrica consumida durante as horas extras de trabalho [R\$/ano]:

VOLTAR

AVANÇAR

FECHAR

Figura 4.3 - Custos operacionais da indústria.

A partir da janela da Figura 4.3 o programa passa a obter informações de acordo com o tipo de distúrbio analisado. Quando pressionada a opção AVANÇAR aparece uma janela de aviso mostrada na Figura 4.4. A partir daí passa-se a simular a estimação do impacto econômico da falta de QEE por distúrbio.

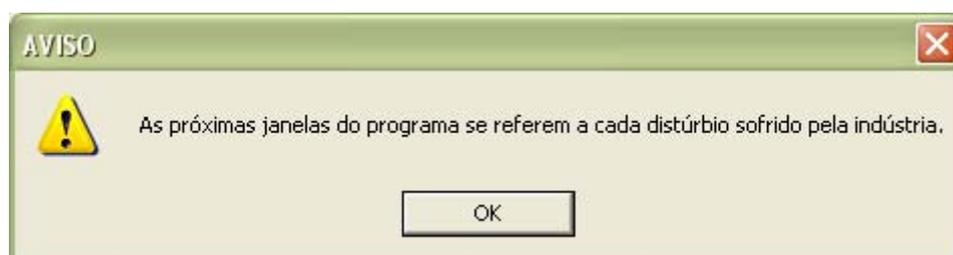


Figura 4.4 - Janela de aviso sobre o início da simulação por tipo de distúrbio.

A determinação do custo anual de perda de materiais e produtos por distúrbio  $j$  -  $C_{MP(j)}$ , apresentado na Equação 3.3, Capítulo 3, é realizada a partir dos dados contidos nas janelas mostradas nas Figuras 4.5 e 4.6 e do dado sobre perda total anual de produção inserido na janela Custos Operacionais da Indústria, Figura 4.3. Na janela da Figura 4.5 são inseridos dados que caracterizam o distúrbio a ser analisado como duração, frequência de ocorrência, e número de linhas sensíveis ao distúrbio. O número máximo de linhas de produção consideradas na programação é cinco. A janela da Figura 4.6 apresenta quatro entradas como ilustração do número de linhas de produção sensíveis ao distúrbio sob consideração. Quando o número de linhas de produção sensíveis for maior que cinco faz-se necessário contatar o pessoal de suporte do programa.

Figura 4.5 - Janela para obtenção das características do distúrbio elétrico a ser analisado.

A Figura 4.6 permite estimar o valor de  $C_{MP(j)}$  a partir de cada percentagem inserida como perda em cada linha de produção específica sensível ao distúrbio em consideração.

Os valores percentuais são dados em relação à perda total anual de produção inserida na janela da Figura 4.3.

Figura 4.6 - Janela para obtenção do custo anual de perda de materiais e produtos por distúrbio j.

A opção DADOS ANTERIORES vista nas janelas das Figuras 4.5 e 4.6 e nas janelas subsequentes pode ser ativada caso se queira alterar algum valor inserido anteriormente ou mesmo incluir a simulação de custo de mais um distúrbio.

O valor do custo anual de capital e mão-de-obra ociosos devido à influência do distúrbio j -  $C_{CM(j)}$ , Equação 3.4, Capítulo 3, é estimado a partir dos dados inseridos na janela apresentada na Figura 4.7. Nesta janela são inseridas as percentagens da produção normal que não foram produzidas devido à perturbação, assim como o tempo necessário para a retomada da produção após a ocorrência do distúrbio - situação em que o fornecimento é restabelecido, mas o processo não é reiniciado.

Figura 4.7 - Janela para a estimação do custo anual de capital e mão-de-obra ociosos devido à influência do distúrbio j.

A próxima janela, Figura 4.8, calcula o custo anual com a recuperação da produção devido à ocorrência do distúrbio  $j$  -  $C_{R(j)}$ , Equação 3.8, Capítulo 3. Os dados inseridos nesta janela referem-se ao valor do reembolso com os materiais re-aproveitáveis e com a matéria-prima não utilizada.

The dialog box titled "Custo de Recuperação da Produção" has a close button (X) in the top right corner. It contains two input fields: "Estime o valor do reembolso anual de materiais re-aproveitáveis [R\$/ano]:" and "Estime o valor anual de matéria-prima não utilizada [R\$/ano]:". Below the input fields is an "OK" button. At the bottom of the dialog are four buttons: "DADOS ANTERIORES", "VOLTAR", "AVANÇAR", and "FECHAR".

Figura 4.8 - Janela para a obtenção do custo anual com a recuperação da produção devido à ocorrência do distúrbio  $j$ .

Em relação ao custo anual com mão-de-obra associada à recuperação da produção durante horas extras de trabalho devido a ocorrência do distúrbio  $j$  -  $C_{HEx(j)}$ , Equação 3.6, Capítulo 3, todas as variáveis para seu cálculo já foram inseridas, desta forma a janela que representa este custo fornece somente o valor do mesmo, como pode ser observado na Figura 4.9. O custo apresentado na Figura 4.9 é nulo, visto que o valor conferido à percentagem da produção por regime de horas extras de trabalho inserido na janela da Figura 4.2 é nulo. De acordo com a Equação 3.5 se esta variável for nula, não existirá, portanto o  $C_{HEx(j)}$ .

The dialog box titled "Custo de Recuperação da Produção Durante Horas Extras" has a close button (X) in the top right corner. It contains a text message: "Como a percentagem de recuperação da produção por regime de horas extra de trabalho é nula, então: R\$ 0,00". Below the message are three buttons: "VOLTAR", "AVANÇAR", and "FECHAR".

Figura 4.9 - Janela para a obtenção do custo anual com mão-de-obra associado à recuperação da produção durante horas extras de trabalho devido à ocorrência do distúrbio  $j$ .

Para a estimação do custo anual de substituição de materiais e equipamentos por causa da ocorrência do distúrbio  $j$  -  $C_{S(j)}$ , Equação 3.7, Capítulo 3, é necessário à inclusão

dos custos de substituição de equipamentos danificados e matérias-primas estragadas. A Figura 4.10 mostra a janela que fornece este custo.

The screenshot shows a dialog box with the title "Custo de Substituição de Materiais e Equipamentos". It contains two text input fields. The first field is labeled "Estime o custo anual de substituição de matérias-primas estragadas ou danificadas [R\$/ano]:" and the second is labeled "Estime o custo anual de substituição de equipamentos danificados [R\$/ano]:". Below the first field is an "OK" button. At the bottom of the dialog are four buttons: "DADOS ANTERIORES", "VOLTAR", "AVANÇAR", and "FECHAR".

Figura 4.10 - Janela de obtenção do custo anual de substituição de materiais e equipamentos por causa da ocorrência do distúrbio  $j$ .

A Figura 4.11 mostra a janela para obtenção do custo anual da energia não consumida durante a interrupção do processo, devido à ocorrência do distúrbio  $j$  -  $C_{E(j)}$ , Equação 3.9, Capítulo 3. Para estimar  $C_{E(j)}$  há a necessidade de se estimar o quanto de energia elétrica deixou de ser consumida durante a parada do processo de produção.

The screenshot shows a dialog box with the title "Custo da Energia Não Consumida Durante a Interrupção do Processo". It contains one text input field labeled "Estime o quanto de energia elétrica deixou de ser consumida durante a parada de produção [kWh]:". Below the field is an "OK" button. At the bottom of the dialog are four buttons: "DADOS ANTERIORES", "VOLTAR", "AVANÇAR", and "FECHAR".

Figura 4.11 - Janela de obtenção do custo anual da energia não consumida durante a interrupção do processo, devido à ocorrência do distúrbio  $j$ .

Os dados necessários para estimar os custos anuais diversos associados à ocorrência do distúrbio  $j$  -  $C_{DA(j)}$ , Equação 3.12, Capítulo 3, estão representados na Figura 4.12, quais são, valor da mão-de-obra extra especializada, valor com a limpeza, se necessária, com o consumo de energia elétrica durante as horas extras de trabalho, com vendas e multas.

Figura 4.12 - Janela para a obtenção dos custos anuais diversos associados à ocorrência do distúrbio j.

A última janela do programa, mostrada na Figura 4.13, apresenta o resumo dos custos por distúrbio j, estimados a partir dos dados inseridos nas janelas vistas anteriormente. Esta janela, ainda, oferece quatro opções para o usuário do programa: Imprimir, Ajuda, Novo distúrbio, e Cálculo do custo total.

Figura 4.13 - Janela final do programa, resumo dos custos por distúrbio j.

A opção Imprimir imprime a janela da Figura 4.13, podendo, desta forma, ter o resumo dos custos associados ao distúrbio elétrico. A opção Ajuda presta informações sobre as demais opções contidas na janela como pode ser visto na Figura 4.14.

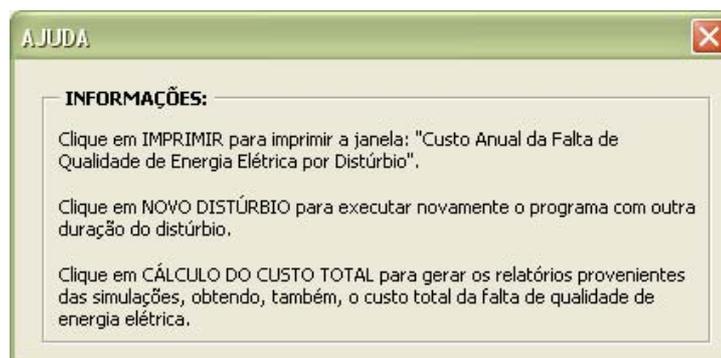


Figura 4.14 - Janela de ajuda.

Quando há ocorrência de mais de um distúrbio na indústria o usuário deve optar por Novo distúrbio. Quando se opta por realizar um novo caso há abertura novamente da janela representada na Figura 4.5, vista anteriormente, para a inclusão das características do novo distúrbio elétrico e daí por diante há abertura das janelas subseqüentes.

A quarta opção a do Cálculo do custo total deve ser selecionada quando todos os distúrbios elétricos já foram simulados. Esta opção fornece o valor total do custo da falta de QEE para os distúrbios que foram simulados e, também, abre novamente as janelas do *Excel*<sup>®</sup> mostrando desta forma, os resultados obtidos com a execução do programa.

O gráfico observado na Figura 4.15, mostra o gráfico de barras com o valor total da de cada variável de custo e o custo total  $C_{FQ\_Total}$  mostrado na Equação 3.1 no Capítulo 3.

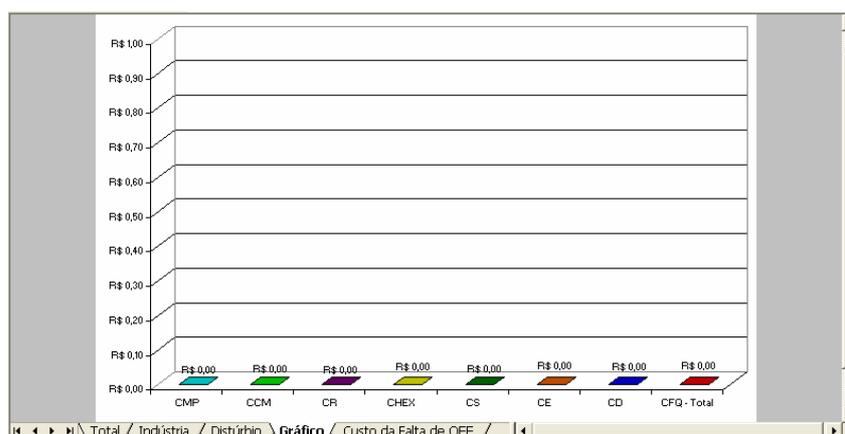


Figura 4.15 - Gráfico com os valores totais de cada variável de custo.

A Figura 4.16 mostra um relatório por distúrbio simulado. É deste relatório que são obtidos os valores já simulados mediante a seleção da opção DADOS ANTERIORES.

<b>Custos por Distúrbios</b>
<b>#Custo Anual de Perda de Materiais e Produtos por Distúrbio#</b>
Frequência de Ocorrências
Duração
Número de Linhas de Produção Sensíveis
Porcentagem do Custo Anual da Produção Perdida para as Linhas de Produção Sensíveis [%]
<b>CMP</b>
<b>#Custo Anual de Capital e Mão de Obra Ociosos#</b>
Tempo necessário para a retomada da produção, após a ocorrência do distúrbio [horas]
Fração da Produção Normal Não Produzida considerando que a energia foi restabelecida mas a produção não foi retomada [%]
Fração da Produção Normal Não Produzida Durante um Desligamento no Fornecimento de Energia Elétrica [%]
<b>CCM</b>
<b>#Custo Anual de Recuperação da Produção#</b>
Reembolso anual de materiais re-adequáveis
Valor anual da matéria-prima não utilizada
<b>CR</b>
<b>#Custo Anual de Recuperação da Produção Durante Horas Extras#</b>
Valor de Mão-de-Obra a ser acrescentada anualmente
<b>CHEX</b>
<b>#Custo Anual de Substituição de Materiais e Equipamentos#</b>
Custo anual de substituição de equipamentos danificados
Custo anual de substituição de matérias-primas estragadas ou danificadas
<b>CS</b>
<b>#Custo Anual da Energia Não Consumida Durante Durante a Interrupção do Processo#</b>
Quantidade de energia elétrica que deixou de ser consumida durante a parada de produção
<b>CE</b>
<b>#Custos Anuais Diversos#</b>
Valor anual das vendas não realizadas devido à queda de produção
Valor anual de multas ou penalidades devido ao não cumprimento de contratos
Valor anual da mão-de-obra extra especializada
Valor anual da limpeza para o reinício do processo de produção
<b>CD Associados aos Distúrbios de Energia Elétrica</b>
<b>CD Associados à Operação Industrial</b>
<b>CD</b>
<b>#TOTAL#</b>

Figura 4.16 - Relatório das variáveis de custo por distúrbio.

A janela observada na Figura 4.17 fornece as informações advindas das janelas Informações Gerais da Indústria (Figuras 4.2) e Custos Operacionais da Indústria (Figura 4.3), informações estas que não precisarão ser digitadas novamente caso se queira simular um novo caso.

<b>Dados de Identificação</b>	
	Indústria
	Responsável
	Data da Execução
	Informações Adicionais
<b>Informações Gerais</b>	
	<b>#Energia#</b>
	Valor médio do consumo anual de energia elétrica [kWh]
	Valor médio anual da energia elétrica consumida
	<b>#Trabalho#</b>
	Regime Total de Trabalho
	Salários pagos ao pessoal do setor de produção em regime normal de trabalho
	Salários pagos ao pessoal do setor de produção em regime extra de trabalho
	Número de empregados do setor de produção a serem acrescentados
	<b>#Operação#</b>
	Percentagem de Folga da Produção [%]
	Percentagem de recuperação da produção por regime de horas extra de trabalho [%]
<b>Custos Operacionais</b>	
	Perda Total Anual de Produção
	Valor anual do reparo ou conserto de equipamentos
	Valor anual da operação e manutenção de equipamentos de controle ou de compensação de energia elétrica
	Valor anual da operação e manutenção de equipamentos de geração auxiliar
	Valor anual de recuperação das perdas de informação digital
	Valor anual gasto com a energia elétrica consumida durante o regime extra de trabalho

Figura 4.17 - Relatório das informações gerais e de operação da indústria.

Por fim, na Figura 4.18, pode-se observar o resumo com todas as variáveis de custos por distúrbio e o custo total.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1					Custo Total Anual da Indústria - CFQ_TOTAL					
2										
3	Duração dos Distúrbios				Variáveis de Custos					
4			CMP	CCM	CR	CHEX	CS	CE	CD	CFQ
5										
6										
7		TOTAL								
8										

Figura 4.18 - Relatório com os custos totais.

#### 4.1.2 Planilha para estatística das indústrias

Com a elaboração da planilha para o cálculo do impacto econômico da falta de qualidade de energia elétrica nas indústrias, vislumbrou-se a criação de uma planilha que fosse capaz de comparar o impacto da falta da qualidade da energia elétrica entre as

indústrias. Desta forma, desenvolveu-se a planilha de comparação estatística com a finalidade de aferir um valor representativo por setor industrial do impacto dos distúrbios elétricos sobre o custo de produção.

A comparação estatística entre as indústrias pode ser realizada de duas formas:

- Indústrias de um mesmo setor - são aquelas que possuem a mesma categoria industrial, por exemplo: indústrias têxteis ou de veículos;
- Indústrias de setores diferentes - são todas as categorias industriais existentes, divididas somente pelo seu porte. Estas se subdividem em dois grupos de acordo com os seus níveis de tensão de fornecimento, em 13,8kV ou 69kV. A classificação por nível de tensão de fornecimento é necessária visto que a tarifa elétrica varia de acordo com a classe de tensão [59], [60]. Como a tarifa é uma variável considerada no cálculo do custo da falta de qualidade de energia elétrica, estas indústrias têm que ser comparadas separadamente.

Com o estudo destas características, pode-se elaborar a planilha de amplo interesse, inclusive para a Federação das Indústrias a fim de se enquadrar às indústrias que possuem custos em níveis normais ou não. Na utilização desta planilha, da mesma forma que a planilha para o cálculo do custo da falta de qualidade de energia elétrica, deve-se habilitar ou ativar as macros contidas na programação.

A Figura 4.19 mostra a janela inicial, no *Excel*<sup>®</sup>, da planilha de estatística das indústrias. A inserção das informações se dá por meio do botão Classificação das Indústrias, e obtenção da análise estatística por meio dos botões Comparação das indústrias de mesmo setor e Comparação das indústrias de diferentes setores.

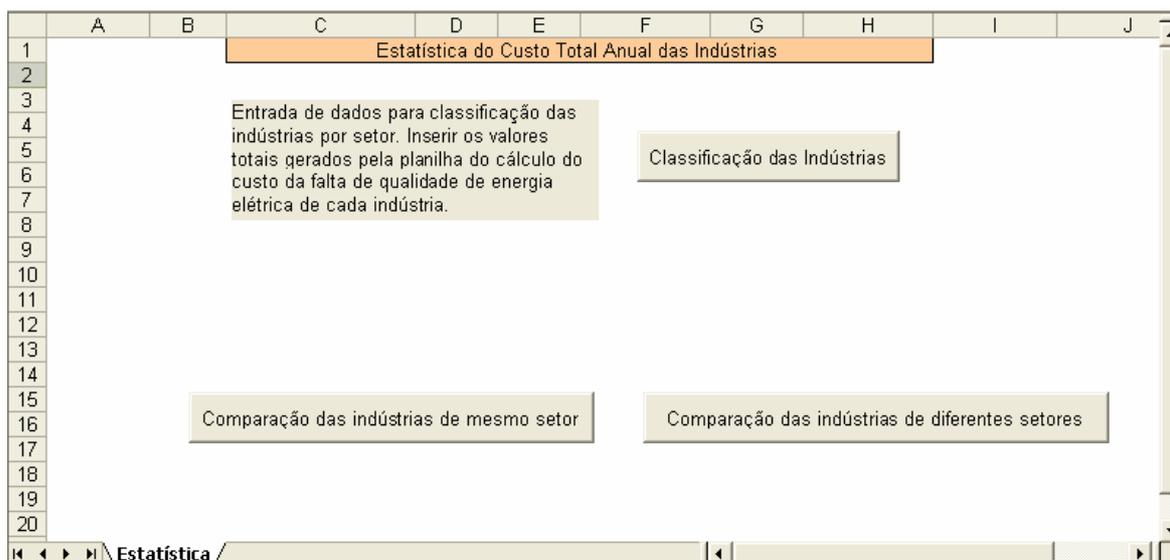


Figura 4.19 - Planilha de estatística da comparação das indústrias para o cálculo do custo total da falta de qualidade de energia elétrica.

Este programa será executado a partir dos dados de custos totais obtidos de cada indústria para o cálculo do impacto econômico da falta de QEE. Vale lembrar que os custos totais por indústria estão registrados no relatório final da planilha executada pela indústria, ver Figura 4.18.

Na figura 4.20 pode-se observar a janela obtida para a realização da classificação das indústrias, subdivididas de acordo com o setor e o nível de tensão (13,8kV ou 69kV) devido à diferenciação da tarifa.

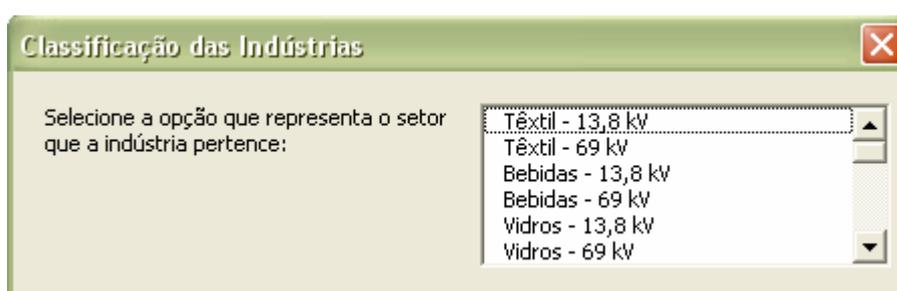


Figura 4.20 - Janela de classificação das indústrias.

Os diferentes setores de indústria foram obtidos por meio do banco de dados cedidos pela FIEC, além da própria classificação das indústrias que responderam o questionário. Foram considerados 46 setores industriais distintos, sendo metade deles com suprimento em 13,8kV e o restante em 69kV; desta forma os 23 tipos de categorias de indústrias são: têxtil, bebidas, vidros, metalúrgica, alimentos, embalagens, calçados,

confeções, gráfica, veículos, trigo, laticínios, minerais, móveis, óleo, química, rações, caju, couro, cerâmica, algodão, café, e granitos e mármore.

Caso haja a necessidade de inclusão de outras categorias industriais além das consideradas deve-se manter contato com o pessoal de suporte da planilha.

Quando do preenchimento da planilha de estatística das indústrias deve-se escolher qual categoria industrial que se deseja classificar; o usuário do programa receberá um aviso que o informará da necessidade de se começar a inserir as informações dos custos totais de cada indústria a partir da quinta linha do *Excel*<sup>®</sup>, visto que o código de programação executado a partir do VBA, somente identifica os dados inseridos a partir da quinta linha. O aviso pode ser observado na Figura 4.21.

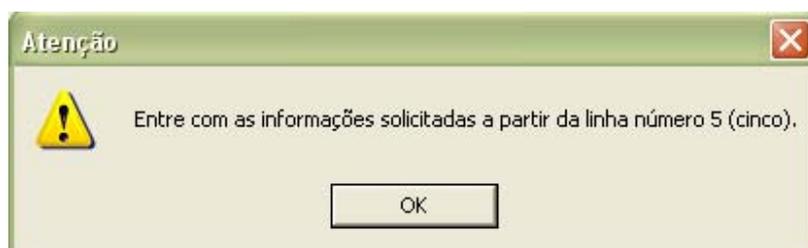


Figura 4.21 - Aviso de inserção dos dados dos custos totais a partir da quinta linha do *Excel*<sup>®</sup>.

Após a janela de aviso o usuário pode começar a preencher as informações requeridas pelo programa como: Indústria - Identificação da indústria, CMP - Custo total de materiais e produtos por distúrbio, CCM - Custo total de capital e mão-de-obra ociosos, CR - Custo total de recuperação a produção, CHEX - Custo total de recuperação a produção por meio de horas extras, CS - Custo total de substituição de materiais e equipamentos, CE - Custo total com a energia elétrica não consumida durante a interrupção do processo, CD - Custos totais diversos e, CFQ - Custo total da falta de qualidade da energia elétrica.

Na Figura 4.22 pode-se observar a janela de inserção de dados para o setor de Bebidas de 13,8kV.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Setor Bebidas - 13,8 kV									
2	Indústria	Variáveis do Custo Total								
3		CMP	CCM	CR	CHEX	CS	CE	CD	CFQ	
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										

Figura 4.22 - Planilha de obtenção de dados para a classificação das indústrias do setor de bebidas - 13,8kV.

Após a inclusão de dados de todas as indústrias existentes ou desejadas, pode-se trabalhar estatisticamente com os dados que foram inseridos. As Figuras 4.23 e 4.24 mostram as janelas para seleção do nível de tensão de suprimento e setor industrial de interesse.

Figura 4.23 - Janela de escolha do nível de tensão para as indústrias de mesmo setor.

Figura 4.24 - Janela para a escolha do setor industrial no nível de tensão de 69kV.

Com a escolha do ramo industrial a ser comparado são apresentados oito gráficos representativos dos oito custos totais de cada indústria deste setor. A Figura 4.25

representa, para dados e indústrias hipotéticos do setor de laticínios em 69kV, a comparação de cada custo referente à falta de qualidade de energia elétrica.

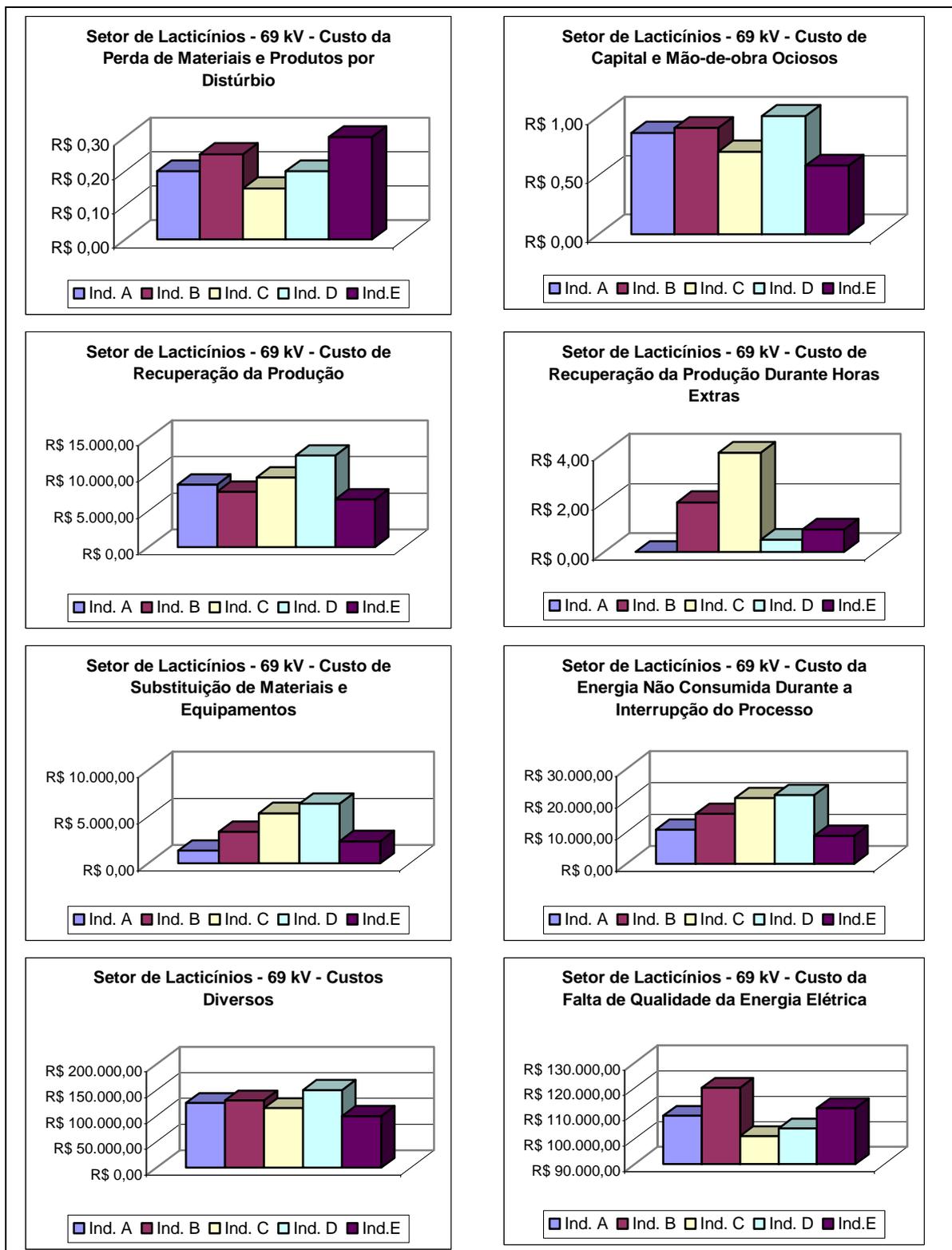


Figura 4.25 - Figura com os gráficos representativos de cada custo industrial referentes à falta de QEE, para indústrias e valores hipotéticos.

Se a análise estatística desejada for em relação a todas as indústrias classificadas, então a comparação das indústrias deve ser feita utilizando-se o botão de comparação das indústrias de diferentes setores, os quais serão os próprios níveis de tensão das indústrias. Na Figura 4.26 observa-se a janela que é executada a partir da escolha desta análise estatística.



Figura 4.26 - Janela de escolha entre os níveis de tensão para a comparação entre as indústrias de diferentes setores.

A análise estatística realizada para fazer a comparação entre todas as indústrias de 13,8kV ou de 69kV é baseada na distribuição normal [61], aplicando-se aos valores de custos de cada categoria industrial a média normal e o desvio padrão. O desvio padrão é uma medida do grau de dispersão dos valores em relação ao valor médio (a média), calculado por meio da Equação 4.1.

$$\sigma = \sqrt{\frac{N \cdot \sum_{i=1}^N X_i^2 - N \cdot \mu_p^2}{N}} \quad (4.1)$$

Em que:

- $\sigma$  Desvio padrão populacional.
- $N$  Quantidade total da população.
- $X$  Valores dos argumentos populacionais.
- $\mu_p$  Média aritmética populacional.

Desta forma com a escolha do nível de tensão para as indústrias que se deseja realizar a comparação de diferentes setores, obtém-se 16 gráficos com resultados a serem analisados; oito deles representa a média para cada custo industrial referente à falta de QEE, e os oito restantes o desvio padrão entre os setores industriais.

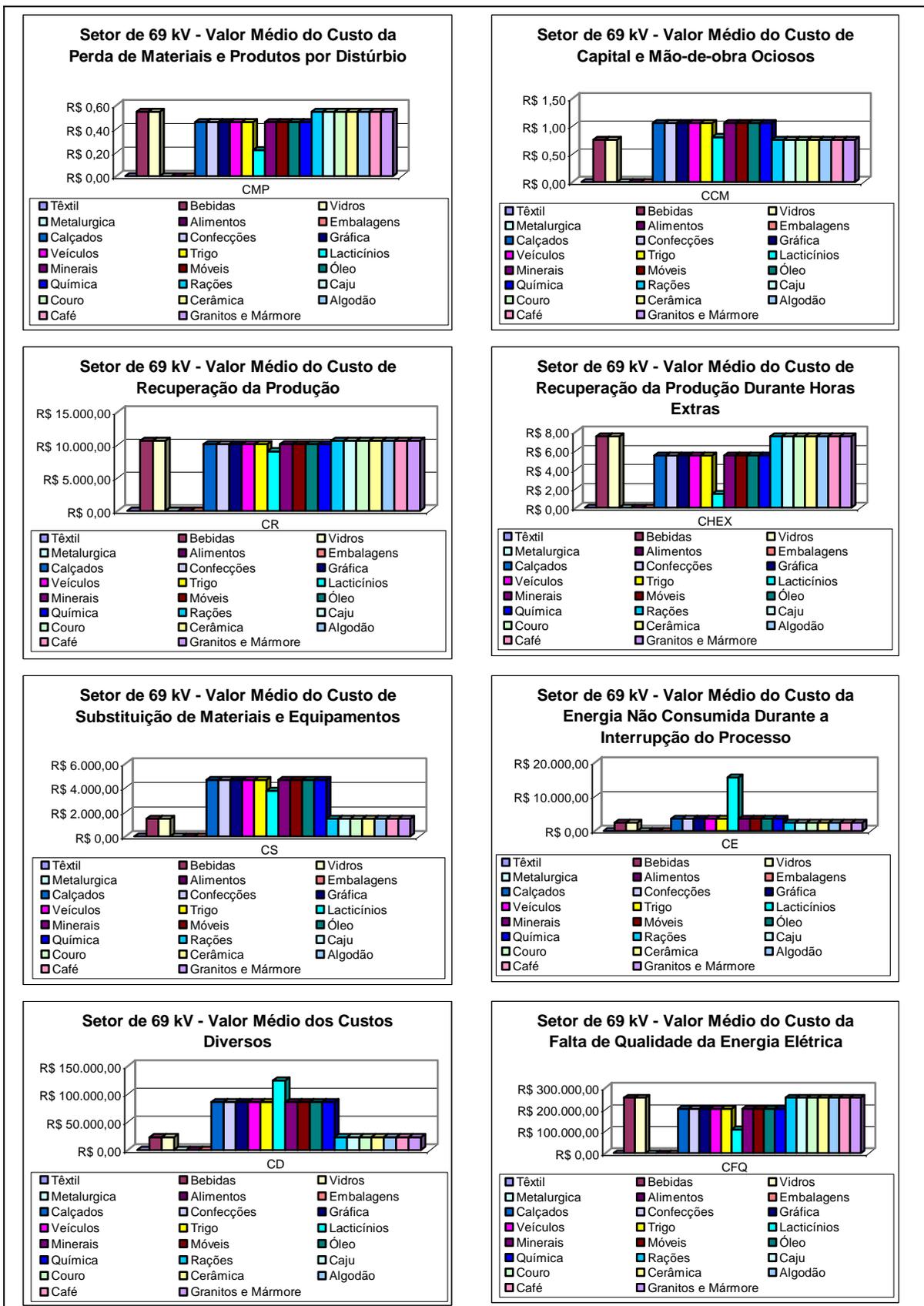


Figura 4.27 - Figura com os gráficos representativos de cada média do custo industrial referente à falta de QEE, para indústrias e valores hipotéticos, de diferentes setores.

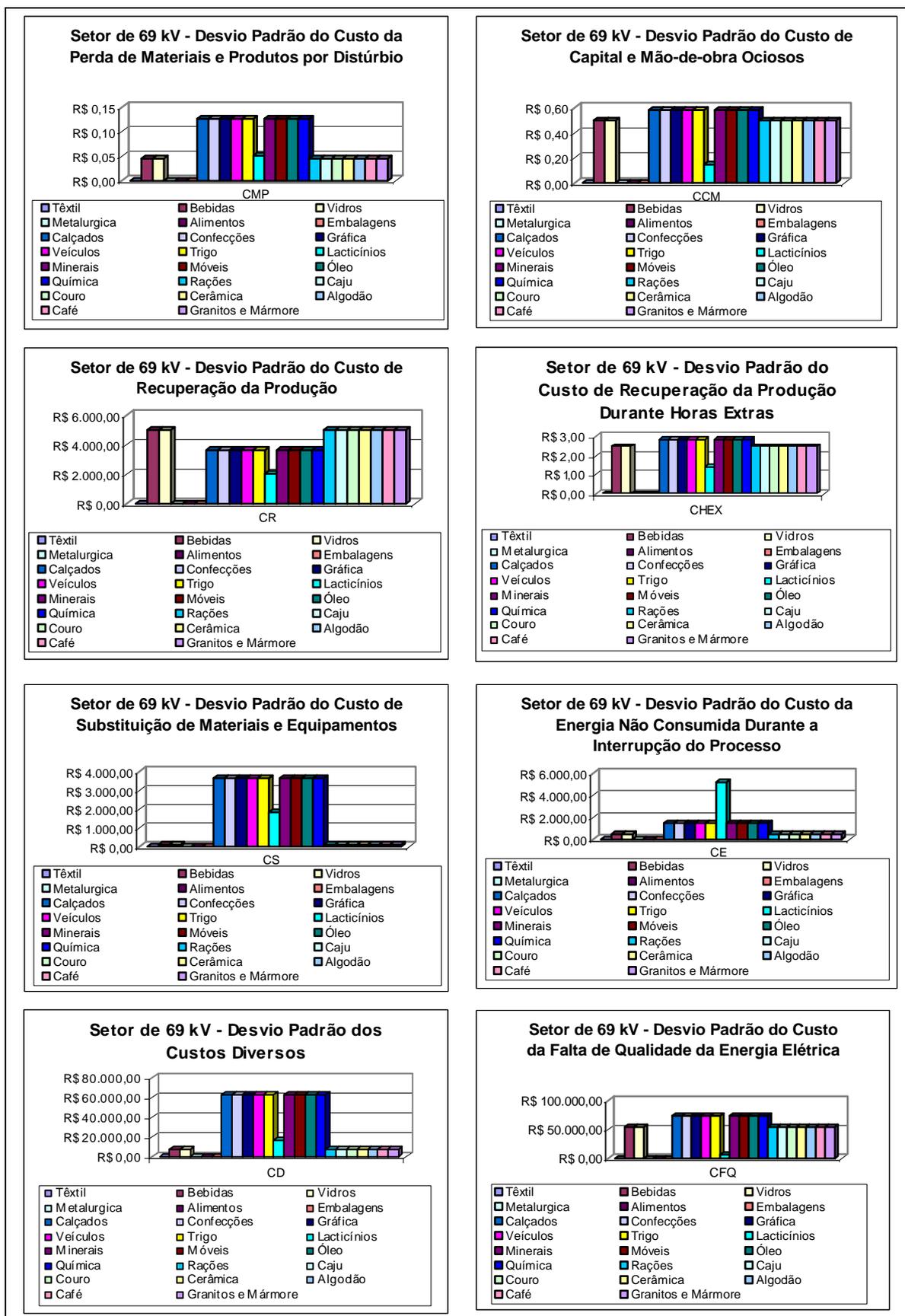


Figura 4.28 - Figura com os gráficos de barra de cada desvio padrão do custo médio industrial referente à falta de QEE, para indústrias e valores hipotéticos, de diferentes setores.

A Figura 4.27 mostra os 8 gráficos com a média de todas as indústrias classificadas. Estes valores são hipotéticos para fins de visualização dos resultados desta planilha estatística.

Na Figura 4.28, se pode observar os 8 gráficos com o desvio padrão de todas as indústrias classificadas. Os valores são hipotéticos para fins de visualização dos resultados da planilha estatística. É importante a visualização do desvio padrão a fim de se verificar a uniformidade entre as indústrias de diferentes setores.

#### 4.2 Análise das Informações Obtidas dos Questionários Aplicados

A partir do banco de dados cedido pela FIEC selecionou-se 111 indústrias do Estado do Ceará. Como mostra a Figura 4.29, 49,55% das indústrias entenderam a importância de participar da pesquisa, prontificando-se a responder questionário enviado via endereço eletrônico; 24,32% não quiseram participar, alegando falta de tempo para responder o questionário, ou que achavam que pertenciam a setores de indústrias pequenas, embora tenham reconhecido a importância da pesquisa; os 26,13% restantes, não foi possível o contato, via telefone, ou negando de imediato o interesse de conhecer o teor da pesquisa.

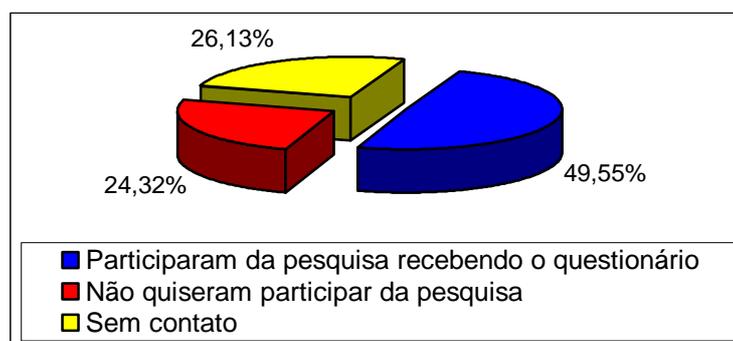


Figura 4.29 - Participação das indústrias selecionadas no Estado do Ceará.

Dos 49,55% das indústrias que receberam o questionário somente 7,21% deram retorno com o questionário respondido, o que corresponde a 14,55% dos questionários enviados, como pode ser observado na Figura 4.30. Nota-se, com isto, o desinteresse para cooperação e a contribuição das indústrias para o processo de pesquisa.

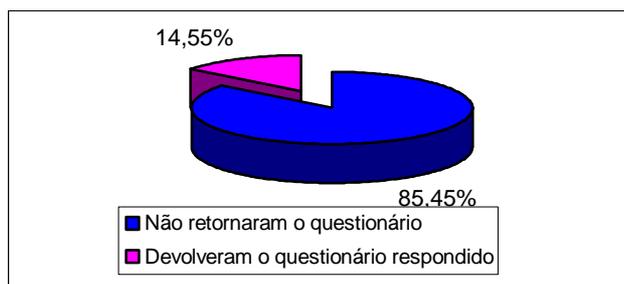


Figura 4.30 - Percentagem de devolução do questionário respondido.

O questionário, composto de perguntas, usado para a coleta de dados é apresentado no Apêndice B. Para os questionários respondidos constatou-se que 37,50% dos respondentes utilizam a tarifa contratada horo-sazonal azul, a qual possui a característica de se ter uma tensão de fornecimento  $\geq 69\text{kV}$  sendo qualquer o valor da demanda, e 62,50% horo-sazonal verde, a qual possui a característica de se ter uma tensão de fornecimento  $< 69\text{ kV}$  com valor de demanda  $\geq 500\text{kW}$ . Os 62,50% respondentes apontaram serem supridos com tensão igual a 13,8kV, por isso houve a subdivisão, por meio da tarifação, entre os setores industriais de 13,9kV e 69kV.

Ao avaliar-se o fornecimento de energia elétrica por parte da concessionária, observa-se na Figura 4.31 que 62,50% das indústrias entendem como bom o fornecimento de energia e que 25,00% das indústrias entendem como deficitário o fornecimento considerando o mesmo como regular ou ruim.

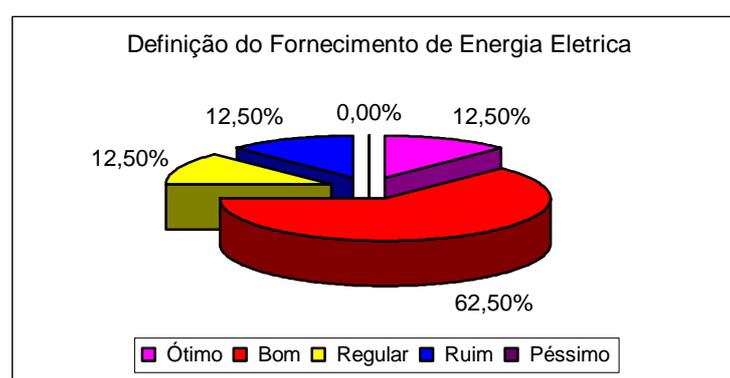


Figura 4.31 - Definição do fornecimento de energia elétrica por parte das indústrias pesquisadas.

Ao se avaliar a percepção do consumidor quanto à qualidade do fornecimento de energia pela concessionária pode-se constatar que sendo o ótimo o grau de satisfação máxima igual a 5 e o péssimo o grau de satisfação mínima igual a 1, tem-se uma média

ponderada de satisfação igual a 3,75 que está representado entre o regular e bom tendendo para bom, contudo apresenta um grau médio de satisfação.

Conhecendo-se o grau de satisfação das indústrias com a qualidade da energia elétrica fornecida pela concessionária, buscou-se, ainda, avaliar o grau de importância conferido pelo consumidor a confiabilidade, a qualidade de energia, a rapidez da restauração dos serviços e a tarifa para a operação industrial. Assim, obteve-se que a confiabilidade é o item de maior relevância para o processo industrial atingindo um grau de relevância de 3,75 em uma escala de valor máximo igual a 4, seguido da qualidade de energia e da restauração rápida dos serviços, ambos com grau 3, sendo a tarifa o item de menor importância com grau 2,25 dentro da mesma escala.

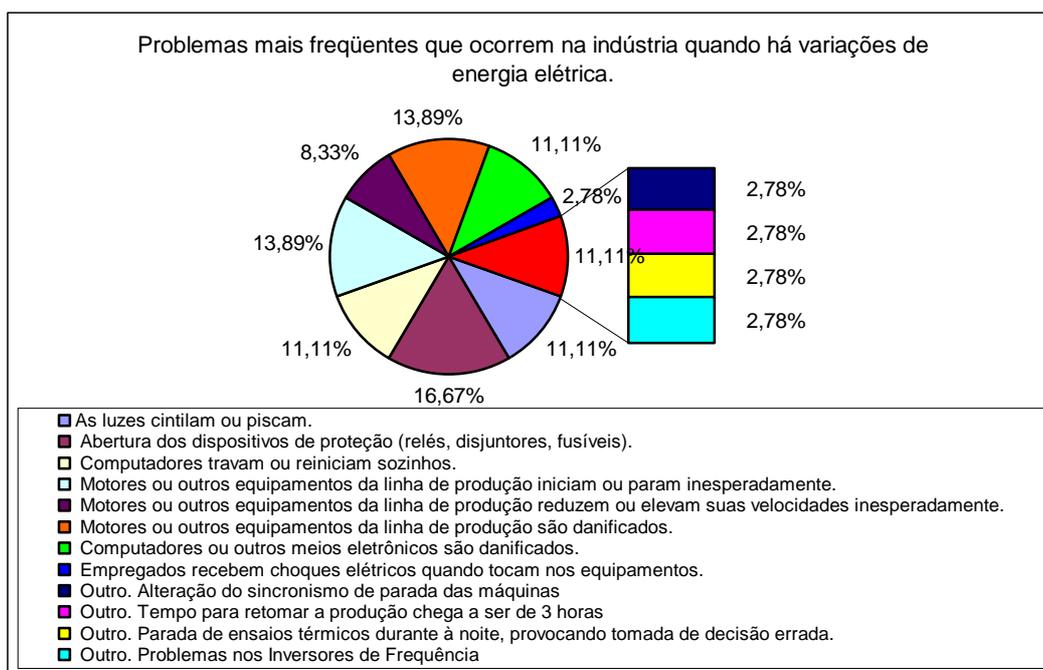


Figura 4.32 - Percentual de freqüência dos problemas industriais ocasionados pelos distúrbios de energia elétrica.

Ao se avaliar os problemas mais freqüentes que ocorrem na indústria quando há variações de energia elétrica pode se constatar que de acordo com a Figura 4.32 tem-se que os problemas que mais ocorrem nas indústrias pesquisadas são: abertura de dispositivos de proteção e relés com 16,67%, seguido de motores ou outros equipamentos da linha de produção danificados e motores ou outros equipamentos da linha de produção que param inesperadamente com 13,89% cada. Uma parcela de 11,11% é atribuída a outros problemas que se referem à alteração do sincronismo de parada das máquinas, tempo de até 3h para

retomar a produção, parada de ensaios térmicos durante a noite provocando tomada de decisão errada; e problemas nos inversores de frequência. Vale ressaltar, ainda, que 2,78% das indústrias identificam o fato de choques elétricos em seus empregados, o que revela a questão de segurança e redireciona a possíveis problemas de aterramento.

A fim de constatar como os distúrbios de energia elétrica ocorrem nas indústrias avaliaram-se sete circunstâncias como demonstrado na Figura 4.33, identificando-se que 83,14% das variações são de curta duração e as perturbações com um tempo maior que 3 minutos representam 16,86% sendo estas consideradas de longa duração. Desta forma as perturbações que mais incidem nas indústrias pesquisadas são as de curta duração, ocorrendo 52,43% com menos de 1 segundo, 17,60% de 1 segundo a menos de 60 segundos e 13,11% de 1 minuto a menos de 3 minutos.

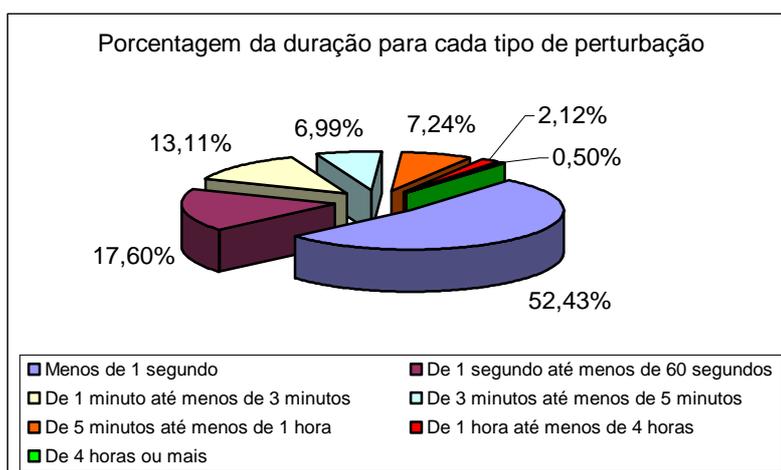


Figura 4.33 - Percentual de duração dos distúrbios elétricos considerados no questionário.

Após se avaliar as percentagens das perturbações ocorridas nas indústrias buscou-se identificar o grau de impacto dessas perturbações para tempos de duração de 4 horas, 1 hora, 3 minutos e 1 segundo. Constatando-se que em uma escala de 1 até 5, a gravidade da perturbação de 4 horas é máxima, atingindo grau 5; o de 1 hora apresenta grau 4,25; o de 3 minutos grau 3,125; e o de 1 segundo grau 2. Assim, denota-se que todos os distúrbios são relevantes, pois até mesmo o de 1 segundo, que é o impacto de menor duração, está próximo ao ponto médio da escala (3,0).

Ao se trabalhar a influência da estação climática, período seco e chuvoso, na ocorrência dos distúrbios elétricos, constata-se que em uma escala de influência que tem

grau mínimo igual a 1 e máximo de 5, o período seco tem grau 2,265 e o período chuvoso tem grau 4,25, assim sendo o grau de influência do período chuvoso é muito próximo ao grau máximo da escala e duas vezes maior que o do período seco, concluindo-se que o período chuvoso apresenta grande relevância na ocorrência de distúrbios elétricos de acordo com as indústrias respondentes.

A fim de se identificar a severidade da variação de energia de acordo com a duração, obteve-se uma escala de 1 a 5 que foi desenvolvida a partir da média das severidades das indústrias pesquisadas. Observa-se na Figura 4.34 que a maior severidade está relacionada com os distúrbios de 1 hora sem advertência tendo um grau de importância de 4,5, seguido pelos distúrbios de 1 hora com advertência de 1 hora com grau de importância igual a 4,0; tem-se ainda com o menor grau de importância, os distúrbios de 1 segundo, mostraram-se com grau de importância igual a 2,25. O que implica que as variações de longa duração são mais severas para o processo econômico das indústrias pesquisadas.

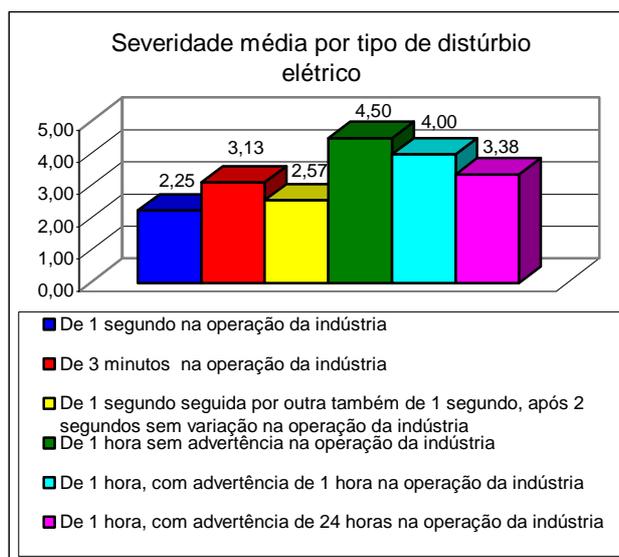


Figura 4.34 - Grau da severidade média dos distúrbios elétricos considerados no questionário.

A partir da Figura 4.35 pode-se identificar a redução da produção industrial a partir dos limites estabelecidos no questionário, constatando-se que à variação de 1 segundo, na maior parte das vezes, não ocasiona redução de produção superior a 9,99%.

A variação de 3 minutos, como mostra a Figura 4.35, tem seu maior grau de redução da produção entre 0,01 e 9,99% podendo ocasionar reduções na produção de até 25,00%.

As interrupções com tentativas de religamento com duração de 1 segundo seguida por outra também de 1 segundo, com intervalo de religamento de 2 segundos na maior parte das vezes não ocasionam redução da produção, porém em sistemas mais sensíveis a redução pode chegar a 25,00% da produção, como mostra a Figura 4.35.

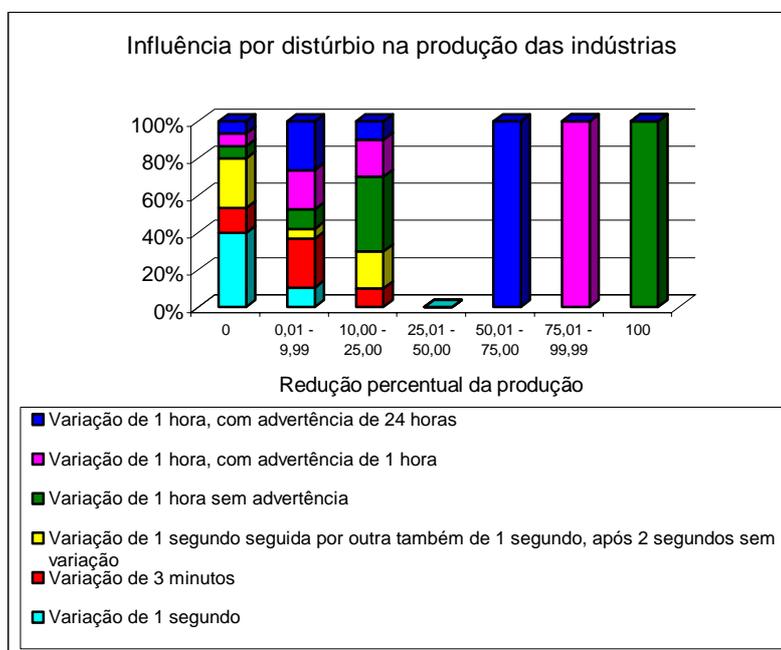


Figura 4.35 - Percentual de redução da produção industrial, de acordo com a duração dos distúrbios elétricos considerados no questionário.

Ainda se pode avaliar que os distúrbios de longa duração que são aqueles que têm duração maior que 3 minutos apresentam maior incidência nas reduções acima de 50,00%, tendo o distúrbio de 1 hora sem advertência maior impacto na redução da produção das indústrias pesquisadas, uma vez que apenas ele ocasiona a redução em 100,00% da produção. A interrupção de 1 hora com advertência de 1 hora é o segundo mais impactante distúrbio elétrico na redução da produção, ocasionando reduções de 75,01 a 99,99% da produção, e as variações de 1 hora com advertência de 24 horas impacta a produção com redução em valores de 50,01 a 75,00% das indústrias pesquisadas. Assim pode-se constatar, ainda, que nas reduções menores, os mesmos distúrbios anteriores têm proporções semelhantes no grau de impacto em cada faixa percentual de redução da produção das indústrias pesquisadas.

Levando-se em consideração que os 14,55% das indústrias que devolveram o questionário respondido representam o total de 8 indústrias, sendo: 2 têxteis de 69kV, 2 metalúrgicas de 13,8kV, 1 de mármore de 13,8kV, 1 de vidros de 13,8kV, 1 de calçados de

69kV e 1 de alimentos de 13,8kV, somente 4 destas indústrias responderam de forma coerente as questões dos estudos de casos dos tipos de distúrbios elétricos mencionados nos cenários. As 4 indústrias com respostas coerentes são: têxtil, respondeu os casos 2, 4, 5 e 6; de mármore, respondeu todos os casos; de vidros, respondeu os casos: 2, 3, 4, 5 e 6 e metalúrgica, respondeu os casos: 1 e 4. Lembrando, resumidamente, a definição dos cenários que são: 1- variação de energia elétrica com a duração de 1 segundo; 2- variação de energia elétrica com a duração de 3 minutos; 3- variação de energia elétrica com duração de 1 segundo seguida por 2 segundos sem variação e com a ocorrência de outra variação também de 1 segundo; 4- interrupção de energia elétrica com a duração de 1 hora, sem advertência; 5- interrupção de energia elétrica com a duração de 1 hora, com advertência de 1 hora antes da ocorrência da interrupção prevista; 6- interrupção de energia elétrica com a duração de 1 hora, com advertência de 24 hora antes da ocorrência da interrupção prevista.

A Tabela 4.1 apresenta as principais características obtidas via questionário da indústria têxtil e as parcelas de cada custo observado. Estas características são as principais informações encontradas para a obtenção do seu custo total anual devido à ocorrência dos distúrbios elétricos pesquisados.

Tabela 4.1 - Características obtidas via questionário da indústria têxtil pesquisada e parcelas dos custos para cada cenário ocorrido.

Nível de Tensão		69kV		
Regime de Trabalho		24 horas por dia e 7 dias por semana		
Possibilidade de recuperação da produção perdida por regime de horas extras de trabalho		0%		
Folga na capacidade de produção		0%		
Cenários ocorridos na indústria têxtil				
3 minutos	1 hora sem advertência	1 hora com advertência de 1 hora	1 hora com advertência de 24 horas	Custos
R\$ 0,79	R\$ 1,74	R\$ 0,64	R\$ 0,64	$C_{MP}$
R\$ 6,85	R\$ 2,83	R\$ 0,91	R\$ 0,91	$C_{CM}$
R\$ 8.620,00	R\$ 7.250,00	R\$ 6.000,00	R\$ 6.000,00	$C_R$
R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	$C_{HEX}$
R\$ 3.360,00	R\$ 5.000,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	$C_S$
R\$ 10.851,34	R\$ 21.702,68	R\$ 21.702,68	R\$ 21.702,68	$C_E$
R\$ 38.800,00	R\$ 52.550,00	R\$ 52.550,00	R\$ 52.550,00	$C_D$
R\$ 22.696,30	R\$ 28.601,89	R\$ 24.848,87	R\$ 24.848,87	$C_{FQ}$
15	2	1	1	Frequência de ocorrência

Observa-se, a partir da Figura 4.36, que a indústria têxtil tem custos mais expressivos referentes ao custo anual da energia não consumida durante a interrupção do processo ( $C_E$ ) e ao custo anual com a recuperação da produção ( $C_R$ ) que são os custos de retorno para a indústria mesmo com a ocorrência dos distúrbios por ela sofridos. Sendo identificado, ainda, que existe grande relevância os custos anuais diversos ( $C_D$ ), gerando ao final um custo anual da falta de qualidade de energia elétrica ( $C_{FQ}$ ) de R\$100.995,93, para os cenários ocorridos.

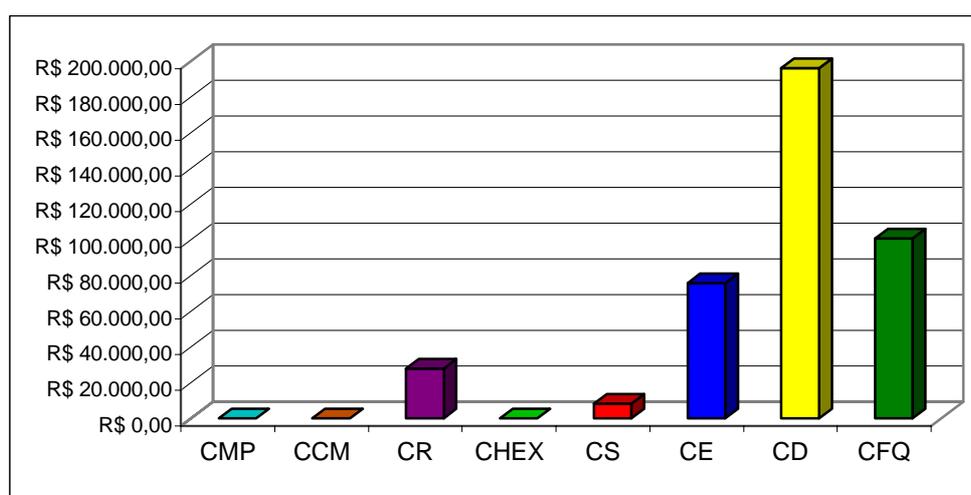


Figura 4.36 - Custos totais para os cenários ocorridos na indústria têxtil.

Tabela 4.2 - Características obtidas via questionário da indústria de vidros pesquisada e parcelas dos custos para cada cenário ocorrido.

Nível de Tensão		13,8kV			
Regime de Trabalho		24 horas por dia e 7 dias por semana			
Possibilidade de recuperação da produção perdida por regime de horas extras de trabalho		0%			
Folga na capacidade de produção		5%			
Cenários ocorridos na indústria de vidros					
3 minutos	1 segundo seguida por outra também de 1 segundo com tempo morto de 2 segundos	1 hora sem advertência	1 hora com advertência de 1 hora	1 hora com advertência de 24 horas	Custos
R\$ 0,46	R\$ 0,00	R\$ 2,74	R\$ 1,83	R\$ 1,83	$C_{MP}$
R\$ 20,55	R\$ 4,11	R\$ 7,31	R\$ 3,65	R\$ 2,74	$C_{CM}$
R\$ 1.826,18	R\$ 1.825,36	R\$ 2.433,52	R\$ 2.433,33	R\$ 2.433,29	$C_R$
R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	$C_{HEX}$
R\$ 650,00	R\$ 650,00	R\$ 650,00	R\$ 200,00	R\$ 200,00	$C_S$
R\$ 243,18	R\$ 243,18	R\$ 324,24	R\$ 324,24	R\$ 324,24	$C_E$
R\$ 3.018,15	R\$ 4.800,00	R\$ 4.800,00	R\$ 4.800,00	R\$ 4.800,00	$C_D$
R\$ 1.619,80	R\$ 3.385,57	R\$ 2.702,29	R\$ 2.247,91	R\$ 2.247,04	$C_{FQ}$
10	2	2	1	1	Frequência de ocorrência

As principais características obtidas via questionário da indústria de vidros e as parcelas de cada custo podem ser observados na Tabela 4.2.

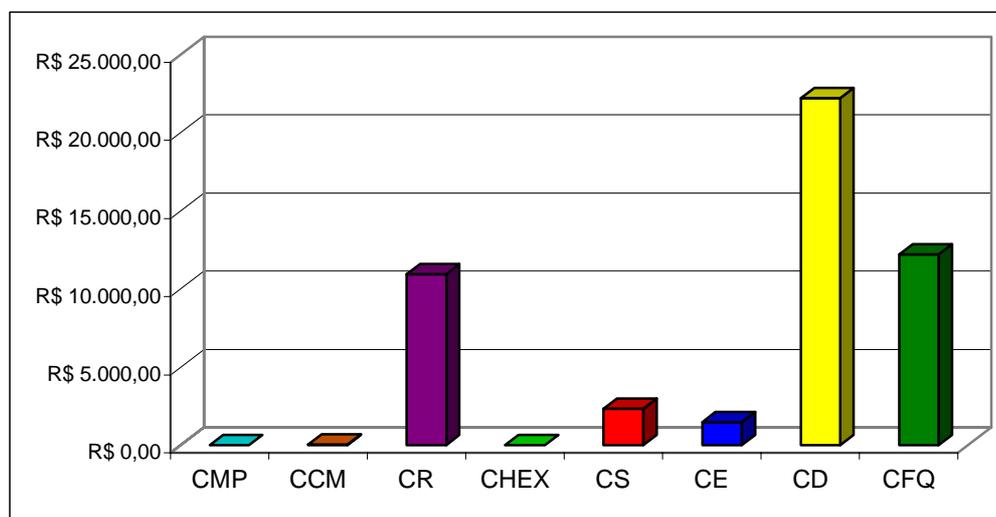


Figura 4.37 - Custos totais para os cenários ocorridos na indústria de vidros.

Tabela 4.3 - Características obtidas via questionário da indústria de mármore pesquisada e parcelas dos custos para cada cenário ocorrido.

Nível de Tensão		13,8kV				
Regime de Trabalho		8 horas por dia e 5 dias por semana				
Possibilidade de recuperação da produção perdida por regime de horas extras de trabalho		20%				
Folga na capacidade de produção		20%				
Cenários ocorridos na indústria de mármore						
1 segundo	3 minutos	1 segundo seguida por outra também de 1 segundo após 2 segundos sem variação	1 hora sem advertência	1 hora com advertência de 1 hora	1 hora com advertência de 24 horas	Custos
R\$ 0,05	R\$ 4,79	R\$ 0,06	R\$ 19,18	R\$ 19,18	R\$ 19,18	$C_{MP}$
R\$ 0,00	R\$ 0,48	R\$ 0,19	R\$ 7,67	R\$ 7,67	R\$ 3,22	$C_{CM}$
R\$ 0,00	R\$ 262,10	R\$ 262,04	R\$ 2.641,53	R\$ 2.641,53	R\$ 1.220,64	$C_R$
R\$ 0,00	R\$ 0,06	R\$ 0,00	R\$ 0,30	R\$ 0,30	R\$ 0,26	$C_{HEX}$
R\$ 0,00	R\$ 90,00	R\$ 410,00	R\$ 150,00	R\$ 150,00	R\$ 50,00	$C_S$
R\$ 0,00	R\$ 2,51	R\$ 2,27	R\$ 17,27	R\$ 17,27	R\$ 17,27	$C_E$
R\$ 500,00	R\$ 650,00	R\$ 750,00	R\$ 3.440,00	R\$ 3.440,00	R\$ 3.440,00	$C_D$
R\$ 500,05	R\$ 480,72	R\$ 895,94	R\$ 958,35	R\$ 958,35	R\$ 2.274,75	$C_{FO}$
10	5	3	1	1	1	Frequência de ocorrência

A partir da Figura 4.37, que representa a indústria de vidros, observam-se custos expressivos em  $C_R$ ,  $C_D$ , sendo que o primeiro deles é um dos retornos para a indústria com

a ocorrência dos distúrbios elétricos, porém o segundo é um fator somador no montante total do  $C_{FQ}$  que foi de R\$12.202,61, para os cenários considerados pela indústria de vidros. A Tabela 4.3 expõe as principais características da indústria de mármore e as parcelas de cada custos para os cenários avaliados pela indústria.

Observa-se na Figura 4.38 que a indústria de mármore tem comportamento similar ao da indústria de vidros sendo os custos mais expressivos  $C_R$  e  $C_D$ , com valor de R\$6.068,16 no custo total da falta de qualidade de energia elétrica.

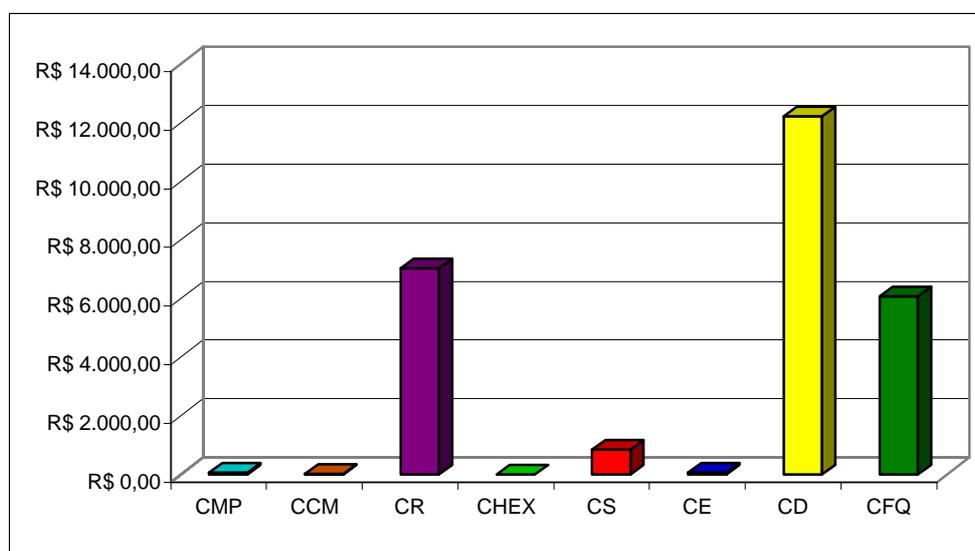


Figura 4.38 - Custos totais para os cenários ocorridos na indústria de mármore.

Tabela 4.4 - Características obtidas via questionário da indústria metalúrgica pesquisada e parcelas dos custos para cada cenário ocorrido.

Nível de Tensão		13,8kV
Regime de Trabalho		8 horas por dia e 5 dias por semana
Possibilidade de recuperação da produção perdida por regime de horas extras de trabalho		6%
Folga na capacidade de produção		0%
Cenários ocorridos na indústria metalúrgica		
1 segundo	1 hora sem advertência	Custos
R\$ 1,20	R\$ 19,18	$C_{MP}$
R\$ 0,01	R\$ 18,22	$C_{CM}$
R\$ 250,00	R\$ 550,00	$C_R$
R\$ 0,09	R\$ 2,69	$C_{HEX}$
R\$ 5.100,00	R\$ 5.100,00	$C_S$
R\$ 1,18	R\$ 176,25	$C_E$
R\$ 8.500,00	R\$ 40.500,00	$C_D$
R\$ 13.350,12	R\$ 44.913,84	$C_{FQ}$
1000	4	Frequência de ocorrência

As principais características obtidas para a indústria metalúrgica e as parcelas de cada custos para os cenários sofridos nesta indústria podem ser observadas na Tabela 4.4.

Na Figura 4.39 podem-se observar os custos totais da indústria metalúrgica. Têm-se como expressivos, o custo anual de substituição de materiais e equipamentos ( $C_S$ ) e os custos anuais diversos ( $C_D$ ), tendo os demais custos pouca relevância. O valor total de  $C_{FQ}$  é de R\$58.263,96 para os cenários considerados nesta indústria.

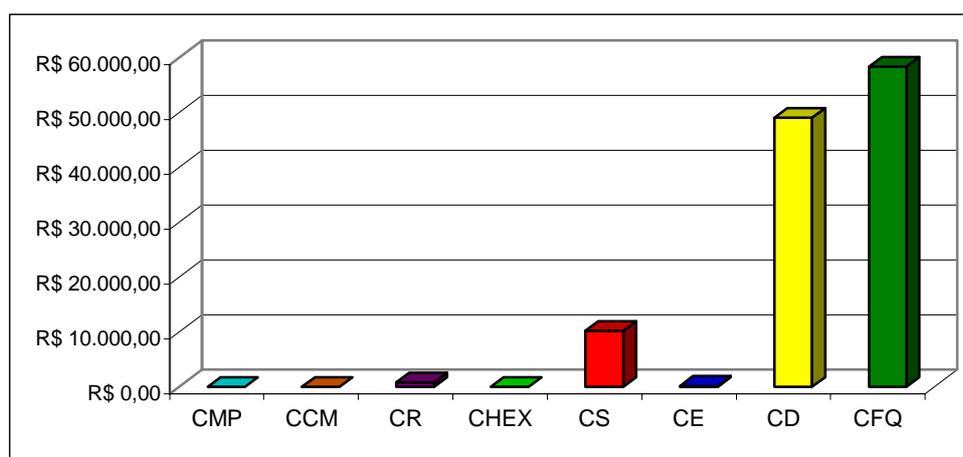


Figura 4.39 - Custos totais para os cenários ocorridos na indústria metalúrgica.

Para a conclusão da análise utilizou-se a planilha desenvolvida para a comparação entre as indústrias fornecidas por 13,8 kV dos setores de vidros, de mármore e metalúrgica.

Pode-se observar na Figura 4.40, que o valor médio do custo anual de perda de materiais e produtos ( $C_{MP}$ ) é mais relevante para a indústria de mármore, tendo pouca influência para a indústria de vidros e estando a indústria metalúrgica próxima ao custo médio; a média do custo anual de capital e mão-de-obra ociosos ( $C_{CM}$ ) já tem impacto maior para a indústria de vidros estando às indústrias metalúrgicas e de mármore abaixo do custo médio; o valor médio do custo anual com a recuperação da produção ( $C_R$ ) assemelha-se ao  $C_{CM}$  com a diferença que a indústria metalúrgica sofre menos impacto que a indústria de mármore; a média do custo anual com mão-de-obra associado à recuperação da produção durante horas extras de trabalho ( $C_{HEX}$ ) já apresenta características bem distintas uma vez que a indústria metalúrgica é a que sofre um impacto maior neste tipo de custo e para a indústria de vidros é praticamente inexistente; o valor médio do custo anual de substituição de materiais e equipamentos ( $C_S$ ) apresenta maior relevância para a indústria metalúrgica estando as indústrias de vidros e de mármore bem abaixo do valor médio; o

custo médio anual com a energia elétrica não consumida durante a interrupção do processo ( $C_E$ ) apresenta maior relevância para a indústria de vidros estando as indústrias metalúrgica e de mármore bem abaixo da média; o valor médio dos custos anuais diversos ( $C_D$ ) apresenta a indústria metalúrgica com o maior custo e as demais a baixo da média bem como o custo anual da falta de qualidade da energia elétrica ( $C_{FQ}$ ).

Constata-se que a indústria metalúrgica tem cinco dos oito custos maiores que a média, a indústria de vidros possui 3 dos 8 custos acima da média e a indústria de mármore apenas 1 dos custos está acima da média, desta forma o impacto da falta de qualidade de energia é maior para a indústria metalúrgica, seguida pela indústria de vidros e em seguida pela indústria de mármore.

Vale salientar que a indústria respondente do setor metalúrgico, embora esteja classificada no banco de dados da FIEC na categoria de metalúrgica, se classificou no preenchimento do questionário como indústria eletrônica; ressalta-se, ainda, que no banco de dados da FIEC não consta a classificação de indústrias eletrônicas,

Para se avaliar a homogeneidade dos custos, para as 3 indústrias de 13,8kV analisadas, por meio da planilha de comparação entre as indústrias obteve-se o valor do desvio padrão, salientando-se que quanto mais próximo de 0 for o desvio padrão, mais homogêneo ou uniforme é o custo analisado, ou seja, menor é a sua dispersão em torno do valor médio.

Ao se avaliar os dados contidos na Figura 4.41 obteve-se que o  $C_{HEX}$  possui um desvio de R\$1,21,  $C_{MP}$  de R\$9,95 e  $C_{CM}$  de R\$12,05, apresentando-se como custos relativamente homogêneos e assim com baixa dispersão. Apresenta-se extremamente elevado o grau de dispersão, ou seja, uma baixa homogeneidade, os custos  $C_{FQ}$  e  $C_D$  com valores consideravelmente distintos entre as indústrias, gerando a idéia que dentre as indústrias pesquisadas não se pode inferir uma correlação entre os seus custos.

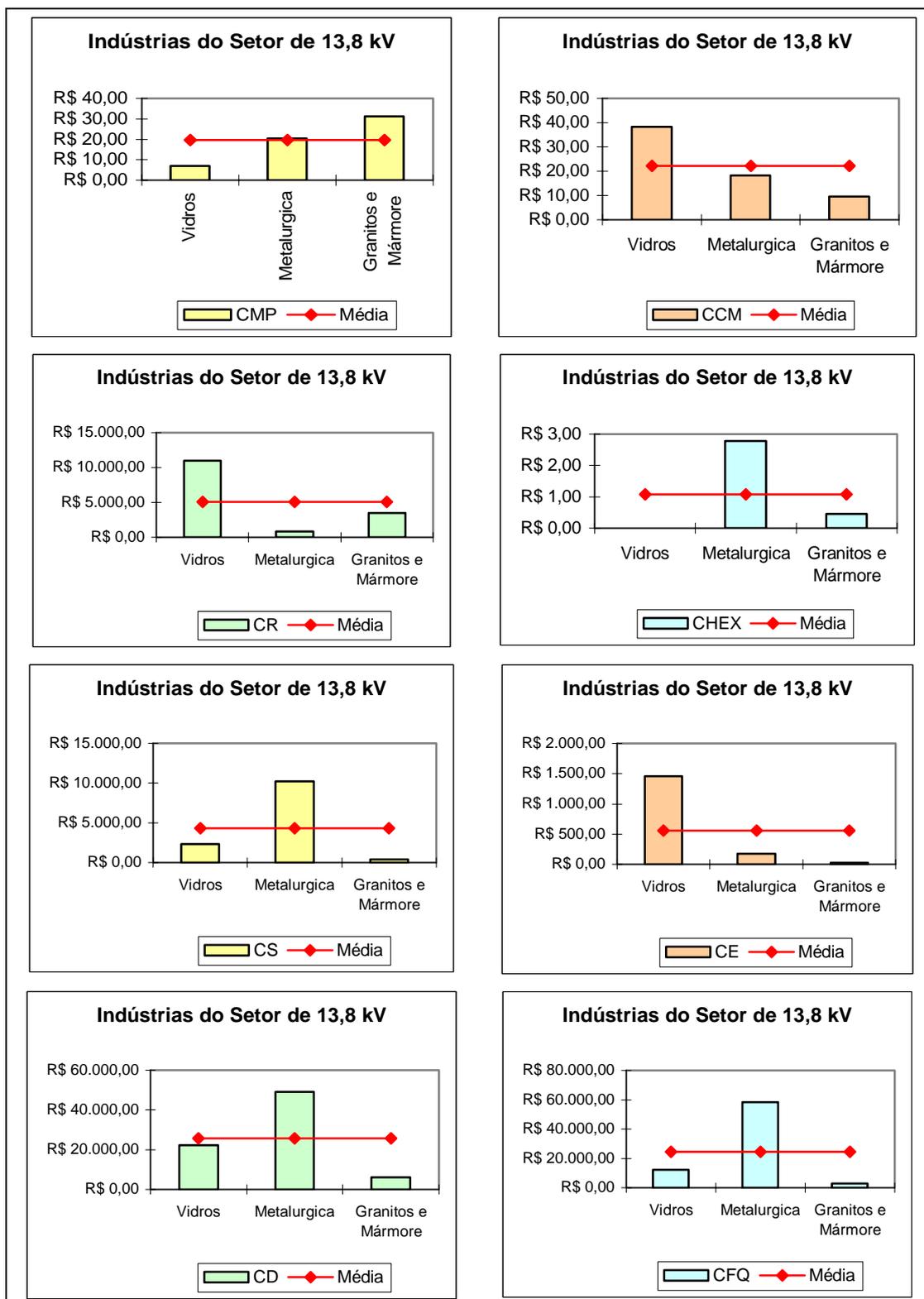


Figura 4.40 - Gráficos com a média de cada parcela dos custos referentes a produção industrial com a ocorrência dos distúrbios elétricos.

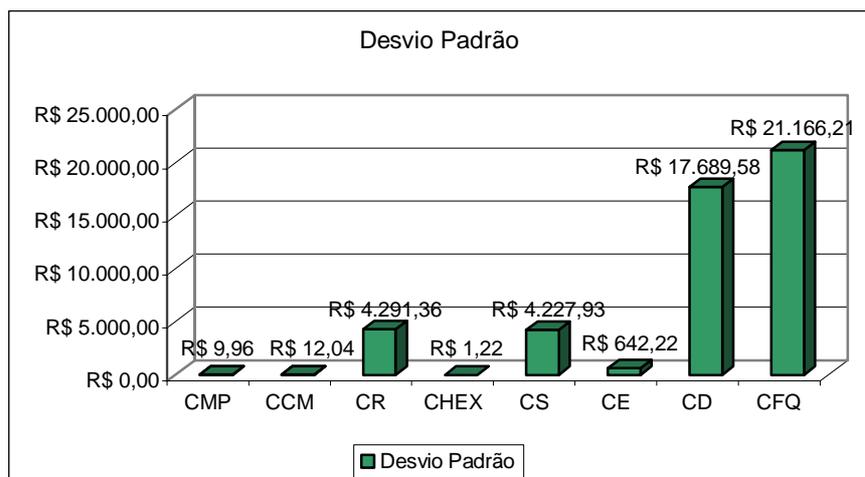


Figura 4.41 - Figura que representa o desvio padrão de cada parcela de custo para as 3 indústrias de 13,8kV.

### 4.3 Conclusão

A partir das concepções teóricas avaliadas e do modelo matemático proposto foi desenvolvida uma ferramenta computacional capaz de estimar e avaliar os custos incorridos na produção industrial decorrente da degradação da qualidade da energia elétrica fornecida.

Constata-se, a partir da aplicação das planilhas desenvolvidas, que os montantes encontrados são de caráter expressivos, corroborando o referencial teórico exposto no Capítulo 2 deste trabalho que ressalta os prejuízos alcançados pelas indústrias em todo o mundo.

---

## CAPÍTULO 5 | CONCLUSÃO

---

Esta dissertação apresenta uma ferramenta computacional, de fácil uso e baixo esforço computacional, para auxiliar na avaliação da perda de qualidade do insumo energia elétrica na operação das indústrias. A partir do referencial teórico foi proposto um modelo matemático, e desenvolvida e implementada a ferramenta computacional com interface humana amigável. O modelo é capaz de estimar a influência de problemas associados à qualidade da energia elétrica fornecida sobre os custos de produção da indústria e comparar os custos entre indústrias de um mesmo setor e entre indústrias de diferentes setores.

A baixa adesão à pesquisa por parte das indústrias cearenses e de instituições como a Federação das Indústrias do Ceará e concessionária local de energia elétrica no fornecimento de informações não foi suficiente para desmotivar o curso da pesquisa, nem tão pouco diminuir a relevância do trabalho. Conhecer as variáveis relacionadas ao processo produtivo que sofrem a influência com as perturbações elétricas congregá-las em um modelo e mensurá-las de forma direta e baixo custo foram premissas deste trabalho.

O questionário, enviado às indústrias por correio eletrônico e utilizado para aquisição de dados, é composto de 128 perguntas, divididas em 3 grupos: identificação da empresa, características da produção industrial e estudo de casos. A pesquisa usou cenários com 6 situações envolvendo perturbações de longa e curta duração, com e sem advertência prévia por parte da concessionária, sobre as quais os respondentes avaliaram a influência sobre o processo produtivo.

Das cinquenta e cinco indústrias contatadas apenas oito retornaram o questionário. Os dados coletados foram inseridos nas planilhas eletrônicas desenvolvidas para estimar o custo da falta da qualidade da energia elétrica sobre a produção da indústria e comparar os custos resultantes entre as indústrias. Dados hipotéticos também foram utilizados a fim demonstrar os recursos disponibilizados pela ferramenta computacional desenvolvida.

A precisão dos resultados é uma das maiores preocupações com o modelo proposto. A resposta fidedigna às questões do questionário certamente afere a precisão necessária aos

custos estimados. No entanto, como a frequência de ocorrência dos distúrbios na barra de entrega e a sensibilidade dos equipamentos industriais são informações de responsabilidade da concessionária e de fabricantes de equipamentos, respectivamente, a não regulamentação da matéria leva a estimação de valores pelos respondentes que podem refletir na precisão do resultado do custo estimado.

A solução dos problemas de qualidade de energia passa pelo conhecimento dos impactos por eles causados. O trabalho de pesquisa proposto é uma ferramenta de auxílio que permite tomar decisões coerentes e que resultem em benefício àqueles que vivenciam problemas no fornecimento da energia elétrica.

### **5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros**

A elaboração desta dissertação aflora algumas sugestões para trabalhos futuros, como:

- Divulgação e treinamento das indústrias, e federações de indústrias, concessionárias, e sindicatos industriais da ferramenta computacional capaz de estimar os custos de produção relacionados à falta de qualidade de energia elétrica para melhor gerenciar os recursos e garantir o retorno dos investimentos.
- Validação do modelo proposto e das ferramentas computacionais desenvolvidas a partir da adesão de um maior número de empresas.
- Informações como grau de tolerância dos equipamentos aos distúrbios, de responsabilidade dos fabricantes de equipamentos, e caracterização dos distúrbios elétricos como tipo, duração, magnitude e frequência de ocorrência no ponto de entrega, de responsabilidade dos agentes de fornecimento da energia elétrica, não são disponibilizadas aos consumidores de energia elétrica. A inclusão destas informações, quando regulamentadas e obtidas por procedimentos técnico-científicos, em substituição ao valor estimado pelos consumidores, resultará na melhoria da precisão dos custos estimados.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- [1] BRASIL, D. O. C.; KAGAN, N.; GOUVÊA, M. R. et al. Qualidade de Potência - Aspectos Metodológicos e de Custos. *SNPTEE - SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, GRUPO XI SOBRETENSÕES, COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO E INTERFERÊNCIAS (GSI)*. Belém, Pará, Brasil, 1997.
- [2] MUNASINGHE, M. *The Economics of Power System Reliability and Planning: Theory and Case Stud.* Reading: A World Bank Research Publication, U.S.A, 1979.
- [3] LINEWEBER, D.; MCNULTY, S. *The Cost of Power Disturbances to Industrial & Digital Economy Companies*. Submitted to: EPRI's Consortium for Electric Infrastructure for a Digital Society (CEIDS), June 29, 2001.
- [4] BILLINTON, R.; TOLLEFSON, G.; WACKER G. Comprehensive bibliography on reliability worth and electrical service consumer interruption costs: 1980-1990. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 6, n. 4, p.1508-1514, Nov. 1991.
- [5] MUNASINGHE, M.; GELLERSON, M. Economic criteria for optimizing power system reliability levels. *Bell Journal of Economics*, p. 353-365, 1979.
- [6] The growing role of reliability. *Electrical World*, v. 195, n. 10, p. 74-85, 1981.
- [7] Non-utility mechanisms to mitigate socioeconomic impact from electric power interruptions. *The National Electric Reliability Study. Technical Report EP-0005, Radian Corporation, U.S. Dept. of Energy*, Apr. 1981.
- [8] YABROFF, I. The Short-Term Cost of Electricity Supply Interruption. *The National Electric Reliability Study, U. S. Dept. of Energy, Report EP-0005*, Apr. 1981.
- [9] SANGHVI, A.P. Economic Costs Of Electricity Supply Interruptions: US and Foreign Experience. *Energy Economics*, v. 4, n. 3, p. 180-192, 1982.
- [10] BENTAL, B.; RAVID, S. A. A Simple Method for Evaluating the Marginal Cost of Unsupplied Electricity. *Bell Journal of Economics*, v. 13, p. 249-253, 1982.
- [11] SHEW, W.B. Designing a Study of Reliability Value. *EPRI Seminar: Value of Service Reliability to Consumers*, Oct. 1983.

- [12] SKOF, L. V. Ontario hydro surveys on power system reliability: Summary of customer viewpoints. *Ontario Hydro Report R&MR 80-12*, Oct. 1983.
- [13] SUBRAMANIAM, R. K.; BILLINTON, R.; WACKER, G. Factors affecting the development of an industrial customer damage function. *IEEE TPAS*, v. 104, n. 11, p. 3209-3215, 1985.
- [14] ANDERSSON, R.; TAYLOR, L. The Social Costs of Unsupplied Electricity. *Journal of Energy Economics*, v. 8, n. 3, p. 139-146, July 1986.
- [15] JUREST, R. Reliability Criteria Used in Various Countries. *Electra, CIGRE*, n. 110, p. 67-101, 1987.
- [16] BILLINTON, R.; OTENG-ADJEI, J. Utilization of Composite Customer Damage Functions in the Development of an Interrupted Energy Assessment Rate. *15<sup>th</sup> INTER- RAM Conference Proceedings*, Portland, p. 386-392, June 1988.
- [17] BHAVARAJU, M. P.; HEBSON, J. D.; WOOD, W. Emerging Issues in Power System Planning. *IEEE Proceedings*, v. 77, n. 6, p. 891-898, 1989.
- [18] WACKER, G.; BILLINTON, R. Customer Cost of Electric Interruptions. *Proceedings of the IEEE*, v. 77, n. 6, p. 919-930, June 1989.
- [19] MASSAUD, A. G.; SCHILLING, M. Th.; HERNANDEZ, J. P. Electricity restriction costs. *IEE Proc.-Gener. Transrn. Distrib*, v. 141, n. 4, July 1994.
- [20] NEUDORF, E. G.; KIGUEL, D. L.; HAMOUD, G. A. et al. Cost-benefit analysis of power system reliability: Two utility case studies. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 10, n. 3, p. 1667-1675, Aug. 1995.
- [21] GATES, J.; WACKER, G.; BILLINTON, R. Development of Customer Survey Instruments for Reliability Worth Evaluation in Electric Power Systems. *IEEE Wescanex' 95 Proceedings*, p. 12-17, 1995.
- [22] SULLIVAN, M. J.; SUDDETH, B. N.; VARDELL, T. et al. Interruption costs, customer satisfaction and expectations for service reliability. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 11, n. 2, p. 989-995, May 1996.
- [23] SARKAR, A. Reliability Evaluation of a Generation-Resource Plan Using Customer-Outage Costs in India. *Energy* v. 21, n. 9, p. 795-803, 1996.
- [24] SULLIVAN, M. J.; VARDELL, T.; JOHNSON, M. Power interruption costs to industrial and commercial consumers of electricity. *IEEE Transactions on Industry Applications*, v. 33, n. 6, p. 1448-1458, Nov./Dec. 1997.
- [25] GOMES, P.; SCHILLING, M. Th. Custo de Interrupção: Conceituação,

- Metodologia de Avaliação, Valores Existentes e Aplicações. *XIV SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Grupo IV - Análise e Técnicas de Sistemas de Potência*, Belém, Pará, Brasil, p.1-6, 1997.
- [26] IEEE STD. 1346-1998 *IEEE Recommended Practice for Evaluating Electric Power System Compatibility with Electronic Process Equipment*, May 5, 1998.
- [27] KOSKOLOS, N. C.; MEGALOCONOMOS, S. M.; DIALYNAS, E. N. Assessment of Power Interruption Costs for the Industrial Customers in Greece. *8<sup>th</sup> International Conference on Harmonics and Quality of Power ICHQP' 98*, Athens, Greece, Oct. 14-16, 1998.
- [28] CROZIER, J. T.; WISDOM, W. N. A Power Quality and Reliability Index Based on Customer Interruption Costs. *IEEE Power Engineering Review*, p. 59-61, Apr. 1999.
- [29] BILLINTON, R.; ALLAN, R. Probabilistic Assessment of Power Systems. *Proceedings of the IEEE*, v. 88, n. 2, p. 140-162, Feb. 2000.
- [30] BILLINTON, R.; ZHANG, W. Cost related reliability evaluation of bulk power systems. *Power Systems Research Group*, Canada, June 6, 2000.
- [31] LAMEDICA, R.; ESPOSITO, G.; TIRONI, E. et al. A survey on power quality cost in industrial customers. *IEEE*, p. 938-943, 2001.
- [32] YIN, S-A.; LU, C-N.; LIU, E. et al. Assessment of Interruption Cost to High Tech Industry in Taiwan. *IEEE*, p. 270-275, 2001.
- [33] MAGALHÃES, C. H. N.; GOUVÊA, M. R.; SILVA, F. A. T. et al. Avaliação do Custo Social de Interrupção do Fornecimento de Energia Elétrica do Lado da Demanda no Estado de S. Paulo. *XVI SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Grupo VII - Planejamento de Sistemas Elétricos*, Campinas, São Paulo, Brasil. Outubro 21-26, 2001.
- [34] MCGRANAGHAN, M.; ROETTGER, B. Economic Evaluation of Power Quality. *IEEE Power Engineering Review*, p. 8-12, Feb. 2002.
- [35] CHOI, S. B.; KIM, D. K.; JEONG, S. H. et al. Evaluation of the Customer Interruption Cost taking into consideration Macro Economic Approach in KOREA. *IEEE*, p. 2358-2362, 2002.
- [36] ANDERSSON, T.; NILSSON, D. Test and evaluation of voltage dip immunity. *STR13261*. Nov. 27, 2002.
- [37] HAMOUD, G.; EL-NAHAS, I. Assessment of Customer Supply Reliability in

- Performance-Based Contracts. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 18, n. 4, Nov. 2003.
- [38] PRUDENZI, A.; D'ADAMO, C. A knowledge based tool to support industrial customers in PQ evaluations. *IEEE Bologna Power Tech Conference*, Italy, June 23-26, 2003.
- [39] ALVES, M. F.; COSTA, J. G.; FONSECA, V. R. C. Impacto Econômico do Afundamento de Tensão na Indústria: Uma Metodologia Aplicada a Grandes Redes Elétricas. V *SBQEE - Seminário Brasileiro sobre Qualidade da Energia Elétrica. Tópico: Impacto Econômico e Responsabilidades*, Aracajú, Sergipe, Brasil, p. 483-488, ago. 17-20, 2003.
- [40] MELO, M. O. B. C.; CAVALCANTI, G. A. Avaliação do Impacto da Qualidade de Energia Elétrica no Mercado e na Produção Industrial, Análise e Metodologia. V *SBQEE - Seminário Brasileiro sobre Qualidade da Energia Elétrica. Tópico: Impacto Econômico e Responsabilidades*, Aracajú, Sergipe, Brasil, p. 483-488, ago. 17-20, 2003.
- [41] BOLLEN, Math H. J. *Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*. IEE Press Series on Power Engineering. 1999.
- [42] AZEVEDO, A. C. S. *Introdução à Engenharia de Custos Fase Investimento*. 2ª edição revisada. PINI. São Paulo, 1985.
- [43] FERREIRA, J. Â. *Custos na Prática: Gerenciamento Integrado e Descomplicado dos Custos Pela Margem de Contribuição*. Editora STS Publicações e Serviços Ltda. São Paulo-SP. Março de 1999.
- [44] MCGRANAGHAN, M.; STEPHENS, M.; ROETTGER, B. The Economics of Voltage Sag Ride-Through Capabilities: Weigh the financial effects of power quality variations on your system against the costs of implementing improvements. *Revista EC&M*, p. 30, 32, 34 and 36, May 2005.
- [45] FINGER, M.; SILVA, F. S. C. Curso de *Visual Basic* Aplicado. Livro destinado à disciplina de *Introdução à Computação para todas as Escolas, Faculdades e Institutos da USP*, escrita em 10/04/2000. Obtida no dia 13/10/2002 na Internet no site: <http://www.ime.usp.br/~fcs/mac113/apostila/node8.html>.
- [46] ALBRIGHT, S. C. VBA for Modelers Developing Decision Support Systems with Microsoft® Excel. *Duxbury Thomson Learning*. 2000.
- [47] HERGERT, D. A. Programando em *Visual Basic* Com aplicações em ambiente

- Windows*. Traduzido por Daniel Vieira. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Ed., 1992.
- [48] BONCHRISTIANI, E. F.; LIMA, L. S. A.; PAMPLONA, E. O. *Excenomic* - Uma Ferramenta de Auxílio à Análise de Investimento. *Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Engenharia Mecânica, Departamento de Produção*. Trabalho de Formatura de 2002.
- [49] <http://www.macoratti.net/indvb.htm>, 21/06/05
- [50] <http://www.macoratti.net>
- [51] <http://www.vanderbilt.edu/Engineering/CIS/Sloan/web/es130/vbasic/menubar.html>
- [52] <http://mr.vbscript.vilabol.uol.com.br/VBasic/VBASIC1.html>
- [53] <http://www.imasters.com.br/artigo.php?cn=1564&cc=47>
- [54] ROWE, A. A. *VBA in Excel® For EES&OR* 237. 1998. Obtido de: <http://www.stanford.edu/class/msande207/handouts/Vba237.pdf>
- [55] <http://www.cpearson.com/excel/menus.htm#vba>
- [56] University of Bristol Information Services document exlvba-t1. *Visual Basic for Excel97/2000-Practicalworkbook*. <http://www.bris.ac.uk/is/selfhelp/documentation/exlvba-t1/exlvba-t1.pdf>
- [57] [http://www.kelley.iu.edu/albrightbooks/VBA\\_Home.htm](http://www.kelley.iu.edu/albrightbooks/VBA_Home.htm)
- [58] <http://www.risktech.com.br/Modelos/>
- [59] HADDAD, J.; GAMA, P. H. R. P. Tarifação de Energia Elétrica. In: *Conservação de Energia, Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos*. 2ª Edição. Itajubá, MG: Editora da Escola Federal de Engenharia de Itajubá, p. 113-148, 2001.
- [60] NETO, T. N. C. *Uso Racional de Energia Elétrica*. Apostila de dezembro de 1999.
- [61] BRASIL. Tribunal de Contas da União. *Técnicas de Amostragem para Auditorias*. Brasília: 2002.

**APÊNDICE A****SELEÇÃO DAS INDÚSTRIAS  
PESQUISADAS**

Neste apêndice estão contidas três tabelas com a seleção das indústrias pesquisadas. Esta seleção foi obtida por meio do banco de dados das indústrias do Estado do Ceará, fornecido pela FIEC - Federação das Indústrias do Estado do Ceará. Este banco de dados contém informações das indústrias cearenses dos anos de 2000 e 2001, não sendo possível obter um banco de dados mais recente. Segundo informação prestada pela FIEC um novo banco de dados está em processo de atualização estando disponível no segundo semestre deste ano (2005).

A Tabela A.1 contém as indústrias que aceitaram o envio do questionário e sua respectiva localização.

Tabela A.1 - Indústrias que aceitaram responder o questionário.

Indústrias que aceitaram responder o questionário		
	Indústria	Localização
1.	Companhia de Bebidas das Américas - AMBEV	Aquiraz
2.	Moageira Serra Grande Ltda. - Café Serra Grande	Sobral
3.	Cajuína São Geraldo Ltda	Juazeiro do Norte
4.	Carbomil S/A Mineração e Indústria	Fortaleza
5.	Carbomil S/A Mineração e Indústria	Limoeiro do Norte
6.	Cascajú Agroindustrial S/A	Fortaleza
7.	Olaria Riachão Indústria e Comércio Ltda. - Ceagra - Cerâmica e Agropecuária Assunção Ltda	Itaitinga
8.	Cemec Construções Eletromecânicas S/A	Fortaleza
9.	Cerâmica Brasileira Cerbrás Ltda	Maracanaú
10.	Cervejaria Kaiser Brasil Ltda	Pacatuba
11.	Cigel Comercial e Indústria Gurgel Ltda.	Fortaleza
12.	Cocalqui	Quixeramobim
13.	Companhia Industrial de Vidros "CIV"	Fortaleza
14.	Cotece S/A	Maracanaú
15.	CPN - Chapas Perfuradas do Nordeste Ltda	Maranguape
16.	Dakota Iguatu S/A	Iguatu
17.	Dakota Russas S/A	Russas
18.	Dakota Nordeste S/A	Maranguape
19.	Delrio Refrigerantes	Sobral
20.	Empesca Alimentos S/A	Fortaleza
21.	Filial Hidracor - Cemec - Construções Eletromecânicas S/A	Maracanaú
22.	Gaspar Viana	Fortaleza
23.	Gerdau S/A	Maracanaú
24.	Grendene	Crato
25.	Grendene	Sobral
26.	Ibicip Indústria Barbalhense de Cimento Portland S/A	Barbalha

27.	INCOPA - Indústria e Comércio de Papéis	Crato
28.	Indaiá Brasil Águas Minerais Ltda	Fortaleza
29.	Indústria Brasileira de Artefatos Plásticos S/A – IBAP	Fortaleza
30.	Indústria Termo Plástica Kaiana	Barbalha
31.	Inelsa – Indústrias Elétricas Elite S/A	Maracanaú
32.	Isofarma Industrial Farmacêutica Ltda	Eusébio
33.	J B Industrial Mármore e Granito Ltda	Fortaleza
34.	Jangadeiro Têxtil	Fortaleza
35.	Laboratório Madrevita Ltda	Fortaleza
36.	M. Dias Branco S. A. Comércio e Indústria - Divisão GME	Fortaleza
37.	M. Dias Branco S. A. Comércio e Indústria - Fábrica Fortaleza	Fortaleza
38.	M. Dias Branco S/A Comércio e Indústria	Fortaleza
39.	Marisol Nordeste S/A	Pacatuba
40.	Metalgráfica Cearense S/A – Mecesa	Fortaleza
41.	Microsol Tecnologia Ltda	Fortaleza
42.	Multicor Têxtil Ltda	Jaguaruana
43.	Multigran Min. de Granitos Ltda	Caucaia
44.	Petróleo Brasileiro S/A - Petrobrás – Lubnor	Fortaleza
45.	Stargesso Industrial Ltda.	Nova Olinda
46.	Tecnomecânica Esmaltec Ltda	Fortaleza
47.	Gráfica Editora R. Esteves Tipoprogresso Ltda	Fortaleza
48.	Troller Veículos Especiais S/A	Horizonte
49.	Vicunha Ne S/A - Indústria Têxtil - Unidade I	Pacajus
50.	Vicunha Nordeste S/A Indústria Têxtil - Unidade V	Maracanaú
51.	Vicunha Nordeste S/A Indústria Têxtil - Unidade IV	Fortaleza
52.	Vulcabrás Nordeste	Horizonte
53.	CIC S/A - Weaver Jeans	Maracanú
54.	Ypioca Agroindustrial Ltda	Fortaleza
55.	Ypioca Águas Minerais	Fortaleza

A Tabela A.2 contém as indústrias que não aceitaram o envio do questionário e sua respectiva localização.

Tabela A.2 - Indústrias que não aceitaram responder o questionário.

Indústrias que não aceitaram responder o questionário		
	Indústria	Localização
1.	A. Mormorex Ind. de Mármore e Premoldados do Ceará Ltda	Fortaleza
2.	Alteza Comércio Indústria de Alimentos Ltda	Fortaleza
3.	Alubrás - Artefatos de Aço e Alumínio do Brasil S/A	Fortaleza
4.	Alumínio Luziê Importação e Exportação Ltda.	Crato
5.	Aluminor Indústria e Comércio Ltda	Fortaleza
6.	A. Borges Carvalho & Cia. Ltda.	Juazeiro do Norte
7.	Carisma Embalagens	Juazeiro do Norte
8.	Cerâmica Martins Ltda	Caucaia
9.	Cerâmica Santa Rita Ltda.	São Gonçalo do Amarante
10.	Cerâmica Torres	Sobral
11.	Comaga Indústria e Comércio de Mármore e Granitos	Fortaleza
12.	Editora Verdes Mares	Fortaleza
13.	C.M.M. dos Santos - ME - Apremac	Camocim
14.	Farmace-Indústria Químico-Farmacêutica Cearense Ltda.	Barbalha
15.	Gramaf Granitos e Mármore Fortaleza Ltda	Fortaleza
16.	Granal Granito e Mármore Ltda.	Caucaia
17.	Grendene Sobral S/A - Filial I	Fortaleza

18.	Indústria e Comércio Luminosos Acrílicos e Estruturas – Acrimetal	Fortaleza
19.	Indústria Naval do Ceará – Inace	Fortaleza
20.	Jornal O Povo	Fortaleza
21.	Laboratório Odaly Soares Ltda.	Fortaleza
22.	Nacional Gás Butano Distribuidora Ltda.	Fortaleza
23.	Naturalis - Laboratório Farmacêutico Ltda.	Fortaleza
24.	Nutral Indústria de Formulações Nutricionais Ltda.	Fortaleza
25.	Petróleo e Lubrificantes do Nordeste S/A – Petrolusa	Fortaleza
26.	Ravick - Produtos Químicos e Cosméticos Ltda.	Fortaleza
27.	Tebasa S/A	Fortaleza

A tabela A.3 contém as indústrias que não foi possível o contato para se saber se gostaria de participar da pesquisa e sua respectiva localização.

Tabela A.3 - Indústrias as quais não foi possível o contato.

Indústrias as quais não foi possível o contato		
	Indústria	Localização
1.	A. G. Mármore e Granitos Ltda – Marmogran	Fortaleza
2.	Al Lar Indústria e Comércio de Artefatos de Alumínio Ltda	Juazeiro do Norte
3.	A. C. F. de Almeida - ME - Calçados Ipanema Rio	Sobral
4.	Canindé Calçados Ltda	Canindé
5.	Cerâmica Alvorada Ltda	Caucaia
6.	Cerâmica Tavares	São Gonçalo do Amarante
7.	Cerâmica União Ltda	Aquiraz
8.	CNV - Companhia Nacional do Vestuário	Fortaleza
9.	COBAP Comércio e Benefiamento de Artefatos de Papel Ltda.	Maracanaú
10.	Coca-Cola Indústrias Ltda	Maracanaú
11.	Companhia Cearense de Cimento Portland	Sobral
12.	Dafruta Indústria e Comércio S/A	Aracati
13.	Democrata Nordeste Calçados e Artefatos de Couro Ltda.	Camocim
14.	Dispa Indústria de Rações S/A - Fri-Ribe – Fortaleza	Fortaleza
15.	Antônio Linard - Indústria Alimentícia Ltda - Doucerie Linard	Missão Velha
16.	Empesca S/A Construções Navais Peças e Exportação	Fortaleza
17.	Endomed Laboratório Farmacêutico	Aquiraz
18.	FAE - Ferragens e Aparelhos Elétricos S/A	Fortaleza
19.	Gramarmo Granitos e Mármore Indústria e Comércio	Fortaleza
20.	Indústria Metalúrgica Primos	Iguatu
21.	Jornal do Cariri	Juazeiro do Norte
22.	Companhia Metalic Nordeste	Maracanaú
23.	Recamonde Artefatos de Couro Ltda	Fortaleza
24.	Riges do Nordeste S/A	Pacajús
25.	Simtec Indústria Metalúrgica Mármore e Granitos Ltda	Fortaleza
26.	Singer do Nordeste Ltda.	Juazeiro do Norte
27.	Têxtil Bezerra de Menezes S/A	Fortaleza
28.	Têxtil União S/A	Maracanaú
29.	Vidrobrás Indústria e Comércio de Vidros e Esq. de Alumínio	Horizonte

---

## APÊNDICE B | QUESTIONÁRIO DA PESQUISA

---

A seguir encontra-se o questionário elaborado para a pesquisa junto às indústrias selecionadas que aceitaram respondê-lo. O questionário é composto por três partes, a primeira se refere à identificação da indústria, depois há etapa de caracterização da produção e por fim a etapa de estudo de caso. Esta terceira etapa está composta por seis casos possíveis de acontecerem na operação da indústria, são:

- Variação de energia elétrica com a duração de 1 segundo, em um dia de semana a partir das 2 horas da tarde, no período seco, sem advertência ou notificação por parte da concessionária de energia elétrica;
- Variação de energia elétrica com a duração de 3 minutos, em um dia de semana a partir das 2 horas da tarde, no período seco, sem advertência ou notificação por parte da concessionária de energia elétrica;
- Variação de energia elétrica com a duração de 1 segundo seguida por 2 segundos sem variação e com a ocorrência de outra variação também de 1 segundo, em um dia de semana a partir das 2 horas da tarde, no período seco, sem advertência ou notificação por parte da concessionária de energia elétrica;
- Interrupção de energia elétrica com a duração de 1 hora, em um dia de semana a partir das 2 horas da tarde, no período seco, sem advertência ou notificação por parte da concessionária de energia elétrica;
- Interrupção de energia elétrica com a duração de 1 hora, em um dia de semana a partir das 2 horas da tarde, no período seco, com advertência ou notificação por parte da concessionária de energia elétrica 1 hora antes da ocorrência da interrupção prevista;
- Interrupção de energia elétrica com a duração de 1 hora, em um dia de semana a partir das 2 horas da tarde, no período seco, com notificação 24 horas antes da ocorrência da interrupção prevista.



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**  
Caixa Postal 6001 - Campus do Pici  
CEP: 60.455-760 Fortaleza-CE  
Fone: + 85 4048.9581 Fax: + 85 4048.9574

**QUESTIONÁRIO PARA A AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE VARIAÇÕES NA ENERGIA ELÉTRICA SOBRE A OPERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS CEARENSES.**

Este questionário tem a finalidade de pesquisa acadêmica dentro do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará visando à elaboração de uma planilha econômica que auxilie a indústria a mensurar o efeito das variações da energia elétrica nos custos de produção.

Solicitamos a gentileza de responder com a maior fidedignidade possível a todas as questões postas, o que é de enorme significância para construção da planilha eletrônica, precisão dos resultados e validação da metodologia usada.

O questionário é dividido em três partes que consistem em identificação da empresa, características da produção industrial, estudo de casos, e características da indústria. A grande maioria das questões é objetiva, e de múltipla escolha. Para responder às perguntas, solicitamos a colaboração de um(a) profissional responsável pelas operações diárias desta indústria, que conheça como a operação da planta industrial é afetada por problemas na energia elétrica.

Toda informação prestada neste questionário deverá ser usada tão somente para a realização da pesquisa acadêmica. A informação não será distribuída nem usada para qualquer outro propósito não declarado. Portanto, **todas as informações contidas neste questionário são de caráter confidencial**, não sendo posteriormente utilizados dados e nomes aqui citados.

*A priori* agradecemos pelo tempo que será disponibilizado para preenchimento do questionário. Em caso de dúvidas ou maiores informações sobre o questionário, favor comunicar-se por e-mail com [ritamaria@dee.ufc.br](mailto:ritamaria@dee.ufc.br), ou [rleao@dee.ufc.br](mailto:rleao@dee.ufc.br); ou se preferir por telefone, através de: (+85) 9921.7174 (Eng<sup>a</sup> Rita Maria, mestrande em Engenharia Elétrica da UFC), ou (+85) 4008.9576 (Prof<sup>a</sup> PhD Ruth Leão, orientadora). Dúvidas podem ser também esclarecidas pressionando a tecla “F1”, durante o preenchimento do questionário, bastando para isto selecionar a opção desejada.

**I. Identificação da empresa.**

1) Nome da indústria:

Razão social:

CNPJ:

2) Endereço:

Município:

Telefone:

Sítio na Internet:

3) Entrevistados:

Nomes dos entrevistados	Cargos	E-mail	Telefone para contato

4) Data da aplicação do questionário:

5) Selecione o setor da indústria:

 Têxtil Químico Produtos Alimentícios Metalúrgico Bebidas Outro

Especifique:

6) Produtos de fabricação:

7) Tarifa contratada:

 Horosazonal Azul Horosazonal Verde Convencional8) Qual o valor médio do consumo anual de energia elétrica?  
kWh9) Qual o valor médio anual da energia elétrica consumida?  
R\$

10) Nível de Tensão:

 13,8kV 69kV

### INSTRUÇÕES PARA PREENCHER O FORMULÁRIO DE PESQUISA

Por favor, responda somente pela indústria endereçada, não inclua, portanto, filiais, outras plantas ou subsidiárias.

É muito importante que você tente responder todas as perguntas. Se uma pergunta for difícil de responder, por favor, nos dê sua melhor estimativa.

Para todas as perguntas, por favor, assuma que uma *variação na energia elétrica* refere-se a uma perturbação de energia elétrica na indústria que leve à má operação, reinicialização, bloqueio/travamento, desligamento ou falha de dispositivos, equipamentos, e/ou processos. Estas *perturbações* podem ser de origem externa ou interna à planta e podem variar em duração de fração de segundo até várias horas.

## II. Características da Produção Industrial.

Dados colhidos durante o período de tempo de 1 (um) ano.

1) Selecione a opção que define o fornecimento de energia elétrica para a operação da indústria.

Ótimo       Bom       Regular       Ruim       Péssimo

2) Classifique em ordem de prioridade a importância dos itens abaixo relacionados para a operação da indústria com relação à energia elétrica.

	Menos Prioritário	→		Mais Prioritário
Confiabilidade	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
Qualidade de Energia	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
Rápida Restauração de Serviço e Processo	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
Tarifa	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4

3) Selecione os problemas mais frequentes que ocorrem na indústria quando há variações de energia elétrica.

- As luzes cintilam ou piscam.
- Abertura dos dispositivos de proteção (relés, disjuntores, fusíveis).
- Computadores travam ou reiniciam sozinhos.
- Motores ou outros equipamentos da linha de produção iniciam ou param inesperadamente.
- Motores ou outros equipamentos da linha de produção reduzem ou elevam suas velocidades inesperadamente.
- Motores ou outros equipamentos da linha de produção são danificados.
- Computadores ou outros meios eletrônicos são danificados.
- Empregados recebem choques elétricos quando tocam nos equipamentos.
- Outro.      Especifique:

4) Estime o número de perturbações de energia elétrica que alteram a operação da indústria ocorridas nos últimos 12 meses.



- De 3 à 4 salários mínimos  De 7 à 8 salários mínimos

11) Existe folga na capacidade de produção?

- Não  
 Sim Qual o percentual de folga da produção?  
 %

12) Existe possibilidade de recuperação da produção perdida por regime de horas extras de trabalho devido à ocorrência de variações de energia elétrica?

- Não  
 Sim Qual a porcentagem de tempo gasto em horas extras em relação ao regime normal de trabalho para a recuperação da produção?  
 %  
 Qual o valor anual estimado gasto com a energia elétrica consumida durante as horas extras de trabalho?  
 R\$

13) Estime o valor médio de salários mínimos pagos ao pessoal do setor de produção em regime extra de trabalho.

- De 1 à 2 salários mínimos  De 5 à 6 salários mínimos  
 De 3 à 4 salários mínimos  De 7 à 8 salários mínimos

14) No custo final do produto, estime o percentual do valor agregado referente ao insumo energia elétrica.

%

15) Selecione a opção estimada do valor da produção anual perdida, para todas as linhas de produção. (Valores em reais (R\$)).

- |   |   |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Até 5.000            | <input type="checkbox"/> De 750.000 a 1.000.000     |
| <input type="checkbox"/> De 5.000 a 10.000    | <input type="checkbox"/> De 1.000.000 a 2.500.000   |
| <input type="checkbox"/> De 10.000 a 25.000   | <input type="checkbox"/> De 2.500.000 a 5.000.000   |
| <input type="checkbox"/> De 25.000 a 50.000   | <input type="checkbox"/> De 5.000.000 a 10.000.000  |
| <input type="checkbox"/> De 50.000 a 100.000  | <input type="checkbox"/> De 10.000.000 a 25.000.000 |
| <input type="checkbox"/> De 100.000 a 250.000 | <input type="checkbox"/> De 25.000.000 a 50.000.000 |
| <input type="checkbox"/> De 250.000 a 500.000 | <input type="checkbox"/> Acima de 50.000.000        |
| <input type="checkbox"/> De 500.000 a 750.000 |   |

16) Estime o custo anual com o reparo ou conserto de equipamentos provocados por variações da energia elétrica.

R\$

17) Estime o custo anual de recuperação das perdas de informação digital provocados por variações da energia elétrica. (Exemplo: perdas de banco de dados ou planilhas, software corrompido, etc.).

R\$

18) Estime o custo anual com a operação e manutenção de equipamentos de controle ou de compensação das variações de energia elétrica.

R\$

- 19) Estime o custo anual com a operação e manutenção de equipamentos de geração auxiliar.  
R\$

### III. Estudo de Casos.

As próximas questões se referem a **seis casos** de estudo sobre *variações de energia elétrica*. Cada caso descreve uma perturbação diferente que a indústria pode vir a sofrer, desta forma, para cada caso, por favor, suponha que a perturbação realmente acontece no decorrer da operação da indústria. Com isto, se poderá obter informações sobre o impacto que perturbações de diferentes tempos de duração, com notificação ou não por parte da concessionária, têm sobre a produção da indústria.

Algumas das questões perguntam por quantias monetárias que retratam custos ou economias da indústria com a ocorrência das variações de energia elétrica. É reconhecido que esses dados podem não ser precisos, mas pede-se que se dê a melhor estimativa para os mesmos.

**Caso 1** - Considere que houve uma variação de energia elétrica com a duração de 1 segundo, em um dia de semana a partir das 2 horas da tarde, no período seco, sem advertência ou notificação por parte da concessionária de energia elétrica.

1) Estime a frequência anual de ocorrência do distúrbio descrito no **Caso 1** (**Se a frequência de ocorrência é nula, por favor, passe para o próximo Estudo de Caso**).

ocorrências/ano.

2) Estime a severidade da variação de energia elétrica de 1 segundo na operação da indústria.

Gravidade da variação de energia elétrica do <b>Caso 1</b> na operação da indústria.				
Menos Severa	—————→			Extremamente Severa
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

3) Selecione a porcentagem que melhor representa a redução do processo de produção com a ocorrência dessa variação de energia elétrica.

- Zero, não há redução na produção.
- Há uma redução de pelo menos 10%.
- Há uma redução entre 11% e 25%.
- Há uma redução entre 26% e 50%.
- Há uma redução entre 51% e 75%.
- Há uma redução entre 76% e 99%.
- Há uma redução de 100%, todas as atividades são suspensas.

4) Por quanto tempo em média é interrompido o processo de produção quando há variação de energia elétrica como a descrita no **Caso 1**?

segundos                      minutos                      horas

5) Para a ocorrência considerada no **Caso 1** após o restabelecimento da energia elétrica existe alguma atividade que se realize antes da retomada do processo de produção? (Exemplo: limpeza do maquinário do setor de produção devido às variações de energia elétrica).

- Não
- Sim      Quanto tempo é utilizado para a realização dessa atividade?

segundos          minutos          horas  
 Descreva a atividade:

- 6) Considerando que a energia foi restabelecida e que a produção não foi retomada, estime a porcentagem da produção normal não produzida devido à ocorrência considerada no **Caso 1**.

%

- 7) Liste as linhas de produção da indústria que são sensíveis a essa variação de energia elétrica, e estime a porcentagem do custo da produção perdida de cada linha de produção em relação à produção perdida de todas as linhas de produção (porcentagem da questão 16 do item II) devido a essa variação de energia elétrica. Informe para cada linha de produção relacionada quais os equipamentos sensíveis a essa variação de energia elétrica (se possível forneça características dos equipamentos: fabricantes, capacidade de produção, curvas de sensibilidade, etc.).

Linhas de produção e respectivos equipamentos sensíveis à variação de energia elétrica descrita no <b>Caso 1</b> :	%Produção Perdida
1.	
2.	
3.	
4.	
5.	

- 8) Estime o valor anual da matéria-prima não utilizada devido a essa variação de energia elétrica.

R\$

- 9) Estime o valor anual de material/produto que sofreu perda de qualidade e que pode ser re-aproveitável, devido a ocorrência da perturbação descrita no **Caso 1**. (Exemplos: sucata, materiais que servem para outros processos de produção, e materiais ou produtos manufaturados com nível de qualidade diminuída).

R\$

- 10) Qual o custo anual estimado de substituição de matérias-primas estragadas, ou danificadas devido a essa variação de energia elétrica?

R\$

- 11) Qual o custo anual estimado de substituição de equipamentos danificados devido a essa variação de energia elétrica? (Inclui o valor do equipamento e o frete do mesmo).

R\$

- 12) Estime quanto de energia elétrica deixou de ser consumida durante a parada de produção devido à perturbação de energia elétrica descrita no **Caso 1**.

kWh.

13) Existe equipamento que precise de mão-de-obra especializada para o reinício da produção após a ocorrência da variação de energia elétrica descrita no **Caso 1**? (Exemplo: programadores).

Não

Sim Estime o custo anual com esta mão-de-obra extra.  
R\$

14) As linhas de produção necessitam de limpeza devido à ocorrência dessa variação de energia elétrica?

Não

Sim Estime o custo anual devido a esta limpeza.  
R\$

15) Estime o custo anual das vendas não realizadas devido à queda de produção causada pela variação de energia elétrica descrita no **Caso 1**.

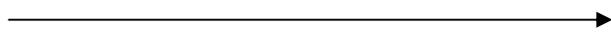
R\$

16) Estime o valor anual de multas ou penalidades devido ao não cumprimento de contratos por causa dessa variação de energia elétrica.

R\$

**Caso 2** - Considere que houve uma variação de energia elétrica com a duração de 3 minutos, em um dia de semana a partir das 2 horas da tarde, no período seco, sem advertência ou notificação por parte da concessionária de energia elétrica.

- 1) Estime a frequência anual de ocorrência do distúrbio descrito no **Caso 2** (Se a frequência de ocorrência é nula, por favor, passe para o próximo Estudo de Caso).  
ocorrências/ano.
- 2) Estime a severidade da variação de energia elétrica de 3 minutos na operação da indústria.

Gravidade da variação de energia elétrica do <b>Caso 2</b> na operação da indústria.				
Menos Severa				Extremamente Severa
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

- 3) Selecione a porcentagem que melhor representa a redução do processo de produção com a ocorrência dessa variação de energia elétrica.
- Zero, não há redução na produção.
- Há uma redução de pelo menos 10%.
- Há uma redução entre 11% e 25%.
- Há uma redução entre 26% e 50%.
- Há uma redução entre 51% e 75%.
- Há uma redução entre 76% e 99%.
- Há uma redução de 100%, todas as atividades são suspensas.
- 4) Por quanto tempo em média é interrompido o processo de produção quando há variação de energia elétrica como a descrita no **Caso 2**?
- segundos                      minutos                      horas
- 5) Para a ocorrência considerada no **Caso 2** após o restabelecimento da energia elétrica existe alguma atividade que se realize antes da retomada do processo de produção? (Exemplo: limpeza do maquinário do setor de produção devido às variações de energia elétrica).
- Não
- Sim      Quanto tempo é utilizado para a realização dessa atividade?
- segundos                      minutos                      horas
- Descreva a atividade:
- 6) Considerando que a energia foi restabelecida e que a produção não foi retomada, estime a porcentagem da produção normal não produzida devido à ocorrência considerada no **Caso 2**.
- %
- 7) Liste as linhas de produção da indústria que são sensíveis a essa variação de energia elétrica, e estime a porcentagem do custo da produção perdida de cada linha de produção em relação à produção perdida de todas as linhas de produção (porcentagem da questão 16 do item II) devido a essa variação de energia elétrica. Informe para cada linha de produção relacionada quais os equipamentos sensíveis a

essa variação de energia elétrica (se possível forneça características dos equipamentos: fabricantes, capacidade de produção, curvas de sensibilidade, etc.).

Linhas de produção e respectivos equipamentos sensíveis à variação de energia elétrica descrita no <b>Caso 2</b> :	%Produção Perdida
1.	
2.	
3.	
4.	
5.	

- 8) Estime o valor anual da matéria-prima não utilizada devido a essa variação de energia elétrica.  
R\$
- 9) Estime o valor anual de material/produto que sofreu perda de qualidade e que pode ser re-aproveitável com a ocorrência da perturbação descrita no **Caso 2**. (Exemplos: sucata, materiais que servem para outros processos de produção, e materiais ou produtos manufaturados com nível de qualidade diminuída).  
R\$
- 10) Qual o custo anual estimado de substituição de matérias-primas estragadas, ou danificadas devido a essa variação de energia elétrica?  
R\$
- 11) Qual o custo anual estimado de substituição de equipamentos danificados devido a essa variação de energia elétrica? (Inclui o valor do equipamento e o frete do mesmo).  
R\$
- 12) Estime quanto de energia elétrica deixou de ser consumida durante a parada de produção devido à perturbação de energia elétrica descrita no **Caso 2**.  
kWh.
- 13) Existe equipamento que precise de mão-de-obra especializada para o reinício da produção após a ocorrência da variação de energia elétrica descrita no **Caso 2**? (Exemplo: programadores).  
 Não  
 Sim Estime o custo anual com esta mão-de-obra extra.  
R\$
- 14) As linhas de produção necessitam de limpeza devido à ocorrência dessa variação de energia elétrica?  
 Não  
 Sim Estime o custo anual devido a esta limpeza.  
R\$

- 15) Estime o custo anual das vendas não realizadas devido à queda de produção causada pela variação de energia elétrica descrita no **Caso 2**.  
R\$
- 16) Estime o valor anual de multas ou penalidades devido ao não cumprimento de contratos por causa dessa variação de energia elétrica.  
R\$

**Caso 3** - Considere que houve uma variação de energia elétrica com a duração de 1 segundo seguida por outra também de 1 segundo, após 2 segundos sem variação, em um dia de semana a partir das 2 horas da tarde, no período seco, sem advertência ou notificação por parte da concessionária de energia elétrica.

1) Estime a frequência anual de ocorrência do distúrbio descrito no **Caso 3** (Se a frequência de ocorrência é nula, por favor, passe para o próximo Estudo de Caso).  
ocorrências/ano.

2) Estime a severidade da variação de energia elétrica de 1 segundo seguida por outra também de 1 segundo, após 2 segundos sem variação, na operação da indústria.

Gravidade da variação de energia elétrica do <b>Caso 3</b> na operação da indústria.				
Menos Severa				Extremamente Severa
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

3) Selecione a porcentagem que melhor representa a redução do processo de produção com a ocorrência dessa variação de energia elétrica.

- Zero, não há redução na produção.  
 Há uma redução de pelo menos 10%.  
 Há uma redução entre 11% e 25%.  
 Há uma redução entre 26% e 50%.  
 Há uma redução entre 51% e 75%.  
 Há uma redução entre 76% e 99%.  
 Há uma redução de 100%, todas as atividades são suspensas.

4) Por quanto tempo em média é interrompido o processo de produção quando há variação de energia elétrica como a descrita no **Caso 3**?  
segundos                      minutos                      horas

5) Para a ocorrência considerada no **Caso 3** após o restabelecimento da energia elétrica existe alguma atividade que se realize antes da retomada do processo de produção? (Exemplo: limpeza do maquinário do setor de produção devido às variações de energia elétrica).

- Não  
 Sim      Quanto tempo é utilizado para a realização dessa atividade?  
   segundos                      minutos                      horas  
Descreva a atividade:

6) Considerando que a energia foi restabelecida e que a produção não foi retomada, estime a porcentagem da produção normal não produzida devido à ocorrência considerada no **Caso 3**.  
%

7) Liste as linhas de produção da indústria que são sensíveis a essa variação de energia elétrica, e estime a porcentagem do custo da produção perdida de cada linha de produção em relação à produção perdida de todas as linhas de produção (porcentagem da questão 16 do item II) devido a essa variação de energia elétrica.

Informe para cada linha de produção relacionada quais os equipamentos sensíveis a essa variação de energia elétrica (se possível forneça características dos equipamentos: fabricantes, capacidade de produção, curvas de sensibilidade, etc.).

Linhas de produção e respectivos equipamentos sensíveis à variação de energia elétrica descrita no <b>Caso 3</b> :	%Produção Perdida
1.	
2.	
3.	
4.	
5.	

- 8) Estime o valor anual da matéria-prima não utilizada devido a essa variação de energia elétrica.  
R\$
- 9) Estime o valor anual de material/produto que sofreu perda de qualidade e que pode ser re-aproveitável com a ocorrência da perturbação descrita no **Caso 3**. (Exemplos: sucata, materiais que servem para outros processos de produção, e materiais ou produtos manufaturados com nível de qualidade diminuída).  
R\$
- 10) Qual o custo anual estimado de substituição de matérias-primas estragadas, ou danificadas devido a essa variação de energia elétrica?  
R\$
- 11) Qual o custo anual estimado de substituição de equipamentos danificados devido a essa variação de energia elétrica? (Inclui o valor do equipamento e o frete do mesmo).  
R\$
- 12) Estime quanto de energia elétrica deixou de ser consumida durante a parada de produção devido à perturbação de energia elétrica descrita no **Caso 3**.  
kWh.
- 13) Existe equipamento que precise de mão-de-obra especializada para o reinício da produção após a ocorrência da variação de energia elétrica descrita no **Caso 3**? (Exemplo: programadores).  
 Não  
 Sim Estime o custo anual com esta mão-de-obra extra.  
R\$
- 14) As linhas de produção necessitam de limpeza devido à ocorrência dessa variação de energia elétrica?  
 Não  
 Sim Estime o custo anual devido a esta limpeza.

R\$

15) Estime o custo anual das vendas não realizadas devido à queda de produção causada pela variação de energia elétrica descrita no **Caso 3**.

R\$

16) Estime o valor anual de multas ou penalidades devido ao não cumprimento de contratos por causa dessa variação de energia elétrica.

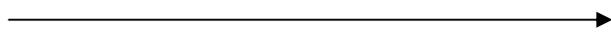
R\$

**Caso 4** - Considere que houve uma interrupção de energia elétrica com a duração de 1 hora, em um dia de semana a partir das 2 horas da tarde, no período seco, sem advertência ou notificação por parte da concessionária de energia elétrica.

- 1) Estime a frequência anual de ocorrência do distúrbio descrito no **Caso 4** (Se a frequência de ocorrência é nula, por favor, passe para o próximo Estudo de Caso).

ocorrências/ano.

- 2) Estime a severidade da interrupção de energia elétrica de 1 hora na operação da indústria.

Gravidade da interrupção de energia elétrica do <b>Caso 4</b> na operação da indústria.				
Menos Severa				Extremamente Severa
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

- 3) Selecione a porcentagem que melhor representa a redução do processo de produção com a ocorrência dessa interrupção de energia elétrica.

- Zero, não há redução na produção.  
 Há uma redução de pelo menos 10%.  
 Há uma redução entre 11% e 25%.  
 Há uma redução entre 26% e 50%.  
 Há uma redução entre 51% e 75%.  
 Há uma redução entre 76% e 99%.  
 Há uma redução de 100%, todas as atividades são suspensas.

- 4) Por quanto tempo em média é interrompido o processo de produção quando ocorre a interrupção de energia elétrica descrita no **Caso 4**?

segundos                      minutos                      horas

- 5) Para a ocorrência considerada no **Caso 4** após o restabelecimento da energia elétrica existe alguma atividade que se realize antes da retomada do processo de produção? (Exemplo: limpeza do maquinário do setor de produção devido às variações de energia elétrica).

- Não  
 Sim      Quanto tempo é utilizado para a realização dessa atividade?  
   segundos                      minutos                      horas

Descreva a atividade:

- 6) Estime a porcentagem da produção normal não produzida durante um desligamento no fornecimento de energia elétrica.

%

- 7) Considerando que a energia foi restabelecida e que a produção não foi retomada, estime a porcentagem da produção normal não produzida devido à ocorrência considerada no **Caso 4**.

%

- 8) Liste as linhas de produção da indústria que são sensíveis a essa interrupção de energia elétrica, e estime a porcentagem do custo da produção perdida de cada linha de produção em relação à produção perdida de todas as linhas de produção (porcentagem da questão 16 do item II) devido a essa interrupção de energia elétrica. Informe para cada linha de produção relacionada quais os equipamentos sensíveis a essa interrupção de energia elétrica (se possível forneça características dos equipamentos: fabricantes, capacidade de produção, curvas de sensibilidade, etc.).

Linhas de produção e respectivos equipamentos sensíveis à interrupção de energia elétrica descrita no <b>Caso 4</b> :	%Produção Perdida
1.	
2.	
3.	
4.	
5.	

- 9) Estime o valor anual da matéria-prima não utilizada devido a essa interrupção de energia elétrica.  
R\$
- 10) Estime o valor anual de material/produto que sofreu perda de qualidade e que pode ser re-aproveitável com a ocorrência da perturbação descrita no **Caso 4**. (Exemplos: sucata, materiais que servem para outros processos de produção, e materiais ou produtos manufaturados com nível de qualidade diminuída).  
R\$
- 11) Qual o custo anual estimado de substituição de matérias-primas estragadas, ou danificadas devido a essa interrupção de energia elétrica?  
R\$
- 12) Qual o custo anual estimado de substituição de equipamentos danificados devido a essa interrupção de energia elétrica? (Inclui o valor do equipamento e o frete do mesmo).  
R\$
- 13) Estime quanto de energia elétrica deixou de ser consumida durante a parada de produção devido à perturbação de energia elétrica descrita no **Caso 4**.  
kWh.
- 14) Existe equipamento que precise de mão-de-obra especializada para o reinício da produção após a ocorrência da interrupção de energia elétrica descrita no **Caso 4**? (Exemplo: programadores).  
 Não  
 Sim Estime o custo anual com esta mão-de-obra extra.  
R\$

15) As linhas de produção necessitam de limpeza devido à ocorrência dessa interrupção de energia elétrica?

Não

Sim Estime o custo anual devido a esta limpeza.

R\$

16) Estime o custo anual das vendas não realizadas devido à queda de produção causada pela interrupção de energia elétrica descrita no **Caso 4**.

R\$

17) Estime o valor anual de multas ou penalidades devido ao não cumprimento de contratos por causa dessa interrupção de energia elétrica.

R\$

**Caso 5** - Considere que houve uma interrupção de energia elétrica com a duração de 1 hora, em um dia de semana a partir das 2 horas da tarde, no período seco, com advertência ou notificação por parte da concessionária de energia elétrica 1 hora antes da ocorrência da interrupção prevista.

- 1) Estime a frequência anual de ocorrência do distúrbio descrito no **Caso 5** (Se a frequência de ocorrência é nula, por favor, passe para o próximo Estudo de Caso).

ocorrências/ano.

- 2) Estime a severidade da interrupção de energia elétrica de 1 hora, com advertência de 1 hora, na operação da indústria.

Gravidade da interrupção de energia elétrica do <b>Caso 5</b> na operação da indústria.				
Menos Severa	—————→			Extremamente Severa
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

- 3) Selecione a porcentagem que melhor representa a redução do processo de produção com a ocorrência dessa interrupção de energia elétrica.

- Zero, não há redução na produção.  
 Há uma redução de pelo menos 10%.  
 Há uma redução entre 11% e 25%.  
 Há uma redução entre 26% e 50%.  
 Há uma redução entre 51% e 75%.  
 Há uma redução entre 76% e 99%.  
 Há uma redução de 100%, todas as atividades são suspensas.

- 4) Por quanto tempo em média é interrompido o processo de produção quando ocorre a interrupção de energia elétrica descrita no **Caso 5**?

segundos                      minutos                      horas

- 5) Para a ocorrência considerada no **Caso 5** após o restabelecimento da energia elétrica existe alguma atividade que se realize antes da retomada do processo de produção? (Exemplo: limpeza do maquinário do setor de produção devido às variações de energia elétrica).

- Não  
 Sim      Quanto tempo é utilizado para a realização dessa atividade?

segundos                      minutos                      horas

Descreva a atividade:

- 6) Estime a porcentagem da produção normal não produzida durante um desligamento no fornecimento de energia elétrica.

%

- 7) Considerando que a energia foi restabelecida e que a produção não foi retomada, estime a porcentagem da produção normal não produzida devido à ocorrência considerada no **Caso 5**.

%

- 8) Liste as linhas de produção da indústria que são sensíveis a essa interrupção de energia elétrica, e estime a porcentagem do custo da produção perdida de cada linha de produção em relação à produção perdida de todas as linhas de produção (porcentagem da questão 16 do item II) devido a essa interrupção de energia elétrica. Informe para cada linha de produção relacionada quais os equipamentos sensíveis a essa interrupção de energia elétrica (se possível forneça características dos equipamentos: fabricantes, capacidade de produção, curvas de sensibilidade, etc.).

Linhas de produção e respectivos equipamentos sensíveis à interrupção de energia elétrica descrita no <b>Caso 5</b> :	%Produção Perdida
1.	
2.	
3.	
4.	
5.	

- 9) Estime o valor anual da matéria-prima não utilizada devido a essa interrupção de energia elétrica.  
R\$
- 10) Estime o valor anual de material/produto que sofreu perda de qualidade e que pode ser re-aproveitável com a ocorrência da perturbação descrita no **Caso 5**. (Exemplos: sucata, materiais que servem para outros processos de produção, e materiais ou produtos manufaturados com nível de qualidade diminuída).  
R\$
- 11) Qual o custo anual estimado de substituição de matérias-primas estragadas, ou danificadas devido a essa interrupção de energia elétrica?  
R\$
- 12) Qual o custo anual estimado de substituição de equipamentos danificados devido a essa interrupção de energia elétrica? (Inclui o valor do equipamento e o frete do mesmo).  
R\$
- 13) Estime quanto de energia elétrica deixou de ser consumida durante a parada de produção devido à perturbação de energia elétrica descrita no **Caso 5**.  
kWh.
- 14) Existe equipamento que precise de mão-de-obra especializada para o reinício da produção após a ocorrência da interrupção de energia elétrica descrita no **Caso 5**? (Exemplo: programadores).  
 Não  
 Sim    Estime o custo anual com esta mão-de-obra extra.  
R\$

15) As linhas de produção necessitam de limpeza devido à ocorrência dessa interrupção de energia elétrica?

Não

Sim Estime o custo anual devido a esta limpeza.

R\$

16) Estime o custo anual das vendas não realizadas devido à queda de produção causada pela interrupção de energia elétrica descrita no **Caso 5**.

R\$

17) Estime o valor anual de multas ou penalidades devido ao não cumprimento de contratos por causa dessa interrupção de energia elétrica.

R\$

**Caso 6** - Considere que houve uma interrupção de energia elétrica com a duração de 1 hora, em um dia de semana a partir das 2 horas da tarde, no período seco, com advertência ou notificação por parte da concessionária de energia elétrica 24 horas antes da ocorrência da interrupção prevista.

- 1) Estime a frequência anual de ocorrência do distúrbio descrito no **Caso 6** (Se a frequência de ocorrência é nula, por favor, desconsidere este Estudo de Caso).  
ocorrências/ano.
- 2) Estime a severidade da interrupção de energia elétrica de 1 hora, com advertência de 24 horas, na operação da indústria.

Gravidade da interrupção de energia elétrica do <b>Caso 6</b> na operação da indústria.				
Menos Severa				Extremamente Severa
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5

- 3) Selecione a porcentagem que melhor representa a redução do processo de produção com a ocorrência dessa interrupção de energia elétrica.
  - Zero, não há redução na produção.
  - Há uma redução de pelo menos 10%.
  - Há uma redução entre 11% e 25%.
  - Há uma redução entre 26% e 50%.
  - Há uma redução entre 51% e 75%.
  - Há uma redução entre 76% e 99%.
  - Há uma redução de 100%, todas as atividades são suspensas.
- 4) Por quanto tempo em média é interrompido o processo de produção quando ocorre a interrupção de energia elétrica descrita no **Caso 6**?  
                                  segundos                                   minutos                                   horas
- 5) Para a ocorrência considerada no **Caso 6** após o restabelecimento da energia elétrica existe alguma atividade que se realize antes da retomada do processo de produção? (Exemplo: limpeza do maquinário do setor de produção devido às variações de energia elétrica).
  - Não
  - Sim      Quanto tempo é utilizado para a realização dessa atividade?  
                                  segundos                                   minutos                                   horas
  - Descreva a atividade:
- 6) Estime a porcentagem da produção normal não produzida durante um desligamento no fornecimento de energia elétrica.  
%

- 7) Considerando que a energia foi restabelecida e que a produção não foi retomada, estime a porcentagem da produção normal não produzida devido à ocorrência considerada no **Caso 6**.  
%

- 8) Liste as linhas de produção da indústria que são sensíveis a essa interrupção de energia elétrica, e estime a porcentagem do custo da produção perdida de cada linha de produção em relação à produção perdida de todas as linhas de produção (porcentagem da questão 16 do item II) devido a essa interrupção de energia elétrica. Informe para cada linha de produção relacionada quais os equipamentos sensíveis a essa interrupção de energia elétrica (se possível forneça características dos equipamentos: fabricantes, capacidade de produção, curvas de sensibilidade, etc.).

Linhas de produção e respectivos equipamentos sensíveis à interrupção de energia elétrica descrita no <b>Caso 6</b> :	%Produção Perdida
1.	
2.	
3.	
4.	
5.	

- 9) Estime o valor anual da matéria-prima não utilizada devido a essa interrupção de energia elétrica.  
R\$
- 10) Estime o valor anual de material/produto que sofreu perda de qualidade e que pode ser re-aproveitável com a ocorrência da perturbação descrita no **Caso 6**. (Exemplos: sucata, materiais que servem para outros processos de produção, e materiais ou produtos manufaturados com nível de qualidade diminuída).  
R\$
- 11) Qual o custo anual estimado de substituição de matérias-primas estragadas, ou danificadas devido a essa interrupção de energia elétrica?  
R\$
- 12) Qual o custo anual estimado de substituição de equipamentos danificados devido a essa interrupção de energia elétrica? (Inclui o valor do equipamento e o frete do mesmo).  
R\$
- 13) Estime quanto de energia elétrica deixou de ser consumida durante a parada de produção devido à perturbação de energia elétrica descrita no **Caso 6**.  
kWh.

14) Existe equipamento que precise de mão-de-obra especializada para o reinício da produção após a ocorrência da interrupção de energia elétrica descrita no **Caso 6**? (Exemplo: programadores).

Não

Sim Estime o custo anual com esta mão-de-obra extra.

R\$

15) As linhas de produção necessitam de limpeza devido à ocorrência dessa interrupção de energia elétrica?

Não

Sim Estime o custo anual devido a esta limpeza.

R\$

16) Estime o custo anual das vendas não realizadas devido à queda de produção causada pela interrupção de energia elétrica descrita no **Caso 6**.

R\$

17) Estime o valor anual de multas ou penalidades devido ao não cumprimento de contratos por causa dessa interrupção de energia elétrica.

R\$