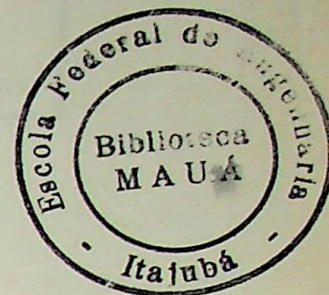


TESE

567

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO



CUSTOS DAS INTERRUPÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA:
ESTADO-DA-ARTE E APLICAÇÃO AO PLANEJAMENTO
DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

CARLOS CÉSAR XAVIER DOS SANTOS

Orientador: Prof. Dr. Renato de Aquino Faria Nunes

Co-Orientador: Prof. Hector Arango

Itajubá - MG

1988

CLASS. 621.316.003.12:621.315 (043.2)

CUTTER. S.237c

TOMBO. 567

EFEI / BIBLIOTECA

ESTE PERIÓDICO DEVE SER DEVOLVIDO
NA ÚLTIMA DATA CARIMBADA

| | | |
|----------|---------|--|
| 10.4.90 | 17.8.99 | |
| 30.8.90 | | |
| 7/9/90 | | |
| 120/9/90 | | |
| 27.9.90 | | |
| 04/10/90 | | |
| 17/10/90 | | |
| 10/04/92 | | |
| 21.4.92 | | |
| 06.5.92 | | |
| 15/5/92 | | |
| 70.9.92 | | |
| 30.9.92 | | |
| 30/10/92 | | |
| 12.11.92 | | |
| 02.12.92 | | |
| 05.11.93 | | |
| 12.11.93 | | |
| 19.11.93 | | |
| 26.11.93 | | |
| 26/02/98 | | |

RESUMO

As empresas concessionárias de energia elétrica, em face das condições atuais de falta de recursos destinados ao se tor elétrico e da tendência de elevação dos custos de expansão dos sistemas de geração, transmissão e distribuição, têm se preo cupado, mais recentemente, em planejar tais sistemas buscando uma solução de custo global mínimo para a sociedade. Este custo global envolve não apenas os custos de implantação, operação e manutenção dos sistemas, que já são usualmente considerados nas análises econômicas tradicionais, mas também os custos decorren tes das imperfeições do serviço fornecido aos consumidores.

De acordo com esta nova filosofia, o nível de confia bilidade que o sistema deve possuir não é fixado a priori. O desempenho do sistema será aquele resultante da adoção da políti ca de custos globais mínimos, e os indicadores de confiabilidade resultantes serão, então, chamados de ótimos.

Este trabalho tem por finalidade apresentar uma análi se crítica, tipo estado-da-arte, das principais metodologias pro postas na literatura especializada para o cálculo dos custos das interrupções de energia elétrica, procurando verificar a sua a plicabilidade ao planejamento de sistemas de distribuição.

A dificuldade na determinação dos custos das inter rupções, principal responsável pela sua ainda incipiente utiliza ção no planejamento de sistemas de distribuição, reside na gran de diversidade de consumidores atendidos por tais sistemas e das diferentes sensibilidades dos mesmos em relação às interrupções de energia elétrica. Neste trabalho, procurou-se estudar como as diferentes classes de consumidores reagem frente a interrup ções de energia elétrica e quais os prejuízos que delas podem re sultar.

O trabalho apresenta ainda dois exemplos de aplicação

dos custos das interrupções, utilizando, para tanto, uma metodo
logia de planejamento agregado de sistemas de distribuição.

Por fim, apresentam-se as principais conclusões e algumas
sugestões para trabalhos futuros.

AGRADECIMENTOS

Muitas foram as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para este trabalho. Não posso deixar de agradecer a todos os que me ajudaram, especialmente ao Prof. Dr. Roberto de Almeida, meu orientador, e ao Prof. Dr. João de Almeida, meu revisor.

Devo também ao Prof. Dr. Roberto de Almeida, meu orientador, por sua orientação e apoio, e ao Prof. Dr. João de Almeida, meu revisor, por sua revisão e sugestões.

Devo também ao Prof. Dr. Roberto de Almeida, meu orientador, por sua orientação e apoio, e ao Prof. Dr. João de Almeida, meu revisor, por sua revisão e sugestões.

Devo também ao Prof. Dr. Roberto de Almeida, meu orientador, por sua orientação e apoio, e ao Prof. Dr. João de Almeida, meu revisor, por sua revisão e sugestões.

Devo também ao Prof. Dr. Roberto de Almeida, meu orientador, por sua orientação e apoio, e ao Prof. Dr. João de Almeida, meu revisor, por sua revisão e sugestões.

Aos meus pais e irmãos

Aos meus amigos

AGRADECIMENTOS

Muitas foram as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho pudesse ser concluído. Agradecer nominalmente a todos seria muito difícil, existindo sempre a possibilidade de que alguma pessoa pudesse ser involuntariamente esquecida. No entanto, não podemos deixar de manifestar nos sos mais sinceros agradecimentos:

- . Ao Prof. Dr. Renato de Aquino Faria Nunes, que ao longo do desenvolvimento desta dissertação dedicou um número incontável de horas a nossa orientação, de uma forma segura e estimulante, demonstrando sempre enorme paciência, atenção e companheirismo.
- . Ao Prof. Hector Arango, nosso co-orientador, por suas sempre valiosas observações.
- . Aos Profs. Dr. Júlio César Tibúrcio e Hector Gustavo Arango, que muito nos auxiliaram com suas sugestões.
- . Aos Departamentos de Gestão Empresarial e de Planejamento e Engenharia da Distribuição da ELETROBRÁS, pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho e pelo financiamento da realização de estágios nas seguintes empresas concessionárias de energia elétrica: CEAL, CELPA, CELPE, CEMIG, CESP, COELBA, COPEL, CPFL, ELETRONORTE-SEEM, ELETROPAULO e LIGHT. A estas empresas e aos seus engenheiros e técnicos, nosso reconhecimento.
- . À Escola Federal de Engenharia de Itajubá, que nos recebeu e que colocou à nossa disposição todos os recursos necessários à execução desta dissertação. Agradecemos também a todos os seus funcionários que sempre nos atenderam com simpatia e cordialidade.

- . A Engª Margarida Hiroko Homi, pelo apoio constante e pelas sugestões e discussões que enriqueceram este trabalho.
- . A Srtª Claudete Coli Junqueira, pelo paciente e cuidadoso trabalho de datilografia.

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

| | |
|--|----|
| 1.1 - Considerações Preliminares | 1 |
| 1.2 - A importância das interrupções para a produção e o custo total | 2 |
| 1.3 - Métodos de estimativa dos custos das interrupções | 3 |
| 1.3.1 - A questão do custo implícito das interrupções | 11 |
| 1.3.2 - Estrutura da Estrutura de Dispersão | 13 |

CAPÍTULO II - CÁLCULO DOS CUSTOS DAS INTERRUPÇÕES ATRAVÉS DE MÉTODOS GLOBAIS

| | |
|---|----|
| 2.1 - Introdução | 15 |
| 2.2 - Análise das metodologias globais para o cálculo dos custos das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1 - Análise dos custos das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.1 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.2 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.3 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.4 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.5 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.6 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.7 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.8 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.9 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.10 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.11 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.12 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.13 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.14 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.15 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.16 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.17 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.18 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.19 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.20 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.21 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.22 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.23 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.24 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.25 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.26 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.27 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.28 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.29 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.30 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.31 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.32 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.33 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.34 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.35 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.36 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.37 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.38 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.39 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.40 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.41 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.42 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.43 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.44 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.45 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.46 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.47 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.48 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.49 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |
| 2.2.1.50 - Análise do custo das interrupções em fábricas | 15 |

CONTEÚDO

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

| | |
|--|----|
| 1.1 - Considerações Preliminares | 1 |
| 1.2 - Natureza dos Prejuízos Provocados pela Imperfeição no Fornecimento de Energia Elétrica e Custos das Interrupções | 5 |
| 1.2.1 - Métodos de estimação dos custos das interrupções | 8 |
| 1.2.2 - A noção do custo implícito das interrupções | 11 |
| 1.3 - Objetivos e Estrutura da Dissertação | 13 |

CAPÍTULO II - CÁLCULO DOS CUSTOS DAS INTERRUPÇÕES ATRAVÉS DE MÉTODOS GLOBAIS

| | |
|--|----|
| 2.1 - Introdução | 15 |
| 2.2 - Análises das Metodologias Globais para o Cálculo dos Custos das Interrupções ou Restrições | 15 |
| 2.2.1 - Cálculo dos custos das interrupções ou restrições via relação entre valor da produção e consumo de energia elétrica correspondente | 16 |
| 2.2.1.1 - Shipley et alii | 16 |
| 2.2.1.2 - Telson | 17 |
| 2.2.1.3 - Estudo realizado em Taiwan | 18 |
| 2.2.1.4 - Estudo realizado na Jamaica | 19 |
| 2.2.1.5 - Carrillo e Campero | 20 |
| 2.2.1.6 - Trabalhos realizados no Brasil (Erlich et alii, Furnas e Schneider et alii) | 21 |

| | |
|---|----|
| 2.2.2 - Cálculo dos custos das interrupções ou restrições via Matriz Insumo-Produto | 24 |
| 2.2.2.1 - Jaramillo e Skoknic | 25 |
| 2.2.2.2 - Carrillo e Campero | 29 |
| 2.2.2.3 - Trabalhos realizados no Brasil (Erlich et alii, Furnas, d'Araújo et alii e Schneider et alii) | 38 |
| 2.3 - Conclusões | 43 |
| CAPÍTULO III - CÁLCULO DOS CUSTOS DAS INTERRUPÇÕES PARA OS CONSUMIDORES RESIDENCIAIS ATRAVÉS DE MÉTODOS ESPECÍFICOS | |
| 3.1 - Introdução | 48 |
| 3.2 - Análise das Metodologias para o Cálculo dos Custos das Interrupções para os Consumidores Residenciais | 49 |
| 3.2.1 - Cálculo dos custos das interrupções para os consumidores residenciais através de análises teóricas | 50 |
| 3.2.1.1 - Sheppard | 50 |
| 3.2.1.2 - Estudo realizado na Suécia | 51 |
| 3.2.1.3 - Jaramillo e Skoknic | 57 |
| 3.2.1.4 - Munasinghe | 58 |
| 3.2.2 - Cálculo dos custos das interrupções para os consumidores residenciais através de pesquisas diretas | 72 |
| 3.2.2.1 - Pesquisa realizada no Canadá (Wacker, Wojczynski e Billinton; Billinton, Wacker e Subramaniam) | 72 |
| 3.2.2.2 - Gutierrez | 81 |
| 3.3 - Conclusões | 82 |

CAPÍTULO IV - CÁLCULO DOS CUSTOS DAS INTERRUPÇÕES PARA OS CONSUMIDORES INDUSTRIAIS ATRAVÉS DE MÉTODOS ESPECÍFICOS

| | |
|---|-----|
| 4.1 - Introdução | 88 |
| 4.2 - Análise das Metodologias para o Cálculo dos Custos das Interrupções para os Consumidores Industriais | 88 |
| 4.2.1 - Cálculo dos custos das interrupções para os consumidores industriais através da valorização da mão-de-obra ociosa | 89 |
| 4.2.2 - Cálculo dos custos das interrupções para os consumidores industriais através de pesquisas diretas | 90 |
| 4.2.2.1 - Dickinson | 90 |
| 4.2.2.2 - Pesquisa realizada na Suécia | 91 |
| 4.2.2.3 - Pesquisa realizada pelo IEEE | 93 |
| 4.2.2.4 - Pesquisa realizada na Grã-Bretanha (Jackson e Salvage) | 96 |
| 4.2.2.5 - Pesquisa realizada no Canadá (Mackay e Berk) | 99 |
| 4.2.2.6 - Pesquisa realizada no Canadá (Wojczynski, Billinton e Wacker; Subramaniam, Billinton e Wacker) | 102 |
| 4.2.2.7 - Munasinghe | 107 |
| 4.3 - Conclusões | 117 |

CAPÍTULO V - CÁLCULO DOS CUSTOS DAS INTERRUPÇÕES PARA OS CONSUMIDORES COMERCIAIS ATRAVÉS DE MÉTODOS ESPECÍFICOS

| | |
|---|-----|
| 5.1 - Introdução | 121 |
| 5.2 - Análise das Metodologias para o Cálculo dos Custos das Interrupções para os Consumidores Comerciais | 122 |
| 5.2.1 - Cálculo dos custos das interrupções para os | |

| | |
|---|-----|
| consumidores comerciais através da valoriza ção da mão-de-obra ociosa | 122 |
| 5.2.2 - Cálculo dos custos das interrupções para os consumidores comerciais através da equivalên cia com os consumidores residenciais | 123 |
| 5.2.2.1 - Jaramillo e Skoknic | 123 |
| 5.2.2.2 - Gutierrez | 124 |
| 5.2.3 - Cálculo dos custos das interrupções para os consumidores comerciais através de pesquisas diretas | 126 |
| 5.2.3.1 - Pesquisa realizada na Suécia | 126 |
| 5.2.3.2 - Pesquisa realizada pelo IEEE | 127 |
| 5.2.3.3 - Pesquisa realizada no Canadá (Wojczynski, Billinton e Wacker; Billinton, Wacker e Subramaniam) | 130 |
| 5.3 - Conclusões | 134 |
| CAPÍTULO VI - CÁLCULO DOS CUSTOS DAS INTERRUPÇÕES PARA OU TROS CONSUMIDORES ATRAVÉS DE MÉTODOS ESPECÍ FICOS | |
| 6.1 - Introdução | 138 |
| 6.2 - Consumidores Rurais | 138 |
| 6.3 - Hospitais e Similares | 141 |
| 6.4 - Iluminação Pública | 143 |
| 6.5 - Repartições Públicas e Similares (Prefeituras, Órgãos de Serviço e Administração) | 144 |
| 6.6 - Escolas e Universidades | 144 |
| 6.7 - Instalações Portuárias e Serviços de Transporte | 145 |
| 6.8 - Conclusões | 145 |

CAPÍTULO VII - APLICAÇÃO A UM MODELO DE PLANEJAMENTO AGREGADO

| | |
|---|-----|
| 7.1 - Introdução | 147 |
| 7.2 - Descrição do Modelo de Planejamento Considerado e Modificações Propostas | 147 |
| 7.2.1 - Descrição do modelo adotado para a rede primária e subestação de distribuição | 149 |
| 7.2.2 - Cálculo dos indicadores de confiabilidade do sistema | 150 |
| 7.2.3 - Cálculo dos índices FEC e DEC para o sistema | 156 |
| 7.3 - Aplicação do Cálculo dos Custos das Interrupções ao Modelo de Planejamento Agregado | 160 |
| 7.3.1 - Dados da subestação | 161 |
| 7.3.2 - Dados de confiabilidade | 164 |
| 7.3.3 - Funções custos das interrupções | 165 |
| 7.3.3.1 - Consumidores residenciais | 165 |
| 7.3.3.2 - Consumidores industriais | 166 |
| 7.3.3.3 - Consumidores comerciais | 166 |
| 7.3.3.4 - Consumidores rurais | 166 |
| 7.3.3.5 - Outros consumidores | 166 |
| 7.3.4 - Custos médios das interrupções por tipo de consumidor | 166 |
| 7.3.5 - Função equivalente dos custos das interrupções | 169 |
| 7.3.6 - Cálculo dos custos totais das interrupções por alimentador | 172 |
| 7.3.7 - Escolha da melhor configuração para os alimentadores da subestação | 175 |
| 7.3.7.1 - Análise de sensibilidade | 178 |
| 7.3.8 - Escolha do número ótimo de alimentadores para a subestação | 181 |
| 7.4 - Conclusões | 185 |

| | |
|---|-----|
| CAPÍTULO VIII - CONCLUSÕES FINAIS | 188 |
| ANEXO I - MATRIZ INSUMO-PRODUTO | 193 |
| ANEXO II - TEORIA DO CONSUMIDOR E O CASO SIMPLES DA ESCOLHA ENTRE TRABALHO E LAZER | 200 |
| ANEXO III - PROPOSTAS DE QUESTIONÁRIOS PARA O CÁLCULO DOS CUSTOS DAS INTERRUPÇÕES | 210 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 242 |

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1 - Considerações Preliminares

Nos últimos anos a energia elétrica tem alcançado uma penetração crescente nos diversos setores da sociedade, mobilizando grandes recursos destinados não só aos investimentos necessários à implantação dos sistemas de produção, transmissão e distribuição desta energia aos consumidores, mas também à operação e manutenção de tais sistemas.

A experiência demonstra também que estes sistemas têm se tornado cada vez mais complexos, levando os setores de planejamento das empresas concessionárias de energia elétrica a desenvolverem técnicas de planejamento, projeto, análise, acompanhamento e operação cada vez mais sofisticadas.

O principal objetivo de uma empresa concessionária de energia elétrica é atender, com custo mínimo, os seus consumidores, no momento e no local desejados, assegurando-lhes um nível aceitável de continuidade e qualidade de serviço.

Ainda que muitos consumidores o desejem, é impossível, ou pelo menos extremamente caro, construir e operar um sistema elétrico completamente confiável. Isto porque a manutenção de um dado nível de confiabilidade requer que sejam realizados investimentos correspondentes nos setores de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Quanto maior o nível de confiabilidade a ser mantido, maiores serão os investimentos necessários.

Assim, os consumidores estarão sempre sujeitos a perturbações no seu suprimento de eletricidade, seja através de reduções de tensão, seja através de cortes totais ou parciais neste suprimento.

As empresas concessionárias encontram-se, então, per

manentemente, perante um dilema: aumentar os investimentos no sistema a fim de elevar ou manter o nível de confiabilidade oferecido, ou diminuir os investimentos a serem realizados permitindo que os consumidores fiquem sujeitos a perturbações mais frequentes no seu suprimento de energia elétrica.

Estas perturbações podem resultar em prejuízos ou incômodos aos consumidores, principalmente na ocorrência de interrupções no fornecimento de energia elétrica, de modo que as empresas concessionárias buscam manter o nível de confiabilidade do sistema o mais alto possível.

O projeto e o planejamento tradicional dos sistemas elétricos de potência têm-se baseado no princípio da minimização dos custos de suprimento requeridos para atender uma certa carga com um dado nível de confiabilidade, julgado adequado às necessidades dos consumidores, sendo este nível usualmente definido através das experiências passadas das próprias empresas ou de outras localizadas no mesmo país ou no exterior. (1,2,3,4,5)

No Brasil, a preocupação de que seja assegurado pelas empresas concessionárias um nível satisfatório de confiabilidade aos consumidores de energia elétrica, fez com que o DNAEE publicasse em 1978 a Portaria 046/78⁽⁶⁾ que estipula o valor máximo para a frequência e duração das interrupções de energia elétrica aos consumidores servidos por sistemas de distribuição. Esta Portaria define dois índices:

- . FEC - frequência equivalente de interrupção por consumidor.
- . DEC - duração equivalente de interrupção por consumidor.

Uma portaria paralela do DNAEE, a Portaria 047/78⁽⁷⁾, publicada no mesmo ano, define os limites de variação das tensões que, em geral, devem ser obedecidos pelas concessionárias de energia elétrica.

O Comitê de Distribuição da ELETROBRÁS (CODI)⁽⁸⁾, por sua vez, estabeleceu a adoção de índices de referência para a frequência e duração das interrupções (FEC e DEC), diferenciados segundo os tipos de localidades ou zonas típicas de mercado. Estas localidades ou zonas típicas de mercado foram divididas em seis tipos distintos, e, para cada um destes tipos, foi estabelecida uma escala de 1 a 4 para os graus de continuidade:

- . Grau 1: É um valor que, atingido, dispensa obras destinadas

das a melhorar a continuidade de fornecimento, de vendo ser considerado, portanto, como condição i deal.

- . Grau 2: Significa que o sistema, apesar de atender satisfa toriamente os consumidores, ainda admite obras de melhoria e/ou aprimoramento dos recursos de opera ção.
- . Grau 3: Por este grau define-se o valor mínimo de qualidade admissível para cada tipo de localidade. O sistema com tal característica necessita melhoramentos.
- . Grau 4: Define uma condição indesejável e que demanda melho rias, estando o sistema abaixo do nível mínimo exi gido pela Portaria 046/78 do DNAEE.

Estes valores devem ser usados como referência no processo de planejamento (vide Tabela 1.2 de CODI⁽⁸⁾).

Considerando também que os processos de produção, ou as atividades dos consumidores, são, de um modo geral, dependen tes do grau de continuidade do fornecimento de energia elétr ica, o CODI⁽⁸⁾ procurou classificar os diferentes consumidores segundo uma escala decrescente de prioridades, de A a D, no que respeita ao atendimento destes consumidores em situações de emer gência.

Os métodos de planejamento usualmente utilizados, ba seados em análises e critérios determinísticos, vêm sendo substi tui dos ou aperfeiçoados nos últimos tempos pela introdução, de maneira gradativa, de metodologias probabilísticas que permitem modelar de forma mais coerente o comportamento futuro dos compo nen tes e dos sistemas. No entanto, o nível de confiabilidade a ser alcançado continua sendo definido com base na experiência e no comportamento passado dos sistemas. (3,4,9)

Mais recentemente, o setor elétrico começa a assis tir e a patrocinar um debate orientado no sentido de definir qual o nível de confiabilidade mais adequado para um determinado sistema. No caso do sistema elétrico brasileiro, tal definição torna-se tanto mais importante quanto mais fortes forem as res trições financeiras impostas ao setor.

Por tal motivo, um novo enfoque tem sido procurado,

onde considerações quanto ao custo de se manter um determinado nível de confiabilidade, ou custo da confiabilidade, e quanto ao benefício proporcionado por tal nível, ou valor da confiabilidade, possam ser convenientemente incorporados na análise econômica a ser realizada. (3,4,5,10,11)

O que se procura com este novo procedimento é reconhecer que o nível de confiabilidade é uma variável que também deve ser explicitamente considerada na determinação da configuração do sistema de custo total mínimo.

A Figura 1.1 ilustra esquematicamente esta situação. Nesta figura, R representa um indicador de confiabilidade, C o custo total associado a uma certa configuração, C_{SIST} o custo de implantação, operação e manutenção dessa configuração e C_{CONS} o custo associado aos prejuízos, sofridos pelos consumidores, devido à imperfeição do fornecimento de energia elétrica oferecida pela referida configuração.

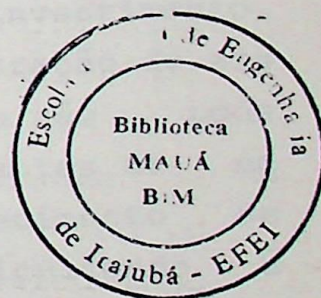
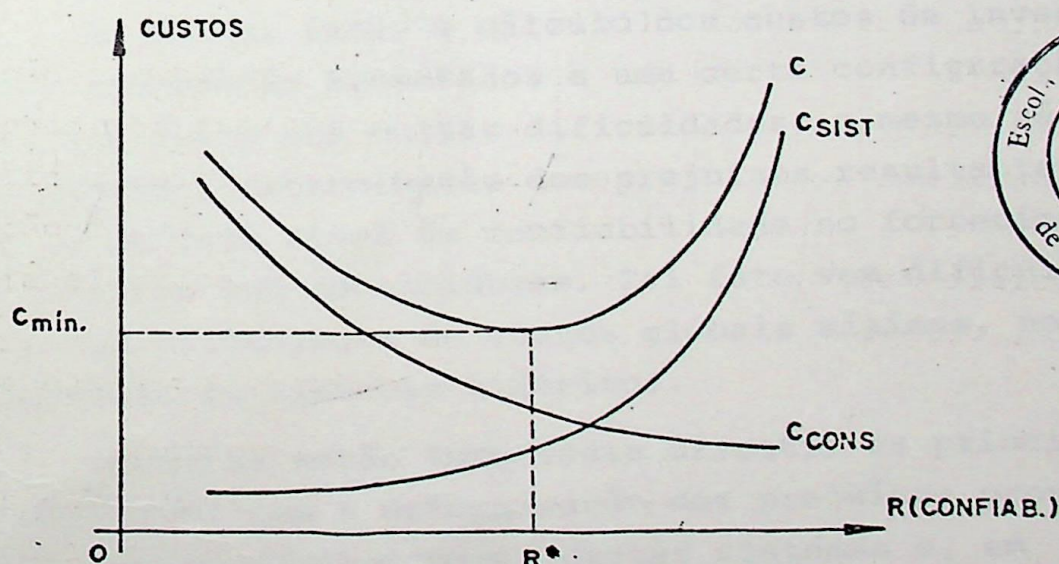


Figura 1.1 - Relação entre confiabilidade e custos

Tal como já referido anteriormente, esta figura mostra que, em geral, à medida que a confiabilidade aumenta o custo do sistema a ser implantado também aumenta, enquanto o custo correspondente aos prejuízos sofridos pelos consumidores se reduz.

O custo total, por sua vez, atinge um mínimo quando a confiabilidade for igual a R^* , correspondendo ao ponto onde o acréscimo marginal no investimento a ser realizado é exatamente igual à redução nos prejuízos dos consumidores, admitindo-se, neste caso, que a demanda permanece inalterada face a modificações nos níveis de confiabilidade. ⁽³⁾

Nota-se que nesta abordagem não se faz qualquer imposição, a priori, quanto ao nível de confiabilidade que o sistema deve satisfazer, sendo então possível dois sistemas diferentes possuírem níveis ótimos de confiabilidade também diferentes.

Abandona-se também, com esta abordagem, o planejamento feito somente segundo a ótica da concessionária, que busca reduzir, sempre que possível, os seus custos, considerando-se agora as necessidades dos próprios consumidores de uma maneira muito mais realista do que aquela usualmente utilizada pelas metodologias tradicionais ora disponíveis.

Porém, uma dificuldade deve ser vencida: a determinação dos prejuízos sofridos pelos consumidores devido à confiabilidade do serviço oferecido aos mesmos.

Se por um lado, o cálculo dos custos de investimento, operação e manutenção associados a uma certa configuração do sistema pode ser feito sem muitas dificuldades, o mesmo não pode ser dito quanto à determinação dos prejuízos resultantes da manutenção de um dado nível de confiabilidade no fornecimento de energia elétrica aos consumidores. Tal fato vem dificultando a adoção de uma metodologia de custos globais mínimos, no âmbito do planejamento de sistemas elétricos.

Torna-se então importante discutir os principais aspectos envolvidos com a determinação dos prejuízos provocados pela imperfeição do funcionamento destes sistemas e, em particular, aqueles ocasionados por interrupções inesperadas no fornecimento de energia elétrica aos consumidores.

1.2 - Natureza dos Prejuízos Provocados pela Imperfeição no Fornecimento de Energia Elétrica e Custos das Interrupções

Os prejuízos provocados pelo funcionamento inadequado dos sistemas elétricos de potência podem ser separados em duas partes: uma correspondente aos prejuízos vistos pelas próprias

empresas concessionárias e a outra correspondente aos prejuízos vistos pelos consumidores.

A primeira parcela inclui, entre outras: (12)

- . A perda de faturamento devido à energia não distribuída durante as interrupções no fornecimento de eletricidade aos consumidores.
- . A perda de boa vontade por parte dos consumidores.
- . A perda de futuras vendas devido a reações adversas dos consumidores.
- . As perdas resultantes de gastos adicionais, incorridos com ações de manutenção e reparo.

A parcela correspondente aos prejuízos vistos pelos consumidores inclui, entre outros: (12)

- . Os prejuízos impostos às indústrias devido à perda de produção, matérias-primas estragadas, danos em equipamentos e manutenção extra.
- . Os prejuízos impostos aos consumidores residenciais devido à perda de produtos alimentícios mantidos sob refrigeração, gastos adicionais com aquecimento e iluminação, interferências nas atividades domésticas e de lazer.
- . A redução no volume de vendas e interferência nas atividades administrativas para os consumidores comerciais.
- . Quaisquer outros prejuízos vistos pelos diferentes tipos de consumidores atendidos na área de concessão da empresa concessionária.

Os custos vistos pela concessionária são, de uma maneira geral, bastante inferiores aos custos vistos pelos consumidores, a ponto de serem normalmente desprezados. (12)

Por outro lado, e como se observa pelo exposto acima, os custos vistos pelos consumidores são da mais diversa natureza, podendo atingir valores significativos.

Ainda que os prejuízos sofridos pelos consumidores possam ser ocasionados tanto por interrupções totais ou parciais, inesperadas ou não, no fornecimento de energia elétrica, quanto por variações de tensão ou frequência, bem como por quaisquer outros motivos, os prejuízos que se verificam com a

ocorrência de interrupções inesperadas são, na maioria dos ca sos, superiores aos demais.

Deste modo, procurou-se delimitar o desenvolvimento desta dissertação apenas à análise dos efeitos e prejuízos asso ciados às interrupções inesperadas de energia elétrica, deixando para trabalhos futuros a consideração de outros aspectos relacio nados com a imperfeição do serviço oferecido aos consumidores.

Na ocorrência de interrupções de energia elétrica, as reações e os prejuízos sofridos pelos diversos tipos de con sumidores dependem tanto das características dos próprios consu midores quanto das características das interrupções. Entre estas últimas, podem ser citadas: (13,14)

- . A frequência das interrupções.
- . A duração das interrupções.
- . O período do dia, o dia da semana e a estação do ano na qual a interrupção ocorre.
- . A razão aparente da interrupção: por causas naturais (chuvas fortes, terremotos, etc.) ou por falhas no funcionamento dos componentes do sistema elétrico da concessionária.
- . O número de consumidores atingidos pelas interrupções.

Como constatação convém mencionar, desde já, os resul tados obtidos, em 1960, por DeSalvo et alii⁽¹³⁾ através de uma pesquisa realizada na área de concessão de uma empresa de ener gia elétrica nos EUA sobre o ressentimento relativo provocado pe las interrupções, levando em consideração as suas característi cas. Para um conjunto envolvendo consumidores residenciais, in dustriais e comerciais, foram obtidas as seguintes conclu sões: (13,14)

- . O ressentimento é aproximadamente proporcional à frequência da interrupção, crescendo rapidamente para frequências supe riores a uma vez por ano.
- . O ressentimento é aproximadamente proporcional à duração, mas começa a crescer rapidamente após 6 horas e multiplica-se mais rapidamente quando uma interrupção atinge 24 horas de duração.
- . Interrupções durante a noite, das 18:00 às 23:00 horas, cau sam um ressentimento duas vezes e meia superior ao ressenti

mento indicado para o período das 7:00 às 18:00 horas. Interrupções entre as 23:00 e às 7:00 horas causam, no entanto, somente um terço de ressentimento referente ao período das 7:00 às 18:00 horas.

- . Interrupções durante o verão e o inverno provocam, respectivamente, ressentimentos duplos e quíntuplos em relação àqueles observados para o outono e primavera.
- . Interrupções que ocorrem sem motivo aparente produzem três vezes mais ressentimento do que interrupções provocadas por causas naturais.
- . O ressentimento indicado pelos consumidores é relativamente independente da quantidade de carga interrompida no sistema, até que se atinja uma carga igual a 10 MW.

Como ressaltado nos parágrafos anteriores, a tarefa de determinar, sob o ponto de vista econômico, os prejuízos sofridos pelos consumidores por causa de interrupções de energia elétrica, é bastante complexa e merece, pela sua importância, uma atenção especial.

Um dos trabalhos pioneiros nesta área foi realizado na Suécia, em 1948⁽⁹⁾, cabendo também a este mesmo país publicar em 1969 os resultados da primeira pesquisa importante e de caráter amplo, sobre custos das interrupções, a qual⁽¹⁵⁾ lançava mão de metodologias específicas para cada um dos diferentes tipos de consumidores existentes num sistema elétrico.

Desde a publicação do primeiro trabalho referido acima, o número de publicações relacionadas com o tema vem crescendo substancialmente no exterior^(9,16,17) e, mais recentemente, também no Brasil⁽¹⁸⁻²⁵⁾, tendo surgido ao longo deste período diversas metodologias voltadas para o cálculo dos custos das interrupções.

A análise das diferentes metodologias propostas constitui o principal objetivo desta dissertação.

1.2.1 - Métodos de Estimação dos Custos das Interrupções

Considerando os diversos trabalhos que se encontram envolvidos, de um modo ou de outro, com a determinação dos custos das interrupções, é possível distinguir duas abordagens dis

tintas: a primeira estima estes custos com base na disposição-a-pagar manifestada pelos consumidores quanto ao seu consumo (planejado) de energia elétrica e a segunda baseia-se na avaliação dos efeitos das interrupções no processo de produção dos diferentes tipos de consumidores que são afetados por tais ocorrências. (3,5,26)

Na abordagem via disposição-a-pagar, a eletricidade é vista como um bem que fornece satisfação direta aos consumidores, e o custo de uma dada interrupção é obtido através da correspondente redução no excedente-do-consumidor. (3,5,26,27)

Este excedente-do-consumidor é igual à área sob a curva preço x demanda de eletricidade, menos o valor economizado correspondente ao consumo não concretizado durante a interrupção. A Figura 1.2 mostra uma curva típica de preço x demanda. Para uma interrupção que corresponda a uma redução no consumo igual a ΔQ , a área do triângulo ABC é o excedente-do-consumidor procurado. Nesta figura, \bar{p} é o preço da energia elétrica fornecida ao consumidor e Q_1 é a quantidade de eletricidade que seria por ele consumida normalmente, sem a interrupção.

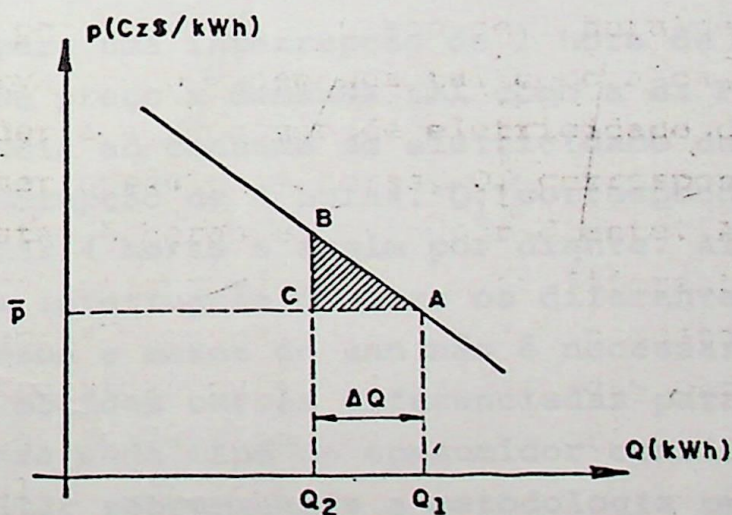


Figura 1.2 - Curva preço x demanda de energia elétrica e excedente-do-consumidor perdido devido a uma interrupção.

Como principais dificuldades que se apresentam para a utilização desta abordagem na estimativa dos custos das interrupções, podem ser citadas as seguintes: (3,5)

. A disposição-a-pagar manifestada pelo consumidor com rela

ção ao seu consumo planejado de energia elétrica, não é necessariamente igual à sua disposição-a-pagar para impedir uma interrupção inesperada no seu suprimento de eletricidade.

- Uma interrupção pode afetar, ou mesmo paralisar, atividades que utilizam a eletricidade como um insumo em seus processos de produção, resultando em prejuízos que devem ser considerados na determinação dos custos das interrupções.
- Esta abordagem requer que as curvas preço x demanda para os diversos tipos de consumidores sejam conhecidas de forma bastante precisa a fim de que possam ser obtidas as melhores estimativas para os custos das interrupções. No entanto, a obtenção destas curvas é bastante difícil e sujeita a erros consideráveis.

Sanghvi⁽¹⁷⁾ argumenta que para uma utilização correta dos custos das interrupções, calculados através da abordagem via excedente-do-consumidor, as curvas preço x demanda não devem corresponder ao comportamento relativo ao consumo planejado de eletricidade baseado num período de estudo superior à própria duração da interrupção, mas sim em curvas estimadas para o próprio período da interrupção (curto prazo).

Assim, para uma interrupção de 1 hora de duração, deve ser obtida uma curva preço x demanda tal como a da Figura 7.2, onde Q_1 corresponderia ao consumo de eletricidade durante esta hora; para uma interrupção de 4 horas, Q_1 corresponderia ao consumo relativo a estas 4 horas e assim por diante. Além disso, como o impacto de uma interrupção durante os diferentes períodos do dia, dias da semana e meses do ano não é necessariamente o mesmo, deverão ser obtidas curvas diferenciadas para cada um destes períodos, para cada tipo de consumidor considerado. Este fato parece dificultar sobremaneira a metodologia proposta.

Na segunda abordagem para o cálculo dos custos das interrupções, a energia elétrica é considerada como mais um dos muitos insumos usados pelos diferentes consumidores em seus processos de produção de bens, serviços e lazer. A ocorrência de uma interrupção inesperada de energia elétrica poderá afetar este fluxo de produção e os prejuízos advindos da perda de produção, de danos em matérias-primas e da ociosidade forçada da mão-de-obra, entre outros, para os consumidores industriais; da

da de vendas para os consumidores comerciais e a impossibilidade de realização de atividades de lazer para os consumidores residenciais, por exemplo, comporão os respectivos custos das interrupções procurados.

Pelo que se pode observar sobre estas duas abordagens, a segunda mostra-se muito mais adequada ao cálculo dos custos das interrupções inesperadas no fornecimento de energia elétrica aos consumidores do que a primeira ^(3,5), e por este motivo nela se encontra baseado o desenvolvimento desta dissertação.

1.2.2 - A noção do custo implícito das interrupções

Considerando que a avaliação direta, junto aos próprios consumidores, dos prejuízos provocados por interrupções de energia elétrica, bem como por variações de tensão e frequência, é uma tarefa bastante difícil, surgiu por parte de algumas empresas concessionárias no exterior (particularmente na França e no Reino Unido) a preocupação de que a adoção de valores inapropriados para estes custos poderia levar a um desenvolvimento do sistema que não seria satisfatório para a sociedade. (28,29,30)

Assim, procurou-se uma outra forma, simplificada, de se determinar o benefício associado à execução de uma determinada obra, permitindo ao planejador verificar se a mesma é ou não justificável sob o ponto de vista da concessionária e do consumidor.

Nesta metodologia simplificada, calcula-se, para uma dada obra, um custo para as interrupções que, implicitamente, seja capaz de justificar o investimento, I , necessário. Se esta obra possibilita que a quantidade de energia elétrica não suprida aos consumidores seja reduzida de um valor igual a ΔW , em KWh, o custo implícito das interrupções, α , em Cz\$/KWh, pode ser então calculado como: (5,28-33)

$$\alpha = \frac{I}{\Delta W} \quad (1.1)$$

Este custo implícito, como se observa pela equação anterior, pode ser interpretado, então, como o custo do investimento associado ao KWh adicional não interrompido devido à execução da obra em questão.

Por exemplo, para o caso onde se estuda a validade de se adiar, ou não, por um ano, um dado reforço no sistema, pode-se escrever que: (12,30,32)

$$\alpha = \frac{C_a + C_m - C_s}{\Delta W} \quad (1.2)$$

onde:

- C_a - diferença entre o investimento necessário à execução do reforço no ano em estudo e o investimento necessário se o mesmo é adiado por um ano, em Cz\$
- C_m - custos anuais extras devidos à manutenção, operação e outros gastos adicionais ligados ao adiamento do reforço, em Cz\$
- C_s - valor correspondente à redução nas perdas do sistema e nos custos de geração devido ao reforço, em Cz\$

O parâmetro α é calculado para quantificar os benefícios de uma certa alternativa no que diz respeito a energia não interrompida associada a esta alternativa.

Se a empresa concessionária consegue estabelecer (externamente) um custo implícito de referência, α_{REF} , que assegure um nível ótimo de confiabilidade para o sistema (onde o investimento adicional é igual ao benefício proporcionado aos consumidores), tal como o valor R^* mencionado no item 1.1, existe então um critério para indicar se uma obra é ou não justificável do ponto de vista da sociedade: se o custo implícito calculado para a obra em questão, segundo a equação 1.1 por exemplo, for inferior ou igual ao custo implícito de referência, a obra é justificável, caso contrário a obra não deve ser executada.

Vê-se então que, de acordo com esta metodologia, o valor de α_{REF} assume um papel importante na análise econômica de cada alternativa em estudo, uma vez que este valor deverá traduzir a situação (marginal) onde o ótimo econômico ocorre.

Porém, de acordo com o que ficou exposto anteriormente, na situação ideal, a definição do valor adotado para α_{REF} não pode ser feita sem que se tenha uma noção mais ou menos precisa dos prejuízos provocados pela imperfeição no fornecimento de energia elétrica ao conjunto de consumidores atendidos pelo sistema em questão.

A utilização indiscriminada de um mesmo valor de referência para o custo implícito das interrupções, α_{REF} , em estudos que envolvem sistemas elétricos diferentes, pode impossibilitar

que o ponto de ótimo para a sociedade seja alcançado.

Cabe ressaltar, também, que a melhoria da confiabilidade de um dado sistema não pode ser medida apenas pela redução na quantidade de energia (KWh) que será interrompida por causa das interrupções. A quantificação dos prejuízos provocados por tais interrupções deve também levar em conta, entre outros fatores, a redução na frequência e duração das mesmas.

Fica mais uma vez evidente que a definição e a aplicação adequada de uma metodologia de planejamento de sistemas elétricos com custos mínimos para a sociedade, ou de uma metodologia simplificada, tal como a que envolve a definição do custo implícito das interrupções, exige o conhecimento de como os diversos tipos de consumidores são afetados por interrupções de energia elétrica, e quais os prejuízos daí decorrentes.

Desta forma, nos capítulos seguintes, não será mais discutido o uso do custo implícito das interrupções no planejamento de sistemas elétricos. Serão, então, discutidos apenas os diversos métodos de avaliação dos custos das interrupções segundo a análise dos seus efeitos nos processos de produção dos diferentes tipos de consumidores atendidos por estes sistemas.

1.3 - Objetivos e Estrutura da Dissertação

Esta dissertação procura apresentar um levantamento, tipo estado-da-arte, das principais metodologias relacionadas com o cálculo dos custos das interrupções de energia elétrica, analisando-as e comparando-as, principalmente no que diz respeito à sua maior ou menor aplicabilidade a estudos típicos encontrados no âmbito do planejamento de sistemas de distribuição.

Dado o enorme interesse que o assunto tem despertado nos últimos anos, existe uma grande quantidade de trabalhos publicados, tanto no Brasil quanto no exterior, de modo que se procurou delimitar o levantamento aos trabalhos mais significativos na área.

Tendo em vista as diferentes proposições encontradas nos diversos trabalhos pesquisados, pode-se constatar, numa primeira aproximação, que as mesmas podem ser separadas em dois grupos principais.

O primeiro consta dos métodos que procuram calcular os custos das interrupções através de uma visão global, ou macro econômica, do problema. Tais métodos encontram-se descritos no Capítulo II.

O segundo grupo engloba os métodos que procuram definir os custos das interrupções sob a perspectiva individual de cada consumidor e, portanto, de acordo com uma visão microeconômica, não considerando, diretamente, as interações entre os diversos consumidores afetados pelas interrupções e o sistema econômico como um todo.

Dada a grande diversidade de consumidores atendidos pelos sistemas de distribuição de energia elétrica, procurou-se agrupar estes métodos, aqui classificados como específicos, segundo o tipo de consumidor considerado. Assim os Capítulos III a VI analisam os métodos referentes ao cálculo dos custos das interrupções para consumidores residenciais, industriais, comerciais e outros tipos de consumidores, respectivamente.

O Capítulo VII descreve dois exemplos de aplicação dos custos das interrupções ao planejamento de sistemas de distribuição, utilizando, para tanto, um modelo de planejamento agregado desenvolvido pelo Departamento de Engenharia da Distribuição da ELETROBRÁS (DEDI - ELETROBRÁS)⁽³⁴⁾.

O Capítulo VIII enumera as conclusões finais do trabalho e apresenta algumas sugestões para trabalhos futuros.

A presente dissertação contém ainda três Anexos. O Anexo I apresenta, sucintamente, a formulação da Matriz Insumo-Produto, o Anexo II trata da Teoria Econômica do Consumidor e o Anexo III contém três propostas de questionários elaborados com a finalidade de determinar os custos das interrupções para consumidores residenciais, industriais e comerciais, respectivamente.

Finalmente, convém realçar que dada a natureza do trabalho desenvolvido, houve a necessidade de se consultar um número significativo de publicações relacionadas, direta ou indiretamente, com o tema estudado. Várias dessas publicações não foram mencionadas explicitamente no texto da dissertação. No entanto, por se julgar relevante, as mesmas encontram-se listadas na parte final do item Referências Bibliográficas. ⁽⁸⁴⁻¹³³⁾

CAPÍTULO II

CÁLCULO DOS CUSTOS DAS INTERRUPÇÕES

ATRAVÉS DE MÉTODOS GLOBAIS

2.1 - Introdução

Os chamados métodos globais de avaliação dos custos das interrupções, que aqui são tratados, fundamentam-se geralmente na presença de relações tecnológicas existentes entre o consumo de energia elétrica e a produção final dos diferentes consumidores de eletricidade e têm por base uma visão mais geral ou macroeconômica do problema.

Estes métodos têm sido utilizados no cálculo dos custos das interrupções, seja considerando a nação vista como um todo, seja considerando apenas alguns setores econômicos, sendo também empregados no cálculo dos custos de restrições de energia elétrica ou custos do déficit.

Nas seções seguintes, os diferentes métodos globais encontrados na literatura serão apresentados e analisados quanto à possibilidade de serem empregados na obtenção de estimativas dos prejuízos sofridos pelos consumidores de energia elétrica, decorrentes de interrupções inesperadas no fornecimento da mesma, provocadas por falhas no sistema de distribuição que os atendem.

2.2 - Análises das Metodologias Globais para o Cálculo dos Custos das Interrupções ou Restrições

Os métodos globais para o cálculo dos custos das interrupções ou restrições de energia elétrica podem ser separados em duas categorias:

- Métodos que recorrem a relação, mais ou menos direta, entre os valores da produção e o consumo de energia elétrica correspondente.

- . Métodos que procuram refletir a complexidade das trocas intermediárias entre os diversos setores, através da utilização da Matriz Insumo-Produto (ou de Relações Intersectoriais).

2.2.1 - Cálculo dos custos das interrupções ou restrições via relação entre valor da produção e consumo de energia elétrica correspondente

Todas as propostas que utilizam tal relação baseiam-se no fato de que a grande maioria dos consumidores emprega a energia elétrica como um dos vários insumos indispensáveis aos respectivos processos produtivos.

Consequentemente torna-se possível afirmar que:

- . A evolução da produção de um dado consumidor ou setor refletir-se-á, de algum modo, na evolução do consumo de energia elétrica correspondente.
- . Reduções no fornecimento de eletricidade a um dado consumidor ou setor poderão acarretar reduções na produção correspondente, provocando, então, prejuízos inevitáveis.

Nas seções a seguir são apresentados e discutidos vários trabalhos, alguns deles realizados no Brasil, que têm utilizado tal relação no cálculo dos custos de interrupções ou restrições de energia elétrica.

2.2.1.1 - Shipley et alii⁽³⁵⁾

Neste trabalho, os autores procuraram determinar o custo de uma interrupção de energia elétrica do ponto de vista da nação como um todo (EUA no caso do artigo), sendo tal custo calculado pela razão entre o Produto Nacional Bruto (PNB) e o consumo anual de energia elétrica do país.

Sob este ponto de vista não é feita uma distinção entre os custos das interrupções para as diversas classes de consumidores: industrial, comercial e residencial entre outros.

Heising⁽³⁶⁾, comentando este artigo, sugere que o custo da energia não suprida seja dado pela razão entre o PNB e o consumo total de energia para os setores comercial e industrial

somente, uma vez que a classe de consumidores residenciais não contribuiria diretamente para o PNB (não se referindo porém sobre o que fazer com os consumos de outros setores tais como administração e serviços públicos e agricultura que certamente contribuem para o PNB).

Vê-se, pelo comentário de Heising, a preocupação de se associar a relação entre produção e consumo de eletricidade, principalmente aos setores industrial e comercial.

Pelo seu caráter global, os valores assim obtidos são encarados como muito mais adequados sob o ponto de vista do sistema geração-transmissão, onde um corte no fornecimento de eletricidade a um nó deste sistema atinge um grande número de consumidores pertencentes às mais diversas classes, do que sob o ponto de vista de um sistema de distribuição que apresenta uma característica mais localizada e diferenciada.

Isto porque, e de acordo com a consideração feita pelos próprios autores, os prováveis custos extras relativos a um dado setor ou a um dado consumidor em particular poderão ser compensados pelos custos "economizados" por outros setores ou outros consumidores com processos menos sensíveis a interrupções, de forma que a relação produção-consumo de eletricidade possa ser admitida válida para o conjunto de consumidores atingidos.

2.2.1.2 - Telson⁽³⁷⁾

Com o objetivo de tentar definir qual seria o nível de confiabilidade adequado para o sistema de geração, Telson⁽³⁷⁾ procurou determinar, assim como Shipley et alii⁽³⁵⁾, os custos das interrupções do ponto de vista da nação como um todo e para tanto definiu dois valores como estimativas superiores de tais custos.

A maior estimativa para o valor máximo dos custos das interrupções corresponde àquela sugerida por Heising⁽³⁶⁾, qual seja, a razão entre o PNB e o consumo anual de eletricidade para os setores industrial e comercial. Para Telson⁽³⁷⁾, o valor assim calculado pode ser encarado como um limite superior uma vez que:

- Não inclui o consumo de eletricidade da classe residencial no denominador (assim como os das demais classes) sem ex

cluir a sua contribuição na formação do PNB.

- . Assume que, tão logo a demanda ultrapasse a capacidade de geração, serão feitos cortes de energia, não sendo prevista a possibilidade de se reduzir a demanda através de reduções apropriadas de tensão e, assim, a quantidade de carga a ser realmente cortada.
- . Não considera que um corte de energia venha a provocar apenas um atraso na produção ou de que esta seja somente parcialmente afetada durante a interrupção.

A estimativa inferior para o valor máximo dos custos das interrupções seria, segundo o autor, igual à razão entre o valor dos salários pagos e o consumo de eletricidade dos setores industrial e comercial. Este valor constituiria o limite inferior do valor máximo para os custos das interrupções uma vez que, além das justificativas apresentadas para o caso anterior, não considera que a produtividade do trabalho possa aumentar após a ocorrência da interrupção reduzindo, assim, a perda de produção ocorrida durante este período.

2.2.1.3 - Estudo realizado em Taiwan⁽³⁸⁾

Em um trabalho realizado em Taiwan⁽³⁸⁾, foi admitido que, na necessidade de se interromper o fornecimento de eletricidade aos consumidores industriais devido a falhas no sistema de geração, estes consumidores seriam cortados seguindo uma ordem crescente da relação produção industrial-consumo de energia elétrica.

Assim, dada uma falha no sistema gerador, os consumidores que apresentassem os menores valores para a relação produção/MWh consumido são cortados em primeiro lugar e assim por diante até que se atinja um equilíbrio entre a oferta (produção) e demanda (consumo) de eletricidade.

O custo total de uma dada interrupção é então obtido pelo somatório do produto da energia cortada (MWh) pela relação produção/MWh consumido para todas as indústrias afetadas.

Este procedimento leva a um custo de interrupção variável, se expresso em Cz\$/MWh cortado, que depende da "profundidade" do corte de energia a ser realizado no sistema.

A aplicabilidade deste método encontra-se limitada pela possibilidade prática de se executar os cortes conforme o procedimento descrito acima, uma vez que isto dependerá da configuração do sistema antes e depois da falha, sendo mais aplicável a falhas em sistemas de geração e transmissão do que em sistemas de distribuição, onde, geralmente, há pouca possibilidade de se escolher quais os consumidores a serem atendidos ou quais os consumidores a serem cortados quando ocorrem falhas nestes sistemas.

Ainda que fosse possível fazer tais cortes na ordem crescente desejada, não está assegurada, no entanto, a minimização dos prejuízos provocados pela interrupção no fornecimento de energia.

Os prejuízos para uma indústria com alto grau de utilização de eletricidade (pequena relação produção/MWh consumido) não são necessariamente inferiores aos prejuízos para uma indústria com baixo grau de utilização de eletricidade (maior relação produção/MWh consumido).

Somente uma análise das funções de produção para ambas as indústrias poderá indicar a importância da eletricidade nos seus respectivos processos produtivos e os efeitos (prejuízos) de uma interrupção no fornecimento de energia elétrica a cada uma delas. (9,37)

2.2.1.4 - Estudo realizado na Jamaica (39)

Neste estudo, realizado em 1975, os custos das interrupções para diversos setores, tais como mineração, manufatura, agricultura e administração pública entre outros, foram calculados, com algumas inovações, em termos do valor da produção perdida e seguindo os passos abaixo:

- . Foram determinados em primeiro lugar os valores do PNB, em termos do valor adicionado, para cada setor i considerado, P_i .
- . Com auxílio de 3 especialistas, foi determinada a sensibilidade, K_i , de cada setor a uma interrupção de energia elétrica, ou seja, o valor da produção que está exposta a prejuízos devido a uma interrupção.
- . O produto do PNB setorial pelo valor da sua respectiva sen-

sibilidade a interrupções de energia elétrica dá uma indicação do custo da interrupção para o setor, o chamado "Dollar Value Effect", $K_i \cdot P_i$. O custo de cada MWh de energia cortado no setor i , foi calculado como sendo igual a $K_i \cdot P_i / W_i$, onde W_i é o consumo de energia elétrica do setor.

- O custo relativo ao conjunto de consumidores; considerados foi obtido pela média ponderada dos custos referentes a cada setor, $K_i \cdot P_i / W_i$, tomando como pesos os consumos de energia elétrica de cada setor, obtendo-se, então, o que foi chamado de "Reliability Dollar Value" (RDV):

$$RDV = \frac{\sum_i \left(\frac{K_i \cdot P_i}{W_i} \right) \cdot W_i}{\sum_i W_i} \quad (2.1)$$

Simplificando, resulta:

$$RDV = \frac{\sum_i K_i \cdot P_i}{\sum_i W_i} \quad (2.2)$$

Este estudo tem o mérito de admitir a existência de uma sensibilidade de cada setor a cortes no fornecimento de energia e de considerar que os prejuízos provocados por tais cortes de energia podem ser maiores ou menores que o valor da produção prevista no decorrer desta interrupção, o que não havia sido considerado nos trabalhos anteriormente discutidos.

Resta, porém, a dificuldade de se determinar, para cada setor, o valor da sensibilidade a ser usada, uma vez que os prejuízos não permanecem, na maioria dos casos, constantes nos diferentes períodos de ocorrência das interrupções.

2.2.1.5 - Carrillo e Campero ⁽⁴⁰⁾

Neste trabalho, realizado em 1973 no Equador, os autores procuraram determinar os custos de restrição (ou do déficit) para os setores industrial e comercial, analisando a evolução do Produto Interno Bruto e do consumo de energia elétrica através da análise de regressão destas duas variáveis a partir dos dados históricos disponíveis.

Ao contrário das formulações propostas anteriormente,

este trabalho procurou determinar os valores marginais do custo de restrição (ou de interrupção) de uma unidade de energia elétrica (kWh ou MWh) e não os correspondentes valores médios.

Dentre as possíveis funções matemáticas que podem ser consideradas nas análises de regressão, os autores sugeriram as seguintes:

$$W = b.P^c \quad (2.3)$$

$$W = b.P^c . e^{dt} \quad (2.4)$$

e suas versões modificadas, com a inclusão de um termo independente:

$$W = a + b.P^c \quad (2.5)$$

$$W = a + b.P^c . e^{dt} \quad (2.6)$$

onde: W - consumo de energia elétrica

P - valor da produção

a, b, c, d - constantes

As equações (2.3) e (2.5) correspondem a regressões ditas estáticas, enquanto que as equações (2.4) e (2.6) correspondem a regressões ditas dinâmicas, por envolverem a variável tempo, t.

Uma vez escolhida a função que melhor se ajusta, estatisticamente, ao conjunto de pontos disponíveis, pode-se obter o valor da perda de produção correspondente ao kWh marginal não fornecido como:

$$\frac{\partial P}{\partial W} = \frac{1}{c} \cdot \frac{P}{W} \quad (2.7)$$

onde $\frac{1}{c}$ corresponde à elasticidade entre a produção P e o consumo de energia elétrica W, e o valor $\frac{\partial P}{\partial W}$ é a perda marginal de cada kWh não fornecido, em Cz\$/kWh.

2.2.1.6 - Trabalhos realizados no Brasil (Erlich et alii⁽⁴¹⁾, Purnas⁽⁴²⁾ e Schneider et alii⁽⁴³⁾)

Em 1980, Erlich et alii⁽⁴¹⁾ procuraram determinar os

custos do déficit para o Brasil referentes aos setores primário, secundário e terciário, utilizando-se da análise de regressão, como proposto por Carrilo e Campero⁽⁴⁰⁾.

Como resultado das análises de regressão realizadas com o auxílio de expressões do tipo daquelas indicadas em (2.3) e (2.4):

$$P = a.W^b \quad (2.8)$$

e

$$P = a.W^b . e^{ct} \quad (2.9)$$

foi observado que os custos do déficit, obtidos via equação (2.7), têm diminuído com o passar do tempo como "... consequência natural do fato de ser a taxa de crescimento do consumo [de energia elétrica] maior que a taxa de crescimento da produção. Ou seja, a produtividade marginal da energia elétrica adicionada é decrescente".⁽⁴¹⁾

Duas outras aplicações feitas no Brasil, Furnas⁽⁴²⁾ em 1984 e Schneider et alii⁽⁴³⁾ em 1986, utilizaram-se da mesma metodologia descrita acima para o cálculo dos custos do déficit para diversos setores econômicos: agricultura, extrativa mineral, minerais não metálicos, construção civil e serviços, entre outros.

Nestes trabalhos, além das equações (2.8) e (2.9), foram usadas funções tipo Cobb-Douglas e regressões múltiplas.

A função tipo Cobb-Douglas^(42,43) possui a forma abaixo:

$$P_t = a.W_t^\alpha . P_{t-1}^\beta \quad (2.10)$$

onde:

- P_t, P_{t-1} - são as produções nos anos t e $t-1$, respectivamente
- W_t - é o consumo de energia elétrica, no ano t
- α - é a elasticidade produção-consumo de energia elétrica
- β - é o chamado coeficiente de impacto a longo prazo
- a - constante

Sendo η a elasticidade de longo prazo, resulta:

$$\eta = \frac{\alpha}{1-\beta} \quad (2.11)$$

e a equação (2.10) permite calcular o custo (marginal) do déficit a curto e a longo prazos como: ⁽⁴³⁾

$$\left. \frac{\partial P}{\partial W} \right|_{\text{curto prazo}} = \alpha \cdot \frac{P}{W} \quad (2.12)$$

e

$$\left. \frac{\partial P}{\partial W} \right|_{\text{longo prazo}} = \eta \cdot \frac{P}{W} \quad (2.13)$$

Nas análises de regressão feitas até aqui, relaciona-se apenas um insumo energético, a energia elétrica, com a produção dos diversos setores. A utilização de regressões múltiplas permite, por sua vez, que sejam consideradas tanto a presença de outros insumos, quanto a possibilidade de substituição entre os mesmos.

As funções obtidas por este tipo de análise de regressão apresentam a forma: ⁽⁴³⁾

$$P = (W_e^\alpha) \cdot (b \cdot W_{dp}^\beta) \cdot (d \cdot W_{bio}^\gamma) \cdot (f \cdot W_{out}^\delta) \quad (2.14)$$

onde:

W_e , W_{dp} , W_{bio} e W_{out} - consumos, respectivamente, de energia elétrica, de derivados de petróleo, de biomassa e outros energéticos, todos referidos a uma mesma unidade

α , β , γ e δ - elasticidades parciais da produção em relação, respectivamente, à energia elétrica, derivados de petróleo, biomassa e outros energéticos

b , d e f - constantes

O custo de uma restrição ao consumo de energia elétrica é então dado por: ⁽⁴³⁾

$$\frac{\partial P}{\partial W_e} = \alpha \cdot \frac{\partial P}{W_e} \quad (2.15)$$

Embora possa ser considerado um aperfeiçoamento em re

lação às regressões que consideram somente o insumo energia elétrica, a regressão múltipla necessita que existam disponíveis levantamentos históricos do consumo das diversas formas de energia usadas pelos conjuntos de consumidores analisados, o que nem sempre acontece, principalmente quando se deseja um tratamento a um nível mais desagregado, como é o caso dos estudos orientados para sistemas de distribuição de energia elétrica.

2.2.2 - Cálculo dos custos das interrupções ou restrições via Matriz Insumo-Produto

Em um dado sistema econômico, os diversos setores interrelacionam-se de forma que os produtos finais de um dado setor serão utilizados por ele próprio, pelos demais setores e destinados à demanda final (consumo final, consumo do governo, formação de capital e investimento, entre outros). Assim, uma variação na produção de um dado setor refletir-se-á em todos os demais setores.

Tais relações de interdependência entre os setores podem ser convenientemente explicitadas através da Análise Insumo-Produto, desenvolvida por Wassily W. Leontief⁽⁴⁴⁾, que é muito utilizada em estudos econômicos em vários países.

Esta metodologia de análise econômica tem por base a Matriz Insumo-Produto ou Matriz de Relações Intersectoriais, que fornece uma descrição estática dos insumos e da produção dos diversos setores da economia, em um dado intervalo de tempo, registrando também as diversas transações intermediárias entre estes mesmos setores.

No Anexo I é feita uma apresentação sucinta da Matriz Insumo-Produto, onde são descritas a sua estrutura e as principais relações envolvidas.

Dois trabalhos, um realizado no Chile em 1973⁽⁴⁵⁾ e outro no Equador em 1975⁽⁴⁰⁾, procuraram calcular os custos de restrições de energia elétrica com o auxílio da Análise Insumo-Produto. No Brasil, mais recentemente, diversos trabalhos têm sido realizados com base na metodologia desenvolvida no Equador.^(41-43, 46)

Estes trabalhos são apresentados e discutidos nas se

ções seguintes.

2.2.2.1 - Jaramillo e Skoknic⁽⁴⁵⁾

Este é o primeiro trabalho que procurou determinar os custos das restrições de energia elétrica para os consumidores industriais através de uma metodologia que se utiliza do ferramental oferecido pela Análise de Insumo-Produto.

Esta metodologia utiliza a matriz B , de requisitos diretos e indiretos de produção (ver Anexo I), cujos elementos b_{ij} podem ser interpretados como os efeitos diretos e indiretos na produção do setor i dada uma variação na demanda do setor j igual a uma unidade monetária.

A equação AI-13, do Anexo I, permite obter o vetor de produção, \underline{X} , a partir do vetor de demanda final, \underline{D} , e da matriz de requisitos diretos e indiretos de produção, \underline{B} :

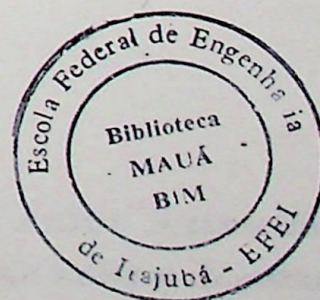
$$\underline{X} = \underline{B} \cdot \underline{D}$$

Para uma variação $\underline{\Delta D}$ no vetor de demanda final tem-se, portanto, uma variação no vetor de produção igual a $\underline{\Delta X}$:

$$\underline{\Delta X} = \underline{B} \cdot \underline{\Delta D} \quad (2.16)$$

Para o cálculo dos custos de restrição para um dado setor j , os autores consideraram uma redução na demanda final deste setor igual a uma unidade monetária, sem que as demandas dos demais setores sejam alteradas. Para este caso, o vetor $\underline{\Delta D}$ pode ser definido como:

$$\underline{\Delta D} = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ -1 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \vdots \\ j \\ \vdots \\ n \end{bmatrix}$$



(2.17)

e sua substituição na equação (2.16) resulta:

$$\underline{\Delta X} = -\underline{B} \cdot \underline{j}$$

(2.18)

onde: $\underline{B} \cdot j = \begin{vmatrix} b_{1j} \\ \vdots \\ b_{jj} \\ \vdots \\ b_{nj} \end{vmatrix}$ é a coluna j da matriz \underline{B}

Para a determinação da redução no consumo de eletrici
dade decorrente da diminuição na demanda final do setor j, tor
na-se necessário definir um consumo específico de eletricidade
para um dado setor i, expresso em kWh/Cz\$ de produção do setor
i, c_i .

Desta forma, para uma redução na demanda final do se
tor j igual a Cz\$1,00 pode-se determinar a partir da equação
(2.18) a redução total no consumo de eletricidade, W_j^* :

$$W_j^* = \sum_{i=1}^n b_{ij} \cdot c_i \quad (2.19)$$

onde:

c_i - consumo específico de energia elétrica do setor i, dado
em kWh/Cz\$

b_{ij} - elemento da matriz \underline{B}

W_j^* - redução total, em kWh, do consumo de energia elétrica
para uma redução na demanda final do setor j igual a
Cz\$1,00.

O valor inverso de W_j^* :

$$k_j = \frac{1}{W_j^*} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n b_{ij} \cdot c_i} \quad (2.20)$$

mediria, segundo os autores, "a perda de valor agregado total ao
restringir-se um kWh atuando primariamente sobre o setor de des
tino j".⁽⁴⁵⁾

Sobre esta afirmação cabem algumas críticas:

a) O valor k_j corresponde, na realidade, à redução na
demanda final do setor j que provocaria no sistema, como um to

do, uma diminuição no consumo total de eletricidade igual a 1 kWh.

Não é portanto a redução total no valor agregado como afirmam os autores. A própria redução na produção total do setor j , igual ao produto $b_{jj}k_j$, é superior, ou no mínimo igual, ao próprio valor de k_j uma vez que $b_{jj} \geq 1$ para qualquer j .

A redução total na produção do sistema econômico como um todo, dada uma redução de k_j na demanda do setor j é obtida a partir da equação (2.18):

$$\text{redução total na produção} = k_j \cdot \sum_{i=1}^n b_{ij} \quad (2.21)$$

b) A partir do que foi dito acima, observa-se que a diminuição de 1 kWh, obtido segundo a equação (2.20), está repartida entre todos os setores econômicos envolvidos (para o setor i esta redução no consumo é igual a $c_i \cdot k_j \cdot b_{ij}$), não atingindo apenas o próprio setor j considerado. Isto não está de acordo com o conceito "usual" de custo de restrição (ou interrupção), expresso em Cz\$ de produção perdida/kWh não fornecido ao setor considerado.

A uma redução de 1 kWh no fornecimento de energia elétrica ao setor j , corresponde uma diminuição na produção deste setor igual a $1/c_j$, se for considerado o seu consumo específico c_j . Uma parcela desta redução na produção será absorvida pela diminuição da demanda final do setor j , $\frac{1}{c_j \cdot b_{jj}}$. O restante será resultado dos efeitos indiretos da diminuição da produção do próprio setor, decorrentes do interrelacionamento dos setores econômicos envolvidos.

Para o caso acima, a redução total no consumo de energia elétrica para o sistema econômico como um todo será claramente superior a 1 kWh.

Conforme o exposto nos parágrafos anteriores, pode-se determinar dois novos valores para o custo de restrição de energia elétrica para o setor j , k_j^* :

- Se for considerado que, como no trabalho original, se tem uma redução de 1 kWh no consumo de eletricidade no sistema como um todo a partir da redução na demanda final do setor

j igual a uma unidade monetária, o novo valor do custo de restrição para este setor é obtido pela substituição do valor de k_j da equação (2.20) na equação (2.21):

$$k_j^* = \frac{\sum_{i=1}^n b_{ij}}{\sum_{i=1}^n b_{ij} \cdot c_j} \quad (2.22)$$

No valor de k_j^* acima está sendo considerado, agora, a redução total na produção do sistema e corresponde a uma "correção" da metodologia proposta por Jaramillo e Skoknic⁽⁴⁵⁾.

Se for considerado apenas o kWh cortado no setor j e a perda de produção total do sistema decorrente da redução na demanda final deste setor igual a $1/c_j \cdot b_{jj}$ (ver parágrafo anterior), o novo valor de k_j^* pode ser obtido a partir da equação (2.16), onde:

$$\Delta D = \left| \begin{array}{c|c} 0 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & j \\ \hline c_j & b_{jj} \\ \vdots & \vdots \\ 0 & n \end{array} \right| \quad (2.23)$$

Assim:

$$k_j^* = \frac{1}{b_{jj} \cdot c_j} \cdot \sum_{i=1}^n b_{ij} \quad (2.24)$$

O valor de k_j^* , dado pela equação (2.24) acima, difere daquele indicado na equação (2.22) por não considerar a redução no consumo de eletricidade dos outros setores além do próprio setor j e corresponde à idéia mais geral de custo de restrição (ou interrupção).

Deve-se ressaltar que para o cálculo do custo de restrição, seja através da equação (2.20), seja através das demais, faz-se a pressuposição de que a redução na produção do setor j, provocada pela diminuição do fornecimento de eletricidade a este setor, afeta diretamente a sua demanda final reduzindo o nível

das trocas intersetoriais e diminuindo, portanto, os níveis de produção dos demais setores, mas sem que sejam afetados os valores de suas respectivas demandas finais (ver equações (2.17) e (2.23)).

Os autores⁽⁴⁵⁾ calcularam os custos de restrição para os diversos setores industriais através do uso da equação (2.20) admitindo que para os demais setores econômicos que abastecem a indústria os seus respectivos consumos elétricos não são modificados, seja por não haver uma relação técnica entre consumo elétrico e nível de atividade, seja porque sua produção foi admitida constante. É fácil notar que tal procedimento leva a uma subestimação dos prejuízos relacionados com uma restrição de energia elétrica que atinja os consumidores industriais.

Na Tabela 2.1, a seguir, encontram-se indicados os valores encontrados pelos autores para os custos das restrições para os consumidores industriais.

| Setor Industrial | Custo de Restrição (US\$/kWh) |
|--------------------------------|----------------------------------|
| Papel | 0,17 |
| Metalurgia | 0,35 |
| Minerais não metálicos | 0,43 |
| Imprensa | 0,71 |
| Produtos metálicos | 0,91 |
| Têxtil | 0,96 |
| Maquinaria não elétrica | 1,09 |
| Química | 1,50 |
| Madeira | 1,53 |
| Borracha | 1,65 |
| Couro | 1,86 |
| Diversos | 1,87 |
| Mobiliário | 1,87 |
| Material de transporte | 2,10 |
| Maquinaria elétrica | 2,11 |
| Alimentos | 2,33 |
| Derivados de petróleo e carvão | 2,47 |
| Calçado e Vestuário | 2,63 |
| Bebidas | 3,02 |
| Fumo | 6,65 |

Tabela 2.1 - Custo de restrição de energia elétrica para o Chile⁽⁴⁵⁾. Valores de 1972.

2.2.2.2 - Carrillo e Campero⁽⁴⁰⁾

Neste trabalho, realizado em 1975 no Equador, os autores apresentam uma metodologia diferente daquela desenvolvida

por Jaramillo e Skoknic⁽⁴⁵⁾ para o cálculo dos custos de uma restrição de energia elétrica através do uso da Matriz Insumo-Produto.

Nesta metodologia, o custo global de uma restrição de energia elétrica para o sistema econômico como um todo é obtido em primeiro lugar e a partir deste valor são determinados os custos de restrição relativos a cada um dos setores econômicos envolvidos (setores industriais e outros), como será descrito seguidamente.

De acordo com a teoria descrita no Anexo I, é possível escrever:

$$P = \underline{S}_t \cdot \underline{V} \quad (2.25)$$

$$\underline{V} = \underline{R} \cdot \underline{X} \quad (2.26)$$

onde:

P - valor total da produção, em valor adicionado, calculado a preços sociais

\underline{V} - vetor dos valores adicionados totais para cada setor da economia, correspondente aos diversos fatores de produção

\underline{X} - vetor das produções totais de cada setor

\underline{S} - vetor de correção de preços de mercado para preços sociais

\underline{R} - matriz dos coeficientes dos valores adicionados associados aos vários fatores de produção.

A perda marginal da economia, avaliada a preços sociais, devido a uma redução na produção do setor j , calcula-se, a partir da equação (2.25), por:

$$\frac{\partial P}{\partial X_j} = \underline{S}_t \cdot \frac{\partial \underline{V}}{\partial X_j} \quad (2.27)$$

Mas de (2.26)

$$\frac{\partial \underline{V}}{\partial X_j} = \underline{R} \cdot \frac{\partial \underline{X}}{\partial X_j} \quad (2.28)$$

Substituindo (2.28) em (2.27), vem:

$$\frac{\partial P}{\partial X_j} = S_t \cdot R \cdot \frac{\partial X}{\partial X_j} \quad (2.29)$$

Admitindo-se agora uma proporcionalidade rígida entre a produção de um determinado setor e os insumos necessários à realização de tal produção, a redução marginal na produção do setor i, provocada por uma redução incremental na produção do setor j, é dada por:

$$\frac{\partial X_i}{\partial X_j} = \frac{X_i}{X_j} \quad (2.30)$$

O que permite escrever:

$$\frac{\partial X}{\partial X_j} = \frac{X}{X_j} \quad (2.31)$$

Portanto, a equação (2.29) transforma-se em:

$$\frac{\partial P}{\partial X_j} = S_t \cdot R \cdot \frac{X}{X_j} \quad (2.32)$$

Por outro lado, quando se consideram as possíveis elasticidades entre as produções dos diversos setores, as equações (2.30) a (2.32) transformam-se, respectivamente, em:

$$\frac{\partial X_i}{\partial X_j} = \epsilon_{ij} \cdot \frac{X_i}{X_j} \quad (2.33)$$

$$\frac{\partial X}{\partial X_j} = dg \underline{E}_j \cdot \frac{X}{X_j} \quad (2.34)$$

$$\frac{\partial P}{\partial X_j} = S_t \cdot R \cdot (dg \underline{E}_j) \cdot \frac{X}{X_j} \quad (2.35)$$

Nestas equações:

ϵ_{ij} - elasticidade da produção do setor i em relação à produção do setor j

$dg \underline{E}_j$ - matriz diagonal das elasticidades das produções dos di

versos setores em relação à produção do setor j .

Considerando agora que o setor e é o setor que fornece o insumo energia elétrica, as equações (2.32) e (2.35) permitem calcular o custo global do déficit de energia através das expressões:

$$\frac{\partial P}{\partial X_e} = S_t \cdot R \cdot \frac{X}{X_e} \quad (2.36)$$

ou

$$\frac{\partial P}{\partial X_e} = S_t \cdot R \cdot (dg E_e) \cdot \frac{X}{X_e} \quad (2.37)$$

quando não se consideram ou quando se consideram as elasticidades entre as produções dos vários setores, respectivamente.

As equações (2.36) e (2.37) acima, fornecem o custo de uma restrição em termos de cruzados de perdas por cruzados de redução na produção de energia elétrica. A sua transformação em cruzados por kWh não fornecido (Cz\$/kWh), obtém-se multiplicando aqueles valores pela tarifa T . Assim:

$$\frac{\partial P^*}{\partial X_e} = \frac{\partial P}{\partial X_e} \cdot T \quad (2.38)$$

onde $\frac{\partial P^*}{\partial X_e}$ é o custo global do déficit, dado em Cz\$/kWh.

Uma vez obtido o custo global do déficit, os autores procuraram estabelecer os custos correspondentes aos diversos setores a partir de várias hipóteses, descritas seguidamente: ⁽⁴⁰⁾

- a) O custo global de restrição é igual ao somatório dos custos setoriais ponderados pela importância relativa do setor no consumo global de eletricidade, isto é:

$$\sum_{j=1}^n W_{rj} \cdot C_{sj} = \frac{\partial P^*}{\partial X_e} = \frac{\partial P}{\partial X_e} \cdot T \quad (2.39)$$

Nesta equação:

W_{rj} - consumo relativo de energia elétrica do setor j
 $(W_{rj} \leq 1,0)$

C_{sj} - custo de restrição para o setor j , em Cz\$/kWh

n - número de setores considerado::

- b) O custo de restrição para um dado setor é proporcional à sua importância relativa no consumo de eletricidade, W_{rj} , e à sua importância econômica, medida pela produtividade marginal do setor, $\frac{\partial P}{\partial X_j}$. Deve-se garantir, também, que os custos setoriais sejam, no mínimo, iguais ao valor do custo da energia. Assim, esta condição pode ser expressa por:

$$C_{sj} = \lambda \cdot W_{rj} \cdot \frac{\partial P}{\partial X_j} + T \quad (2.40)$$

onde λ é uma constante de proporcionalidade.

Como o setor demanda final é um importante consumidor de eletricidade, estando também sujeito a prejuízos causados por uma eventual restrição de energia elétrica, o mesmo deve ser incluído nas equações (2.39) e (2.40) acima.

Para tanto, torna-se necessário definir, para este setor, a sua correspondente produtividade marginal, $\frac{\partial P}{\partial D_f}$. Esta produtividade marginal pode ser calculada considerando-se uma variação na demanda final igual a:

$$\Delta \underline{D} = \begin{vmatrix} 0 \\ \vdots \\ \Delta D_e \\ \vdots \\ 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 \\ \vdots \\ e \\ \vdots \\ n \end{vmatrix} \quad (2.41)$$

onde é considerada uma variação incremental na demanda final de eletricidade, de modo que as demandas finais dos demais setores não sejam afetadas. A variação correspondente na produção dos diversos setores é obtida a partir da equação (2.16), item 2.2.2.1, aqui repetida:

$$\Delta \underline{X} = \underline{B} \cdot \Delta \underline{D}$$

A produtividade marginal da demanda final, $\frac{\partial P}{\partial D_f}$, pode ser obtida pela equação (2.41) acima e pela equação (2.32), quando não são consideradas as elasticidades entre produção e demanda final:

$$\frac{\partial P}{\partial D_f} = \underline{S}_t \cdot \underline{R} \cdot \frac{\Delta X}{\Delta D_e} = \frac{1}{\Delta D_e} \cdot \underline{S}_t \cdot \underline{R} \cdot \Delta X \quad (2.42)$$

ou pela equação (2.37), para o caso onde estas elasticidades são consideradas:

$$\frac{\partial P}{\partial D_f} = \underline{S}_t \cdot \underline{R} \cdot (dg \underline{E}_{Df}) \cdot \frac{\Delta X}{\Delta D_e} = \frac{1}{\Delta D_e} \cdot \underline{S}_t \cdot \underline{R} \cdot (dg \underline{E}_{Df}) \cdot \Delta X \quad (2.43)$$

onde $dg \underline{E}_{Df}$ é a matriz diagonal das elasticidades produção-demanda final.

Com a inclusão do setor demanda final, as equações (2.39) e (2.40) devem ser modificadas, ocupando este setor a (n+1)ésima posição:

$$\sum_{j=1}^{n+1} C_{sj} \cdot W_{rj} = \frac{\partial P}{\partial X_e} \cdot T \quad (2.44)$$

$$C_{sj} = \lambda \cdot W_{rj} \cdot \frac{\partial P}{\partial X_j} + T \quad j=1, \dots, n+1 \quad (2.45)$$

onde $\frac{\partial P}{\partial X_{n+1}}$, $W_{r(n+1)}$ e $C_{s(n+1)}$ são a produtividade marginal, o consumo relativo de energia elétrica e o custo de restrição do setor demanda final, respectivamente.

A solução das (n+2) equações contidas nas expressões (2.44) e (2.45) fornece o valor de λ e os (n+1) custos de restrição setoriais procurados:

$$\lambda = \frac{\frac{\partial P}{\partial X_e} \cdot T - T}{\sum_{j=1}^{n+1} W_{rj}^2 \cdot \frac{\partial P}{\partial X_j}} \quad (2.46)$$

$$C_{sj} = \left[1 + W_{rj} \cdot \frac{\partial P}{\partial X_j} \cdot \frac{\frac{\partial P}{\partial X_e} - 1}{\sum_{j=1}^{n+1} W_{rj}^2 \cdot \frac{\partial P}{\partial X_j}} \right] \cdot T \quad (2.47)$$

Nesta última expressão, a tarifa T é um preço médio oferecido à demanda final e está expressa a preço de mercado. É conveniente então corrigi-la para preços sociais através da produtividade marginal da demanda final, $\frac{\partial P}{\partial D_f}$. Deste modo pode-se escrever: (40)

$$C_{sj} = \left[1 + W_{rj} \cdot \frac{\frac{\partial P}{\partial X_j}}{\frac{\frac{\partial P}{\partial X_e} - 1}{\sum_{j=1}^{n+1} W_{rj}^2 \cdot \frac{\partial P}{\partial X_j}}} \right] \cdot \frac{\partial P}{\partial D_f} \cdot T \quad (2.48)$$

Os fatores $\frac{\partial P}{\partial X_j}$ e W_{rj} incluídos na equação (2.40) devem ser analisados com cuidado. Considere-se, em primeiro lugar, o caso onde as elasticidades entre produção-insumo não são incluídas.

Tendo em vista as equações (2.25) e (2.26), pôde-se reescrever a equação (2.32) como:

$$\frac{\partial P}{\partial X_j} = \frac{1}{X_j} \cdot S_t \cdot R \cdot X = \frac{P}{X_j} \quad (2.49)$$

A equação (2.49) permite uma melhor interpretação do termo $\frac{\partial P}{\partial X_j}$, quando não são consideradas as elasticidades: quanto maior for o volume da produção de um dado setor j , X_j , menor será o impacto causado por uma redução unitária nesta produção sobre a economia, ou seja, menor a sua produtividade marginal.

Nota-se também que o custo global de restrição, $\frac{\partial P}{\partial X_e}$, calculado segundo a equação (2.49), com P expresso em termos do PNB, apresenta uma semelhança com o custo global calculado através das metodologias de Shipley et alii⁽³⁵⁾ e de Telson⁽³⁷⁾ (principalmente a primeira).

A inclusão do fator W_{rj} , por sua vez, foi feita com o intuito de atribuir custos superiores àqueles setores que mais consomem energia elétrica. Os autores não consideram, porém, o fato de que um dado setor pode consumir, em termos relativos, mais energia, simplesmente porque seu volume de produção, X_j , está entre os mais elevados do sistema em estudo.

Uma suposição mais realista seria a de que os custos

de restrição são função do grau de dependência da produção com relação ao insumo eletricidade, medida, numa primeira aproximação, pela proporção deste insumo na formação da produção total do setor.

Assim, o termo W_{rj} poderia ser substituído de forma mais apropriada pelo coeficiente a_{ej} da matriz de coeficientes técnicos de produção (\underline{A}) (ver Anexo I).

$$a_{ej} = \frac{X_{ej}}{X_j} \quad (2.50)$$

onde X_{ej} é a quantidade, em Cz\$, de eletricidade consumida pelo setor j .

Porém, o fator W_{rj} é influenciado pelo processo tecnológico tanto quanto pelo volume de produção do setor. De fato, este fator é calculado como:

$$W_{rj} = \frac{X_{ej}}{X_e} = \frac{a_{ej} \cdot X_j}{X_e} \quad (2.51)$$

Substituindo as equações (2.49) e (2.51) na expressão (2.40) tem-se:

$$C_{sj} = \lambda \cdot \frac{a_{ej} \cdot X_j}{X_e} \cdot \frac{P}{X_j} + T = \frac{\lambda \cdot P}{X_e} \cdot a_{ej} + T \quad (2.52)$$

fazendo $\lambda' = \frac{\lambda \cdot P}{X_e} = \text{constante}$, vem:

$$C_{sj} = \lambda' \cdot a_{ej} + T \quad (2.53)$$

A equação (2.53) acima mostra que os custos setoriais de restrição serão ordenados, quando não são consideradas as elasticidades, conforme os seus coeficientes técnicos de produção a_{ej} . Exceção é feita, entretanto, quando se considera o posicionamento do setor demanda final, uma vez que a definição do termo $\frac{\partial P}{\partial D_f}$ é diferente (equação (2.42)) daquela para os demais setores (equação (2.32)).

Observa-se que, para este caso, o objetivo dos autores de atribuir maiores custos de restrição aos setores de maior importância econômica não é de todo alcançado uma vez que, como

visto nos parágrafos anteriores, quanto maior a produção do se tor, menor tenderá a ser a sua produtividade marginal $\frac{\partial P}{\partial X_j}$ e, conse quentemente, menor será o seu custo de restrição.

Porém, o ordenamento de tais custos segundo os elementos a_{ej} é, como já dito anteriormente, mais apropriado do que o ordenamento feito somente de acordo com os termos W_{rj} .

Com a inclusão das elasticidades, os autores procura ram refletir as diferentes sensibilidades das produções dos di versos setores em relação a um dado insumo, ou de outra forma, da produção de um setor com respeito aos seus diferentes insu mos.

Deste modo, quanto mais importante for a produção de um setor j para os demais setores, e para a economia como um to do, maior será o correspondente valor da produtividade marginal $\frac{\partial P}{\partial X_j}$, calculado agora pela equação (2.35) e não mais pela equação (2.32).

Por conseguinte, a ordenação dos custos setoriais quando são consideradas as elasticidades poderá ser bastante di ferente daquela obtida quando tais elasticidades não são considera das.

A Tabela 2.2, a seguir, apresenta os resultados obtidos pelos autores para os custos de restrição calculados a partir de uma Matriz Insumo-Produto, simplificada, para o Equador, composta por 9 setores econômicos, além do setor demanda final. São in dicados os valores obtidos, tanto para o caso onde são incluídas as elasticidades, quanto para o caso onde estas não são incluídas.

Nesta tabela também estão indicados os valores dos coeficientes técnicos a_{ej} para cada setor considerado. Verifica-se a concordância entre o ordenamento destes coeficientes com o ordenamento dos custos setoriais, quando as elasticidades não são consideradas. Com a inclusão das elasticidades, este ordena mento é modificado, assim como são alterados, na maioria das ve zes significativamente, os valores dos respectivos custos de restrição.

Tendo por base a metodologia aqui apresentada, foram realizados no Brasil diversos estudos sobre custos de restrição de eletricidade, que estão discutidos no item a seguir.

| Setores | Custos das Restrições Setoriais, em centavos de US\$/kWh | | | | Coeficientes Técnicos de Produção (a _{ej}) |
|-------------------------------------|---|-----------------------|----------------------|-----------------------|---|
| | Sem Elasticidade | | Com Elasticidade | | |
| | Preços de Mercado | Preços (a) Sociais | Preços de Mercado | Preços (a) Sociais | |
| Agricultura | 7,86 | 7,94 | 4,37 | 3,66 | 0,0003 |
| Pecuária | 28,03 | 27,89 | 8,05 | 6,29 | 0,0016 |
| Mineração | 391,18 | 386,99 | 49,14 | 38,67 | 0,0250 |
| Industrial | 194,09 | 192,09 | 88,71 | 69,56 | 0,0123 |
| Construção Civil | 3,20 | 3,33 | 2,65 | 2,29 | 0,0 |
| Eletricidade | 96,32 | 95,41 | 27,62 | 21,06 | 0,0060 |
| Transportes | 3,20 | 3,33 | 2,65 | 2,29 | 0,0 |
| Comércio | 206,50 | 204,37 | 66,82 | 55,44 | 0,0131 |
| Outros Serviços | 71,49 | 70,86 | 33,98 | 26,51 | 0,0044 |
| Demanda Final | 138,63 | 146,24 | 63,16 | 52,85 | - |
| Total-País | 167,07 | 169,47 | 68,59 | 55,57 | - |
| Tarifa(b) (centavos de US\$/kWh) | 3,20 | 3,33 | 2,65 | 2,29 | - |

Tabela 2.2 - Custo de restrição de energia elétrica para o Equador⁽⁴⁰⁾.
Valores em US\$ de 1975.

a) Foram usados os seguintes fatores de correção de preços de mercado para preços sociais: - Capital = 1,40
- Trabalho = 0,70
- Divisas = 1,20

b) Tarifa a preço de mercado, 0,032 US\$/kWh, corrigida segundo a produtividade marginal da demanda final, $\partial P / \partial D_f$.

2.2.2.3 - Trabalhos realizados no Brasil (Erlich et alii⁽⁴¹⁾, Furnas⁽⁴²⁾, d'Araújo et alii⁽⁴⁶⁾ e Schneider et alii⁽⁴³⁾)

Erlich et alii⁽⁴¹⁾ apresentam, em 1980, o primeiro trabalho sobre custos de restrição de energia para o Brasil, baseado na metodologia desenvolvida no Equador, englobando 18 setores (setores industriais, agricultura, comércio e serviços) além do setor de demanda final.

Para tanto, foi realizado todo um levantamento de dados necessários à aplicação da metodologia, conforme já descrito no item anterior.

Para a formação da matriz de coeficientes técnicos de produção (matriz A), da matriz de insumos primários e do vetor de demanda final, foi necessário recorrer a diversas fontes de informação:⁽⁴¹⁾

- . As matrizes de coeficientes técnicos de produção e de insumos primários foram obtidas através dos dados do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) e da metodologia desenvolvida pela FIPE-USP para este fim, com dados adicionais sobre construção civil, agricultura, comércio e serviços fornecidos pela matriz de coeficientes técnicos construída pelo Conselho Interministerial de Preços (CIP).
- . Para o setor eletricidade foi necessário utilizar coeficientes obtidos a partir de dados adicionais disponíveis na CESP e tomados como representativos para a formação da coluna da matriz A correspondente a este setor.
- . O vetor de demanda final foi obtido a partir da matriz de coeficientes técnicos fornecidos pelo CIP.

Esta diversidade de fontes de dados foi necessária porque, até a data de realização deste estudo, não se encontrava disponível a Matriz de Relações Intersectoriais (Insumo-Produto) do IBGE, para 1970, na sua forma completa. ⁽⁴²⁾

Os valores das elasticidades entre a produção dos diversos setores e os consumos de eletricidade correspondentes foram obtidos através de dados de regressão entre estas variáveis, como já visto no item 2.2.1.6. Para as transferências entre os demais setores não considerados nas análises de regressão, foi utilizada uma elasticidade média única, não especificada no artigo.

A Tabela 2.3, a seguir, fornece os valores obtidos pelos autores para os custos de restrição dos diversos setores analisados, quando a produção é medida em termos do Produto Interno Bruto (PIB) e no caso onde não estão incluídos os fatores de correção de preços de mercado para preços sociais. Estes valores estão expressos em número de vezes a tarifa média, sendo esta igual à média ponderada das tarifas de cada classe de consumidores, tendo como peso o respectivo consumo de eletricidade (0,225 Cr\$/kWh, valor de 1974). ⁽⁴¹⁾

Com a inclusão das elasticidades e dos fatores de correção de preços de mercado para preços sociais, os autores obtiveram para o custo de restrição, para o país, um valor igual a 26 vezes a tarifa média. ⁽⁴¹⁾

| Setores Considerados | Custo das Restrições, em número de vezes a Tarifa Adotada |
|------------------------------|---|
| Estrativa Mineral | 37,47 |
| Materiais não Metálicos | 48,38 |
| Metalurgia e Mecânica | 21,55 |
| Mat. Elétricos e Componentes | 9,88 |
| Materiais de Transporte | 8,82 |
| Madeira e Mobiliário | 9,30 |
| Papel, Editorial e Gráfica | 29,37 |
| Borracha e Couros | 13,25 |
| Química | 110,71 |
| Materiais Plásticos | 67,48 |
| Têxtil e Vestuário | 17,11 |
| Produtos Alimentícios | 10,65 |
| Bebidas e Fumo | 12,19 |
| Indústrias Diversas | 8,33 |
| Construção Civil | 24,54 |
| Rural | 1,96 |
| Serviços e Comércio | 5,25 |
| Eletricidade | 16,63 |
| Demanda Final | 7,56 |
| Total - Brasil | 36,35 |

Tabela 2.3 - Custos das restrições de energia elétrica para o Brasil, em número de vezes a tarifa de energia elétrica adotada (ver texto).

Em 1984 foi desenvolvido por Furnas⁽⁴²⁾ um trabalho sobre custos de restrição de energia elétrica, no qual foram diferenciados 18 setores econômicos e utilizada a Matriz de Relações Intersectoriais do IBGE, para 1970.

Além de utilizar somente uma fonte de dados para a formação da matriz de coeficientes técnicos de produção, de insumos primários e do vetor de demanda final, este trabalho diferenciava-se daquele de Erlich et alii⁽⁴¹⁾ por considerar valores diferentes para as elasticidades dos diversos setores da indústria de transformação não indicados, porém, no artigo original.⁽⁴²⁾

Em 1986 foram apresentados dois trabalhos sobre custos de restrição, também baseados na metodologia desenvolvida por Carrilo e Campero⁽⁴⁰⁾.

O primeiro, realizado por d'Araujo et alii⁽⁴⁶⁾, procurou determinar os custos de restrição para 21 setores econômicos, além do setor de demanda final, através dos dados obtidos da Matriz de Relações Intersectoriais do IBGE, para 1970 e 1975.

O segundo, desenvolvido por Schneider et alii⁽⁴³⁾, procurou determinar, para os mesmos 21 setores do trabalho anterior, os custos de restrição correspondentes a 1980, através da

evolução dos valores encontrados nas Matrizes de Relações Inter setoriais do IBGE de 1970 e 1975. .

Uma inovação deste trabalho em relação aos demais feitos no Brasil com base na Matriz Insumo-Produto, foi procurar determinar como o custo médio de restrição varia quando, na necessidade de um racionamento, se possa fazer um corte seletivo de consumidores segundo uma ordem crescente dos custos de restrição setoriais. Uma consequência deste critério é de que o custo de restrição médio, para cada kWh cortado, aumentaria com a "profundidade" do corte, ou seja, com maior número de consumidores cortados.

Este procedimento, como visto no item 2.2.1.3, não é realizável integralmente na prática, servindo neste caso apenas como uma demonstração de que o uso do custo de restrição deve procurar incorporar as características dos consumidores atingidos e de que os benefícios obtidos de tal procedimento, ainda que não inteiramente satisfeito, justifica a sua utilização em esquemas de racionamento de energia.

Na Tabela 2.4 a seguir estão indicados os valores dos custos de restrição de energia elétrica, em número de vezes a tarifa adotada, avaliados a preços sociais, obtidos pelos 3 trabalhos realizados no Brasil que utilizaram Matrizes de Relações Inter setoriais fornecidas pelo IBGE.

Nesta tabela foi seguida a divisão de setores adotada em cada um dos trabalhos. Por isso, o setor Indústria de Papel, Celulose, Editorial e Gráfica, por exemplo, que está presente somente no trabalho de Furnas⁽⁴²⁾, é mantido separado; nos demais trabalhos tal setor encontra-se desmembrado em dois: Indústria de Papel e Celulose e Indústria Editorial e Gráfica.

Tal procedimento é aconselhável uma vez que o conjunto de indústrias consideradas em cada setor reflete-se nos valores obtidos para os custos de restrição setoriais, como pode ser verificado na Tabela 2.4, através do exemplo do parágrafo anterior.

Assim, eventuais comparações entre os custos setoriais de restrição contidos nas Tabelas 2.3 e 2.4 devem ser feitas com um certo cuidado, uma vez que não está assegurada uma mesma agregação das indústrias segundo os diversos setores considerados em cada trabalho.

| | Custos Setoriais de Restrição, em Número de Vezes a Tarifa Adotada | | | |
|---|--|---|-------|---------------------------------------|
| | Furnas ⁽⁴²⁾ (a) | d'Araujo et alii ⁽⁴⁶⁾ (b) | | Schneider et alii ⁽⁴³⁾ (a) |
| | 1970 | 1970 | 1975 | 1980 |
| Agricultura | 5,47 | 4,32 | 3,06 | 4,9 |
| Extrativa Mineral | 42,84 | 31,75 | 50,49 | 57,79 |
| Minerais não Metálicos | 43,58 | 32,32 | 47,92 | 54,18 |
| Metalurgia | 34,38 | 25,59 | 34,67 | 39,52 |
| Mec.Mat.Elétrico | 13,74 | 10,39 | 15,05 | 18,77 |
| Madeira e Mobiliário | 20,30 | 15,20 | 24,64 | 28,20 |
| Papel e Celulose | - | 39,57 | 46,49 | 52,69 |
| Borracha | 22,80 | 17,01 | 21,45 | 24,52 |
| Couros e Peles | - | 16,03 | 25,11 | 28,41 |
| Química | - | 15,72 | 17,59 | 20,61 |
| Perf.,Farm.,M.Plástica | - | 9,49 | 16,56 | 19,22 |
| Têxtil e Vestuário | - | 15,81 | 21,08 | 25,14 |
| Prod.Alim.,Bebidas e Fumo | 15,00 | 11,35 | 18,31 | 24,44 |
| Editorial e Gráfica | - | 9,42 | 13,64 | 15,59 |
| Diversas de Transformação | 26,74 | 19,94 | 15,63 | 17,98 |
| Energia Elétrica | 27,42 | 18,02 | 21,41 | 21,98 |
| Serviços Ind.de Utilid.Publ. | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 77,37 |
| Construção Civil | 4,63 | 3,70 | 3,49 | 9,45 |
| Serviços de Transporte, Comunicação e Armazenagem | 11,02 | 8,55 | 19,65 | 28,20 |
| Serviços Diversos | 15,32 | 11,61 | 17,58 | 22,14 |
| Materiais de Transporte | 12,75 | 9,65 | 10,66 | 13,22 |
| Têxtil,Vestuário,Couro e Peles | 21,14 | - | - | - |
| Química,Farmacêutica,Mat.Plástica e Perfumaria | 18,37 | - | - | - |
| Papel,Celulose,Editorial e Gráfica | 32,14 | - | - | - |
| Demanda Final | 35,36 | 26,87 | 28,98 | 5,87(d) |
| Total-Brasil | 28,61 | 21,90 | 25,87 | 26,95 |
| Tarifa (US\$/MWh) ^(c) | 26,90 | 28,00 | 28,00 | 28,00 |

Tabela 2.4 - Custos das restrições de energia elétrica para o Brasil, em número de vezes a tarifa de energia elétrica adotada.^(42,43,46)

a) Custos sociais obtidos através dos seguintes fatores de correção de preços de mercado para preços sociais:

- Trabalho = 0,70
- Capital = 1,25

b) Custos sociais, sem a indicação dos fatores de correção utilizados.

c) Para Furnas⁽⁴²⁾ corresponde ao custo marginal de expansão (US\$25,00) corrigido segundo a produtividade marginal da demanda final. Para os demais corresponde ao valor do custo marginal de expansão adotado.

d) Corresponde ao setor residencial no artigo original⁽⁴³⁾.

Ressalta-se, também, que os valores da Tabela 2.3 correspondem ao caso onde as elasticidades entre produção-consumo não foram consideradas, enquanto que na Tabela 2.4 tais elasticidades foram incluídas (embora não especificadas).

O trabalho de Erlich et alii⁽⁴¹⁾ apresenta uma maior

amplitude entre os valores máximo e mínimo para os custos de restrição setoriais (110,71 e 1,96 vezes a tarifa, respectivamente) do que os demais trabalhos. Comportamento idêntico é observado nos resultados obtidos no Equador⁽⁴⁰⁾, Tabela 2.2, quando as elasticidades são ou não consideradas. Porém, uma parte desta dispersão encontrada no trabalho de Erlich et alii⁽⁴¹⁾ pode ser atribuída à utilização de diferentes fontes de informação na obtenção dos dados necessários à aplicação da metodologia.⁽⁴²⁾

Esta influência dos dados utilizados nos valores obtidos para os custos de restrição pode ser observada na Tabela 2.4, onde tanto Furnas⁽⁴²⁾ e d'Araújo et alii⁽⁴⁶⁾, embora utilizando a mesma fonte de dados - a Matriz de Relações Intersectoriais do IBGE para 1970 - obtiveram resultados aproximados, sem grandes diferenças entre os custos máximos e mínimos, sendo que os valores obtidos no primeiro trabalho apresentam uma tendência a se mostrarem superiores aos valores obtidos pelo segundo. Tais diferenças nos custos setoriais podem resultar, entre outros fatores, da utilização de agregações e elasticidades diferentes pelos dois trabalhos.

Observa-se pela Tabela 2.4 que os custos de restrição setoriais, assim como o custo global, tendem a crescer com o passar do tempo sendo que o custo global apresentou uma variação de cerca de 25% entre os valores obtidos por d'Araújo et alii⁽⁴⁶⁾ para 1970 e por Schneider et alii⁽⁴³⁾ para 1980.

Ressalta-se que os valores indicados por Schneider et alii⁽⁴³⁾ para os custos relativos aos setores de Demanda Final (Residencial) e Serviços Industriais de Utilidade Pública são significativamente diferentes daqueles indicados nos demais trabalhos mostrados na Tabela 2.4. Este comportamento não pode ser creditado apenas à evolução das "variáveis econômicas" no período, sendo mais lógico creditar tais diferenças a uma mudança nos critérios, ou dados, adotados até então pelos outros trabalhos.

2.3 - Conclusões

Este capítulo apresentou uma descrição dos principais métodos globais de cálculo dos custos das interrupções através da análise crítica dos trabalhos mais significativos encontrados.

na literatura especializada.

Os valores obtidos através de relações entre produção e consumo de energia elétrica refletem a redução, média ou marginal, da produção de um setor ou consumidor, provocada pela redução no seu consumo de energia elétrica, enquanto que as análises do tipo Insumo-Produto seguem um caminho diferente, mais complexo, no qual o setor ou consumidor não é considerado de forma isolada, mas sim integrado no sistema econômico como um todo, de modo que os efeitos de uma restrição a um dado setor ir-se-ão refletir também em todos os demais setores.

Algumas limitações podem ser apontadas na utilização das formulações aqui descritas para o cálculo dos custos das interrupções (não de restrição) através de relações entre produção e consumo de energia elétrica:

- . Para alguns setores, principalmente o residencial, relações apropriadas entre produção e consumo de eletricidade são de difícil definição, muito embora tais relações possam ser bem estabelecidas para os setores industriais e comerciais.
- . Não são considerados os prejuízos adicionais com perdas de matérias-primas e equipamentos, perdas durante o processo de retomada da produção para os consumidores industriais, nem outras perdas extras sofridas pelos outros tipos de consumidores.
- . Admitem, ao adotarem um único valor para o custo da interrupção, expresso em Cz\$/kWh, que os prejuízos causados pelo primeiro kWh cortado são iguais aos provocados pelo segundo e assim por diante, ou ainda que, para um consumidor com um diagrama de carga constante, os prejuízos são linearmente crescentes com a duração. Tais suposições não são, porém, sempre válidas para muitos tipos de consumidores.
- . Relações do tipo daquelas representadas pelas equações (2.3) e (2.4), ou similares, utilizadas para o cálculo da perda de produção correspondente ao kWh marginal não fornecido são mais aplicáveis aos casos onde se pretende calcular o custo de uma restrição (redução) ao consumo de energia elétrica, quando é importante conhecer a produtividade marginal deste kWh não fornecido. Nas situações relativas a interrupções inesperadas de energia elétrica, onde o consumo

é totalmente cortado, tal valor não fornece uma boa estimativa para os prejuízos delas decorrentes.

A metodologia desenvolvida por Jaramillo e Skoknic⁽⁴⁵⁾ no Chile, com base na Matriz Insumo-Produto, considera apenas os setores industriais desta matriz apresentando, conforme já analisado, algumas limitações na sua formulação, sendo, deste modo, menos apropriada do que aquela desenvolvida no Equador por Carrillo e Campero⁽⁴⁰⁾.

Esta última, além de considerar o sistema como um todo, e não apenas o setor industrial, permite que a suposição de relação rígida entre a produção de um dado setor e seus insumos, inclusive eletricidade, presente na formação da Matriz Insumo-Produto seja relaxada através do uso de elasticidades entre as produções dos diversos setores.

Ela também permite que o custo de uma restrição seja medido pelo seu valor social e não pelo seu valor de mercado, o que não é considerado na metodologia de Jaramillo e Skoknic⁽⁴⁵⁾.

Uma outra diferença entre estas duas metodologias é que na proposição de Jaramillo e Skoknic⁽⁴⁵⁾ os custos setoriais são calculados de maneira independente entre si, enquanto que na metodologia de Carrillo e Campero⁽⁴⁰⁾ estes custos setoriais es tão intimamente relacionados uns com os outros e também com o custo global que é calculado em primeiro lugar.

No entanto, estas duas metodologias apresentam em comum a propriedade de determinarem apenas um único valor, constante, para os custos de uma restrição, global ou setorial, não sendo levadas em consideração a duração e a magnitude, ou abrangência, desta restrição.

Uma preocupação que surge ao considerar as metodologias com base na Matriz Insumo-Produto é a de que, por ser esta matriz de montagem complexa e demorada, os resultados obtidos podem não ser válidos uma vez que estariam baseados numa situação econômica passada, diferente da atual, devido às transformações econômicas ocorridas entre o período de levantamento dos dados e a data de publicação da matriz.

Porém, como pode ser observado na Tabela 2.4, os valores para os custos das restrições de energia elétrica, setoriais

ou globais, obtidos com o uso das Matrizes Insumo-Produto relativas aos anos de 1970, 1975 e 1980^(42,43,46) não apresentam grandes discrepâncias entre si, apesar das mudanças ocorridas na economia durante o período considerado. Tal comportamento vem a fortalecer a validade do uso desta metodologia na avaliação dos custos de restrição.

Ocorrendo modificações drásticas na economia, os fluxos da produção e dos insumos primários poderão ser bastante afetados, o que poderá resultar numa alteração da estrutura da Matriz Insumo-Produto. Neste caso poderá ser necessário, ou mesmo imprescindível, determinar novos valores para os custos das restrições, que sejam capazes de refletir esta nova conjuntura econômica.

Para estudos voltados para o planejamento de sistemas de distribuição, os quais apresentam características bem definidas, é necessário possuir valores mais específicos para os custos das interrupções. Assim, devem estar disponíveis relações entre produção e consumo de energia elétrica ou Matrizes Insumo-Produto regionalizadas, ou num nível ainda mais desagregado, o que, na grande maioria das vezes, não ocorre.

Pelo que foi apresentado neste capítulo, os métodos globais têm suas aplicações mais voltadas para a avaliação dos efeitos de uma restrição ao consumo de energia elétrica, provocada, por exemplo, por deficiências no sistema de geração ou transmissão, que resultará numa redução do nível de produção dos consumidores afetados.

No caso brasileiro, por exemplo, restrições do tipo racionamento de energia elétrica têm sido provocadas por atrasos em obras previstas e situações hidrológicas adversas.

Sendo conhecida com uma certa antecipação, podendo perdurar por um longo período de tempo e, em geral, tendo uma amplitude considerável (sem no entanto levar a economia a desestruturação, cujos efeitos seriam altamente negativos), uma restrição de energia elétrica, no sentido aqui considerado, tem efeitos muito diferentes daqueles que resultam de uma interrupção inesperada do fornecimento de energia elétrica originada por falhas de componentes de sistemas de distribuição.

Uma interrupção, ainda que momentânea, pode levar à paralisação, ou perturbação, dos processos de produção dos consu

midores, causando danos nos equipamentos, perdas de matérias primas, entre outros efeitos, que representam reais prejuízos aos mesmos.

Embora as metodologias aqui discutidas permitam o cálculo dos custos das interrupções ou restrições para os diversos setores econômicos, tais com agricultura, indústria e comércio por exemplo, parece inadequado dar um tratamento idêntico a todos eles uma vez que os mesmos apresentam características bastante diferentes entre si.

Um dado sistema de distribuição tem por característica o atendimento a um conjunto bem delimitado de consumidores que se envolvem com as mais diversas atividades, sendo porém, este conjunto, bastante inferior em número àquele relativo ao sistema de geração-transmissão.

Parece então, pelo que foi exposto acima, que numa avaliação mais apropriada dos custos das interrupções provocadas por falhas num sistema de distribuição é necessário recorrer a análises mais específicas, ou micro-orientadas, para cada um dos diferentes tipos de consumidor que são atendidos por tal sistema. As metodologias encontradas na literatura que têm seguido este tipo de análise específica serão descritas nos capítulos seguintes.

Porém, em situações onde não se disponha de maiores informações a respeito dos consumidores atendidos, ou onde análises específicas como as descritas acima não podem ser, por qualquer motivo, empregadas, os valores obtidos pelos métodos globais aqui descritos podem servir como uma primeira aproximação (maior ou menor) dos custos (reais) das interrupções.

CAPÍTULO III

CÁLCULO DOS CUSTOS DAS INTERRUPÇÕES PARA OS CONSUMIDORES RESIDENCIAIS ATRAVÉS DE MÉTODOS ESPECÍFICOS

3.1 - Introdução

A nível de sistemas de distribuição a classe de consumidores residenciais é responsável por uma parcela significativa do número total de consumidores e do consumo de energia elétrica.

Por este motivo é necessário que esta classe de consumidores também seja incluída em eventuais estudos sobre custos das interrupções e os prejuízos sofridos pelos mesmos como consequência de cortes de energia elétrica devem ser avaliados, tal como o são os prejuízos sofridos pelos consumidores industriais e comerciais, entre outros.

Embora se possa argumentar que estes prejuízos sejam pequenos para cada consumidor considerado individualmente, isto não significa que o seu cálculo deve ser menosprezado, uma vez que o grande número de consumidores residenciais existentes pode resultar em custos de ordem significativa.

Porém, devido às peculiaridades no que diz respeito ao uso e finalidade da energia elétrica no âmbito de uma residência, a determinação de tais prejuízos torna-se uma tarefa bastante difícil, já que as atividades realizadas em seu interior tais como lazer, bem-estar, segurança, conforto e alimentação entre outras, não são passíveis de valorização econômica direta.

Outro obstáculo, que surge na determinação dos custos das interrupções para estes consumidores, é que os efeitos de tais cortes dependem em muito do momento em que os mesmos ocorrem. Assim:

- . Uma interrupção durante a madrugada certamente causará muito menos inconvenientes às atividades de seus ocupantes do

que interrupções que ocorram durante o dia ou durante a noite.

- . Cortes de duração muito pequena, ou mesmo de 1 ou 2 horas, podem não afetar significativamente as atividades domésticas, uma vez que aquelas atividades que exigem a disponibilidade de iluminação ou a utilização de equipamentos elétricos, podem ser substituídos por outras que dependam menos da eletricidade, minimizando assim os prejuízos.
- . Perdas de alimentos mantidos sob refrigeração só se tornam significativas quando as interrupções são bastante prolongadas.

Por todos estes motivos, muitos autores têm relegado a um segundo plano a avaliação dos custos das interrupções para os consumidores residenciais.

Muitas vezes os valores usados são fruto de uma abordagem mais geral, também aplicável a outros tipos de consumidores, sendo estes os casos, por exemplo, dos custos das interrupções obtidos via excedente do consumidor ou por relações do tipo produção-consumo de energia elétrica ou através de análises realizadas com o auxílio da Matriz Insumo-Produto, como visto no capítulo anterior.

Entretanto, reconhecendo a importância, mas também as dificuldades relacionadas com a determinação dos custos das interrupções para os consumidores residenciais, alguns autores têm procurado avaliá-los através de metodologias voltadas particularmente para esta classe de consumidores, procurando dar-lhes um tratamento diferenciado em relação às outras classes de consumidores. Tais metodologias encontram-se descritas e analisadas a seguir.

3.2 - Análise das Metodologias para o Cálculo dos Custos das Interrupções para os Consumidores Residenciais

De modo geral, as metodologias que serão aqui criticamente discutidas podem ser separadas em duas categorias:

- . As que se baseiam numa análise teórica quanto aos possíveis efeitos de uma interrupção e que não recorrem, em princípio, às avaliações fornecidas pelos próprios consumidores.

- . As que se baseiam em respostas diretas obtidas por meio de pesquisas de opinião especialmente orientadas para este tipo de consumidor.

Tais metodologias têm adotado enfoques mais ou menos detalhados, e diferentes uns dos outros, que se irão refletir nos custos das interrupções por elas estimados. No final deste capítulo procurar-se-á estabelecer a conveniência de se utilizar uma ou outra, ou uma combinação delas, no cálculo de tais custos.

3.2.1 - Cálculo dos custos das interrupções para os consumidores residenciais através de análises teóricas

Como visto, as interrupções de energia elétrica podem interferir nas diversas atividades desenvolvidas no interior das residências provocando, assim, reais prejuízos a seus ocupantes.

No trabalho de Sheppard⁽⁴⁷⁾, no estudo realizado na Suécia⁽¹⁵⁾ e na proposição feita por Munasinghe⁽³⁾, que serão analisados a seguir, a valorização econômica destes prejuízos, indispensável à determinação dos custos das interrupções para os consumidores residenciais, é feita sem a utilização das avaliações fornecidas pelos próprios consumidores.

3.2.1.1 - Sheppard⁽⁴⁷⁾

Para Sheppard, o custo de uma interrupção para um consumidor residencial não pode ser medido diretamente em termos da produção perdida, devendo-se analisar como os diferentes usos da eletricidade, tais como iluminação, cocção de alimentos e uso de aparelhos eletrodomésticos, entre outros, são afetados por tal ocorrência.⁽⁴⁷⁾

Deixando de lado as possíveis contribuições dos prejuízos relacionados com o desligamento de aparelhos de ar condicionado, de refrigeração, televisores e outros aparelhos elétricos, o autor considera apenas o custo relacionado com a paralisação do trabalho de uma dona-de-casa quando ela está cozinhando ou realizando outras tarefas domésticas.

Este custo é considerado igual a um valor arbitrado que corresponderia também ao valor do tempo perdido pelos trabalhadores fora do seu horário de serviço (quando estes estão a

caminho do trabalho, por exemplo). (47)

A partir deste valor, do número de pessoas que trabalham em casa e que são afetadas por uma interrupção de energia no momento da demanda máxima do sistema e do valor desta demanda máxima referente aos consumidores residenciais, o autor obteve uma estimativa para o custo de um kWh não suprido à classe residencial da Grã-Bretanha igual a 15 vezes o preço médio do kWh fornecido a estes consumidores, no período de 1965 a 1966.

De acordo com as características próprias das atividades domésticas, onde existe uma certa flexibilidade na execução de determinadas tarefas e dada a possibilidade destas serem continuadas mesmo durante a interrupção, os prejuízos reais provocados por tal corte de energia podem ser muito pequenos e neste caso a proposição de Sheppard pode incorrer numa sobre-avaliação destes prejuízos. Além do mais, a comparação do valor do tempo destinado pela dona de casa a tarefas domésticas com o valor correspondente a um trabalhador ou a uma mulher que trabalha fora de casa, nem sempre é válida sob o ponto de vista econômico. (48)

Por outro lado, esta proposição pode recair numa sub-avaliação dos custos das interrupções ao desconsiderar que algumas atividades exercidas no interior das residências, tais como lazer e outras que exigem o funcionamento de aparelhos eletrodomésticos, também são afetadas, como será realçado nos itens seguintes.

3.2.1.2 - Estudo realizado na Suécia (15)

Num trabalho realizado na Suécia em 1969 (15) os autores procuraram estabelecer uma metodologia que permitisse a obtenção dos custos das interrupções de energia elétrica através de uma análise dos efeitos que tais interrupções exercem sobre as diversas atividades desenvolvidas no interior das residências, e dos possíveis gastos extras que se venham a tornar necessários como consequência das mesmas.

É reconhecido que muitos dos inconvenientes resultantes de uma interrupção são de natureza psicológica ou se relacionam com um certo desconforto para os ocupantes da residência. Dada a dificuldade em se avaliar economicamente tais inconvenientes, estes não foram incluídos na formação dos custos das inter

rupções.

Assim, tendo como base de análise uma residência padrão, foram considerados os seguintes aspectos: ⁽¹⁵⁾

- . Efeitos sobre as atividades domésticas tais como limpeza, arrumação geral, lavagem de roupas e outras

Admitindo-se que para a execução de tais atividades é necessário recorrer à utilização de aparelhos eletrodomésticos e/ou iluminação elétrica, a eficiência do trabalho executado por uma empregada doméstica ou dona de casa é reduzida, refletindo-se por exemplo em atividades desenvolvidas de maneira parcial ou em modificações na rotina de serviço passando-se, quando possível, à execução de tarefas menos dependentes da disponibilidade de eletricidade.

Assim, para interrupções que ocorram no horário de trabalho, das 8:00 às 17:00 h (com 1 hora de intervalo) no caso considerado pelo estudo, esta redução na eficiência corresponderá ao prejuízo atribuível às interrupções de eletricidade, assumindo-se por cada hora de interrupção um valor igual a 37,5% do salário horário pago a uma empregada doméstica.

- . Interferência na preparação das refeições

Os autores consideraram que no caso de uma interrupção de longa duração poderia haver interferências na preparação das refeições, uma vez que fogões elétricos e outros eletrodomésticos ficam inoperantes. Assim, interrupções com mais de 24 horas de duração são penalizadas por um custo extra por cada dia de interrupção, sem que os autores tenham especificado, no trabalho original, como este custo foi avaliado.

Como os horários destinados às refeições principais são de certo modo inflexíveis, principalmente aquele destinado ao almoço, interrupção de algumas poucas horas (2-3 horas) durante os períodos correspondentes à preparação de tais refeições podem resultar em atrasos tais que os residentes seriam levados a adquirirem refeições prontas resultando da mesma forma em gastos extras.

No Brasil a grande maioria dos fogões são a gás e os

únicos inconvenientes decorrentes do corte de energia seriam a inoperância de aparelhos eletrodomésticos (liquidificadores, batedeiras, etc.) e a falta de iluminação ambiente, o que não levaria a um impedimento completo da preparação das refeições e, portanto, os prejuízos resultantes seriam bastante inferiores aos estimados pelos autores.

- . Inoperância de aparelhos elétricos destinados ao aquecimento interno das residências

Devido a uma certa inércia térmica, variações de temperatura interna são lentas, sendo uma função, entre outros fatores, da diferença entre as temperaturas interna e externa, do grau de isolamento térmico e da dimensão da residência⁽¹⁴⁾, de modo que para as primeiras horas de interrupção de energia os autores admitem que não há qualquer desconforto ou prejuízo; porém, para as interrupções com durações superiores a 4 horas os prejuízos, crescentes, foram valorizados através dos gastos extras incorridos com a utilização de outras formas de aquecimento durante tais períodos.

- . Danos a produtos alimentícios contidos em congeladores

Considerando que apenas interrupções muito longas, superiores a 24 horas de duração, possam causar tais danos, os mesmos foram valorizados de acordo com cláusulas de apólices de seguros que determinam o pagamento de certa quantia na ocorrência de perdas de tais produtos (sic). Uma vez que somente 25% dos consumidores possuem tais aparelhos, foi admitido que esta parcela dos custos das interrupções com mais de 24 horas de duração é igual a 25% do valor pago pelas seguradoras.

- . Interferência em atividades de lazer

O trabalho assume um custo fixo por hora de interrupção durante o horário destinado ao lazer, das 17:00 às 23:00 h. Não foi indicado, porém, como os autores obtiveram este valor.

A partir dos aspectos apontados acima, foi feita a distribuição das diversas atividades durante as 24 horas do dia, uma vez que elas não são realizadas simultaneamente e também por

que, no caso de uma interrupção ocorrer fora do horário a ela destinado, nenhum prejuízo deverá ser contabilizado.

Com isto, foram obtidos os valores máximos dos custos das interrupções de diversas durações, que estão expressos na Tabela 3.1 a seguir como uma composição de custos fixos e custos variáveis. Os primeiros correspondendo aos custos associados à interrupção de duração igual ao limite inferior do intervalo e os segundos correspondendo ao acréscimo dos custos por cada hora além deste limite.

| Interrupções que se Incluem no Intervalo | Custos Fixos no início do Intervalo (US\$) | Custo Variável dentro do Intervalo (US\$/h) |
|--|--|---|
| 0 - 1h | 0,0 | 0,58 |
| 1h - 2h | 0,58 | 0,58 |
| 2h - 8h | 1,16 | 0,58 |
| 8h - 24h | 4,64 | 0,39 |
| 24h - 48h | 10,88 | 0,97 |

Tabela 3.1 - Custos das interrupções para os consumidores residenciais da Suécia. Valores de 1969. (15)

Uma interrupção de 23 horas, por exemplo, apresenta um custo igual a:

$$\begin{array}{rcl} 4,64 & + & (23-8) \cdot 0,39 \\ \text{(custo fixo)} & & \text{(custo variável)} \end{array} = 10,49 \text{ US\$} \quad (3.1)$$

Pela maneira através da qual foram obtidos, os valores indicados na Tabela 3.1 podem ser usados para a determinação dos custos das interrupções relativos a uma residência de modo individual, independentemente da sua demanda de energia elétrica. Para o cálculo dos custos totais das interrupções para os consumidores residenciais, dentro de um dado sistema elétrico, torna-se necessário, então, conhecer o número de consumidores atingidos por cada falha que ocorra no sistema.

Em sistemas muito grandes, ou quando o número de consumidores atingidos é de difícil quantificação, às vezes é mais conveniente relacionar os custos das interrupções com a demanda média de ponta de cada consumidor que, por sua vez, é um dado, em geral, mais acessível.

A Tabela 3.2 a seguir mostra os valores obtidos quan

do é admitida uma demanda média de ponta igual a 0,8 kW para uma residência padrão, sem aparelhos de aquecimento elétrico.⁽¹⁵⁾

| Interrupções que se Incluem no Intervalo | Custo Fixo no Início do Intervalo (US\$/kW) | Custo Variável dentro do Intervalo (US\$/kW.h) |
|--|---|--|
| 0 - 1h | 0,0 | 0,725 |
| 1 - 2h | 0,725 | 0,725 |
| 2 - 8h | 1,45 | 0,725 |
| 8 - 24h | 5,80 | 0,487 |
| 24 - 48h | 13,60 | 1,212 |

Tabela 3.2 - Custos das interrupções para os consumidores residenciais da Suécia, normalizados segundo a demanda média de ponta destes consumidores. Valores de 1969.⁽¹⁵⁾

A parcela da demanda residencial destinada ao aquecimento interno deverá ser deduzida da demanda residencial total, antes que os valores da Tabela 3.2 acima sejam usados. No caso onde a demanda média da área em análise (sem a demanda para aquecimento) for muito diferente do valor adotado de 0,8 kW, novos valores, em US\$/kW e US\$/kW.h, deverão ser calculados a partir da Tabela 3.1 como feito anteriormente.

As Tabelas 3.1 e 3.2 apresentam apenas os valores máximos dos custos das interrupções para as diferentes durações consideradas, não levando em conta a variação destes custos segundo os diferentes períodos do dia. Como esta consideração pode ser importante em um estudo que procure uma melhor aproximação dos valores "reais" para os custos das interrupções, a Tabela 3.3 a seguir indica os valores máximos referentes a três períodos do dia, obtidos a partir de valores mencionados no trabalho original⁽¹⁵⁾, em US\$ e US\$/h.

Uma restrição que pode ser feita aos valores indicados nas Tabelas 3.1 e 3.2 é que, como visto, no trabalho original não estão indicados claramente os métodos utilizados na obtenção de algumas das parcelas usadas na composição dos custos das interrupções, deixando transparecer que estas foram estimadas ou arbitradas empiricamente.

| Interrupções que se incluem no Intervalo | Manhã-Tarde (8-17h) | | Noite (17-23h) | | Madrugada (23-8h) | |
|--|--|---|--|---|--|---|
| | Custo Fixo no Início do Intervalo (US\$) | Custo Variável dentro do Intervalo (US\$/h) | Custo Fixo no Início do Intervalo (US\$) | Custo Variável dentro do Intervalo (US\$/h) | Custo Fixo no Início do Intervalo (US\$) | Custo Variável dentro do Intervalo (US\$/h) |
| 0 - 1h | 0 | 0,58 | 0 | 0,19 | 0 | 0 |
| 1 - 2h | 0,58 | 0,58 | 0,19 | 0,19 | 0 | 0,58 |
| 2 - 8h | 1,16 | 0,58 | 0,38 | 0,20 | 0,58 | 0,55 |
| 8 - 24h | 4,64 | 0,39 | 1,58 | 0,58 | 3,88 | 0,44 |
| 24 - 48h | 10,88 | 0,97 | 10,88 | 0,97 | 10,88 | 0,97 |

Tabela 3.3 - Custos das interrupções para consumidores residenciais da Suécia, em função do período do dia.



3.2.1.3 - Jaramillo e Skoknic⁽⁴⁵⁾

Num trabalho desenvolvido no Chile em 1973, os autores procuraram determinar os custos das restrições (interrupções) de energia elétrica para os consumidores residenciais a partir de dois componentes:

- . Custo da energia elétrica fornecida, em US\$/kWh.
- . Custos dos aparelhos elétricos existentes na residência, a avaliados em termos de seus valores anualizados durante as suas respectivas vidas úteis, divididos pelos correspondentes consumos anuais de eletricidade, em US\$/kWh. O trabalho inclui também o gasto com as instalações elétricas considerando um período de vida útil igual a 30 anos e um consumo anual igual ao atribuído à iluminação.

Este procedimento foi tomado pelos autores com base no fato de que os benefícios auferidos pelo consumidor através do uso do kWh marginal cortado podem ser considerados, no mínimo, iguais aos gastos por ele realizados a fim de usufruí-lo.

Desta forma foi obtido pelos autores um custo igual a US\$0,25/kWh (valor de 1972).

Mais corretamente, na determinação dos custos líquidos das interrupções não deveria ser incluído o gasto com o consumo de energia elétrica uma vez que, na margem, o consumidor se encontra indiferente em comprar o último kWh e usufruir dos benefícios associados ao seu consumo ou permanecer com o dinheiro que seria gasto com sua aquisição. (3, 9, 49)

Existe também uma sobrestimação dos custos das interrupções no sentido de que nem todos os equipamentos e aparelhos estarão ligados no momento de uma interrupção ou terão o seu funcionamento afetado no caso de falhas de curta ou média duração. Além do mais, as atividades que necessitam de aparelhos elétricos podem ser, algumas vezes, substituídas por outras que não dependam de tais aparelhos.

Em contrapartida, a metodologia proposta incorpora uma subestimativa do valor real destes custos no sentido que os prejuízos com perdas de alimentos, interferência na preparação de refeições e perda de lazer entre outros, não são considerados.

3.2.1.4 - Munasinghe^(3, 50)

Para o cálculo dos custos das interrupções para os consumidores residenciais, Munasinghe^(3, 50) considera que é possível tratar a residência como uma unidade produtiva que se utiliza de diversos insumos tais como, tempo de seus ocupantes, aparelhos elétricos e energia elétrica por exemplo, para a obtenção de diversos produtos tais como, lazer, conforto e nutrição, os quais se encontram mais diretamente ligados ao emprego da eletricidade dentro da residência.

Os custos das interrupções, desta forma, seriam calculados através da determinação dos prejuízos sofridos pelos consumidores durante estes cortes de eletricidade, quando insumos se danificam ou se tornam ociosos e os produtos finais são afetados.

A dificuldade desta abordagem reside em determinar tais prejuízos, uma vez que alguns insumos e produtos finais são utilizados somente dentro da própria residência não possuindo, portanto, valores de mercado bem estabelecidos.

Para Munasinghe, as interferências, e consequentemente os prejuízos, provocadas por interrupções inesperadas de fornecimento de eletricidade em atividades domésticas e na preparação de alimentos podem ser consideradas como pequenas, enquanto que a perda de lazer parece ser o fator preponderante na determinação dos custos das interrupções. De fato:

- . Existe, como já mencionado anteriormente, uma grande flexibilidade de troca entre as diversas tarefas realizadas pelas donas de casa ou empregadas domésticas no interior da residência, podendo-se passar daquelas que necessitam de aparelhos elétricos, tais como máquinas de lavar, aspiradores de pó e ferros elétricos, para outras que não dependam de eletricidade para sua execução, havendo também a possibilidade de se substituir tarefas executadas internamente por outras executadas externamente, como por exemplo, ir a um supermercado fazer compras.

Deste modo, para estas atividades, os prejuízos resultantes de uma interrupção podem ser considerados pequenos, restando porventura prejuízos de ordem psicológica (sic) de correntes de modificações na rotina normal de trabalho.

- . A preparação de alimentos somente será significativamente

afetada se esta depender de fogões e outros aparelhos elétricos ou da iluminação ambiente. No caso de interrupções de longas durações poderá ser necessário recorrer à compra de alimentos ou refeições, incorrendo-se, neste caso, em gastos extras, a fim de amenizar os efeitos de um atraso significativo no horário das refeições, o que não seria necessário para interrupções de curtas durações. Em regiões onde fogões elétricos não são usados para cocção de alimentos, a parcela correspondente dos custos das interrupções seria muito pequena.

- . O controle de temperatura efetuado por refrigerador e por aparelhos de ar condicionado, somente é afetado por interrupções de durações relativamente longas, da ordem de algumas horas. Como estas interrupções ocorrem menos frequentemente, as suas contribuições para os custos das interrupções podem ser desprezadas. (3,50)
- . O fato de que atividades de lazer, tais como leitura e assistir televisão, realizadas durante a noite, não podem ser substituídas num curto prazo por outras que não dependam de eletricidade, faz crer que a interferência das interrupções de energia elétrica nestas atividades de lazer pode-se constituir na componente principal dos custos das interrupções.

Assim, para calcular o custo do lazer que é afetado por uma interrupção de eletricidade, Munasinghe^(3,50) recorre a um modelo baseado na escolha feita pelo consumidor entre trabalho e lazer de modo a maximizar a sua utilidade total, conforme a análise econômica da Teoria do Consumidor^(51,52), a qual, para um melhor entendimento do desenvolvimento matemático e dos comentários feitos a seguir, é apresentada de modo bastante sucinto no Anexo II.

De acordo com este modelo, o consumidor procura maximizar a sua utilidade total, U , em um dado período de tempo T , sendo esta utilidade uma função do lazer, V , que pode ser usufruído sem a utilização da energia elétrica, do lazer, S , que não pode ser usufruído sem a utilização da mesma forma de energia e da sua renda I , já descontados todos os gastos feitos pelo consumidor para desfrutar de lazer, e que representa todos os demais bens que podem ser por ele adquiridos: (3,50)

$$U = U(S, V, I) \quad (3.2)$$

O lazer do tipo S pode ser representado por uma função de seus insumos, a saber:

- . período de tempo destinado para este tipo de lazer, t , em horas;
- . consumo de eletricidade, e , em kWh;
- . serviços proporcionados pelo uso de equipamentos elétricos, z ;
- . outros insumos, x .

Assim:

$$S = S(t, e, z, x) \quad (3.3)$$

Pode-se escrever ainda que tanto e como z dependem dos equipamentos elétricos usados durante o tempo t , isto é:

$$e = e(k, t) \quad (3.4)$$

$$z = z(k, t) \quad (3.5)$$

onde k representa o somatório dos valores anualizados correspondentes ao custo dos equipamentos elétricos utilizados.

Para o lazer do tipo V, pode-se escrever uma função que depende de:

- . tempo destinado a este tipo de lazer, θ , em horas;
- . outros insumos, m .

Assim:

$$V = V(\theta, m) \quad (3.6)$$

A restrição orçamentária que deve ser incluída na análise pode ser escrita como: ^(3,50)

$$I = w(H - t - \theta) - p.e - b.k - c.x - r.m \quad (3.7)$$

onde:

w - taxa salarial líquida horária

H - número máximo possível de horas de trabalho no intervalo de tempo T considerado

p - preço médio do kWh de eletricidade

b - fração, relativamente a um ano, do período H em estudo

c, r - custo de cada unidade de insumo \underline{x} e \underline{m} respectivamente

Ao invés de se maximizar a função de utilidade U, sujeita à restrição dada em (3.7) pode-se, de modo equivalente, maximizar a função de Lagrange, L, sem restrições.

$$L = U(S, V, I) - \lambda [H - t - \theta - \frac{1}{w} (I + pe + bk + cx + rm)] \quad (3.8)$$

Assim, anulando as derivadas de primeira ordem, é possível obter as seguintes equações:

$$\frac{\partial L}{\partial t} = \frac{\partial U}{\partial S} \left[\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial t} \right] + \lambda \left[1 + \frac{p}{w} \frac{\partial e}{\partial t} \right] = 0 \quad (3.9)$$

$$\frac{\partial L}{\partial k} = \frac{\partial U}{\partial S} \left[\frac{\partial S}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial k} + \frac{\partial S}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial k} \right] + \lambda \left[p \frac{\partial e}{\partial k} + b \right] = 0 \quad (3.10)$$

$$\frac{\partial L}{\partial x} = \frac{\partial U}{\partial S} \frac{\partial S}{\partial x} + \frac{\lambda}{w} c = 0 \quad (3.11)$$

$$\frac{\partial L}{\partial m} = \frac{\partial U}{\partial V} \frac{\partial V}{\partial m} + \frac{\lambda}{w} r = 0 \quad (3.12)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \theta} = \frac{\partial U}{\partial V} \frac{\partial V}{\partial \theta} + \lambda = 0 \quad (3.13)$$

$$\frac{\partial L}{\partial I} = \frac{\partial U}{\partial I} + \frac{\lambda}{w} = 0 \quad (3.14)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = -[H - t - \theta - \frac{1}{w} (I + pe + bk + cx + rm)] = 0 \quad (3.15)$$

Multiplicando as equações (3.9), (3.10) e (3.11), respectivamente por dt, dk e dx, somando-as e posteriormente rearranjando os termos resultantes, pode-se obter:

$$\frac{\partial U}{\partial S} \cdot dS = \frac{-\lambda}{w} (w \cdot dt + p \cdot de + b \cdot dk + c \cdot dx) \quad (3.16)$$

onde:

$$dS = \left(\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial t} \right) dt + \left(\frac{\partial S}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial k} + \frac{\partial S}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial k} \right) dk + \frac{\partial S}{\partial x} dx \quad (3.17)$$

Dividindo (3.17) por (3.14), vem:

$$\frac{(\partial U / \partial S)}{\partial U / \partial I} \cdot dS = w \cdot dt + p \cdot de + b \cdot dk + c \cdot dx \quad (3.18)$$

mas, conforme a equação (AII-8) do Anexo II, o lado esquerdo da equação acima representa a taxa marginal de substituição da renda da por lazer dependente de eletricidade, $TMS_{I,S}$:

$$TMS_{I,S} = \frac{\partial U / \partial S}{\partial U / \partial I} = - \frac{dI}{dS} \Big|_{U, V=c \cdot \underline{eS}} \quad (3.19)$$

que mede o aumento necessário da renda I que permite ao consumidor submetido a uma redução no seu lazer dependente de eletricidade, S, permanecer na mesma curva de indiferença, ou seja, mantendo-o no mesmo grau de satisfação ou utilidade.

Para uma variação, ΔS , suficientemente pequena, a equação (3.18) pode escrever-se na forma:

$$TMS_{I,S} \cdot \Delta S = w \Delta t + p \Delta e + b \Delta k + c \Delta x \quad (3.20)$$

O lado esquerdo da equação anterior representa a redução no bem-estar do consumidor para uma redução de lazer ΔS , calculado em função dos insumos necessários para sua obtenção, representados pelo lado direito da mesma equação.

Uma vez que durante a interrupção não há gastos com o consumo de eletricidade correspondente ao termo $p \Delta e$, a perda líquida do bem estar, ou os custos correspondentes a uma interrupção de energia de duração Δt , será igual a:

$$C = TMS_{I,S} \cdot \Delta S - p \Delta e = w \Delta t + b \Delta k + c \Delta x \quad (3.21)$$

Da mesma forma, pode-se determinar o valor marginal da perda do lazer, V, que não depende da eletricidade, a partir das equações (3.12) e (3.13). Multiplicando-as respectivamente

por dm e $d\theta$ e somando-as vem:

$$\frac{\partial U}{\partial V} \left(\frac{\partial V}{\partial m} dm + \frac{\partial V}{\partial \theta} d\theta \right) + \lambda d\theta + \frac{\lambda}{w} r \cdot dm = 0 \quad (3.22)$$

Rearranjando os termos da equação anterior, com

$$dV = \frac{\partial V}{\partial m} dm + \frac{\partial V}{\partial \theta} d\theta$$

resulta:

$$\frac{\partial U}{\partial V} dV = - \frac{\lambda}{w} r dm - \lambda d\theta \quad (3.23)$$

Dividindo (3.23) por (3.14), vem:

$$\frac{\partial U / \partial V}{\partial U / \partial I} dV = r dm + w d\theta \quad (3.24)$$

mas, tal como para a equação (3.18), pode-se observar que o lado esquerdo da equação (3.24) representa a taxa marginal de substituição da renda por lazer independente de eletricidade, $TMS_{I,V}$:

$$TMS_{I,V} = \frac{\partial U / \partial V}{\partial U / \partial I} = - \frac{dI}{dV} \Big|_{U, S = \text{const}} \quad (3.25)$$

e assim, para uma variação, ΔV , suficientemente pequena, resulta:

$$TMS_{I,V} \Delta V = r \Delta m + w \Delta \theta \quad (3.26)$$

O lado esquerdo da equação anterior mede a redução no bem-estar devido a uma diminuição do lazer ΔV através da redução dos insumos necessários ao seu desfrute, Δm e $\Delta \theta$.

Assim, para se determinar os custos das interrupções segundo o desenvolvimento matemático apresentado acima, a equação (3.21) mostra que se torna necessário determinar como os equipamentos elétricos são usados durante as horas de lazer, quais os outros insumos que também são usados nestas horas e os seus respectivos custos, $b\Delta k$ e $c\Delta x$, para uma interrupção de duração Δt .

Munasinghe argumenta que, na prática, no entanto, am bos os termos são desprezíveis: ⁽³⁾

- . $c\Delta x$ corresponderia, por exemplo, ao custo de uma refeição que, sendo consumida pelos residentes enquanto estes desfru tam de lazer (assistindo televisão por exemplo), é interrom pida por um corte de energia perdendo-se completamente os alimentos; se esta refeição puder ser continuada após ou mesmo durante esta interrupção de energia, não haveria qualquer custo.
- . A parcela, $b\Delta k$, dos custos anualizados dos equipamentos elê tricos destinados ao lazer referida à duração Δt , pode-se calcular pela expressão:

$$b\Delta k = \frac{bk}{t} \Delta t \quad (3.27)$$

na qual se pressupõe uma distribuição uniforme do valor b_k ao longo do tempo t destinado ao lazer dependente de eletri cidade, durante o período H analisado. Levando em consideração os valores usuais dos equipamentos elétricos destinados ao lazer, as suas respectivas vidas úteis e a duração da interrupção Δt , esta parcela é muito pequena, podendo, por tanto, ser desprezada.

Assim, o termo $w\Delta t$ na equação (3.21) é dominante e, de maneira aproximada, pode-se escrever então que:

$$\frac{C}{\Delta t} \approx w \quad (3.28)$$

Esta equação permite finalmente concluir que o custo de uma interrupção com uma hora de duração é aproximadamente i gual à taxa salarial líquida horária, w .

Da mesma forma, pode-se simplificar a equação (3.26) desprezando o termo $r.dm$. Assim, resulta:

$$\frac{TMS_{I,V} \cdot \Delta V}{\Delta \theta} \approx w \quad (3.29)$$

Este resultado permite então concluir que tanto os valores relativos à redução do lazer dependente de eletricidade quanto os valores relativos à redução do lazer independente de

eletricidade podem ser considerados aproximadamente iguais à taxa salarial líquida horária do agregado residencial.

A principal vantagem desta formulação para o cálculo dos custos das interrupções para os consumidores residenciais é a relativa facilidade em se obter informações quanto às rendas líquidas dos consumidores e a possibilidade de se estabelecer uma boa relação entre o consumo de energia elétrica residencial e a renda familiar, facilitando assim a determinação destes custos. (3)

A estimativa dos custos das interrupções para consumidores residenciais calculada por esta metodologia deve ser encarada com certa precaução, pois alguns erros podem ocorrer, uma vez que: (3)

- . O autor admite que o trabalhador possa escolher livremente entre trabalhar ou não. Se ele é impedido de trabalhar tanto quanto deseja, a taxa salarial w, sobrestimará o valor do lazer. Como as horas de lazer são incluídas no período no-turno, a taxa salarial correspondente às horas extras poderia ser mais adequada, mas tal possibilidade não é considerada.
- . Os possíveis prejuízos sofridos pelos membros que não trabalham fora da residência são ignorados, uma vez que se admite que existe, para eles, uma maior flexibilidade quanto ao horário destinado ao lazer e conseqüentemente, estes prejuízos podem ser considerados pequenos.
- . Se existe alguma expectativa por parte do trabalhador quanto à confiabilidade do fornecimento de eletricidade, pode haver alguma influência na sua escolha entre lazer e trabalho e o custo das interrupções seria inferior, neste caso, àquele calculado quando tal expectativa não existe. Isto porque, para cada hora que o trabalhador destina ao lazer, ele espera que só poderá usufruir realmente uma fração deste período.
- . Se algum lazer é desfrutado fora de casa no momento em que ocorre uma interrupção em sua residência, idealmente este caso deveria ser considerado separadamente.

Além disto pode-se ainda acrescentar que, segundo esta metodologia, as diversas horas destinadas ao lazer são igual

mente valorizadas através da equação (3.28). No entanto, de acordo com a propriedade da taxa marginal de substituição decrescente (ver Anexo II), a segunda hora de lazer que é interrompida, valerá mais do que a primeira, a terceira mais do que a segunda e assim por diante, de modo que idealmente deveria ser considerado um valor variável para cada hora de lazer que é interrompido.

Na prática, os consumidores também podem atribuir valores diferentes às diversas atividades que possam exercer dentro do horário destinado ao lazer. Por exemplo assistir a noticiário das 20:00h valerá mais do que assistir a novela das 19:00h, o que implicaria num custo do lazer variável segundo o momento da interrupção.

Reconhecidas tais dificuldades, o autor⁽³⁾ admite que os valores calculados pelas equações (3.21) ou (3.28) devem ser testados por outra via, que pode ser a de uma pesquisa direta realizada junto aos consumidores.

Munasinghe também considera que não apenas os prejuízos que um consumidor sofre, a curto prazo, devido à ocorrência de uma interrupção devem ser considerados. Gastos adicionais devido a uma expectativa por parte do consumidor de uma baixa qualidade de fornecimento, também devem ser incluídos.⁽³⁾

Assim, se o consumidor compra um fogão a gás ao invés de um fogão elétrico, unicamente porque espera um grande número de interrupções no futuro, a diferença entre os preços destes dois aparelhos também deveria ser incluída nos custos das interrupções (admitindo-se neste caso que o fogão elétrico seja mais barato). Da mesma forma, gastos com equipamentos de geração de eletricidade e de iluminação de emergência, como lâmpadas a gás e outros, também devem ser incluídos.

Estes gastos são chamados de custos indiretos uma vez que eles não podem ser atribuídos a uma dada interrupção específica, mas dependem desta expectativa por parte do consumidor quanto à qualidade do fornecimento de energia elétrica. Quanto pior a sua expectativa, maiores tendem a ser os seus gastos adicionais, ou de outro modo, maiores os custos indiretos.

Os prejuízos atribuídos aos efeitos imediatos das interrupções, tais como perdas de alimentos, de lazer, interferências nas atividades domésticas, são então classificados como

custos diretos das interrupções e que, juntamente com os indiretos, compõem os custos totais das interrupções.

Uma pesquisa realizada, em 1976, em Cascavel, Paraná, pelo autor e por engenheiros e técnicos da COPEL^(3,50), procurou verificar a validade de se calcular os custos das interrupções com base na metodologia discutida nos parágrafos anteriores, considerando apenas os efeitos imediatos de tais cortes no fornecimento de energia elétrica, os custos diretos, não se interessando pelos chamados custos indiretos.

Nesta pesquisa, que atingiu apenas 27 consumidores residenciais, o autor procurou determinar as opiniões quanto:

- . à qualidade e ao valor do serviço oferecido pela empresa concessionária;
- . ao período em que a eletricidade é essencial às atividades de lazer;
- . ao tempo dedicado pelos consumidores às diversas atividades de lazer, como por exemplo, ouvir rádio, assistir televisão, ler, etc.;
- . ao custo de uma interrupção, avaliado pelo consumidor, durante o horário de lazer ou em outros períodos do dia;
- . à sua renda mensal;
- . ao seu consumo mensal de energia elétrica.

Todos os consumidores indicaram que a eletricidade é um serviço essencial em suas atividades diárias e cujo preço foi considerado bom pelos consumidores de renda mais baixa e um pouco alto pelos de maior renda.

A energia elétrica foi considerada essencial para o lazer durante um período médio de uma hora e meia, dentro do intervalo das 19:30 às 23:30h. Aproximadamente 60% deste tempo é dedicado à assistir televisão, 25% é destinado às refeições e o restante a outras atividades, tais como leitura e conversação, verificando que, em média, as famílias se retiravam para dormir às 23:00h (com um desvio padrão igual a 45 minutos).

Para obter os custos das interrupções, os consumidores foram inquiridos sobre o quanto eles estariam dispostos a pagar para impedir que uma interrupção de determinada duração, de um minuto até duas horas, ocorresse no momento em que estivessem

usufruindo o seu lazer ou em horas destinadas a outras atividades, por exemplo, execução de tarefas domésticas.

Os consumidores indicaram que não estariam dispostos a pagar nada mais para impedir interrupções durante o período do dia, enquanto que para o período noturno os valores indicados variaram linearmente com a duração no intervalo de 3 a 80 minutos. Muitos consumidores indicaram que eles suportariam os inconvenientes provocados por interrupções de uns poucos minutos, ao invés de pagar qualquer quantia. Por outro lado, a pesquisa mostrou que para interrupções acima de uma hora e meia de duração a disposição a pagar dos consumidores por hora de interrupção tende a cair rapidamente, como se os mesmos não estivessem dispostos a pagar grandes somas, indicando que o impacto sobre a renda pode tornar-se importante. ⁽³⁾

Uma estimativa indireta dos custos das interrupções foi também pesquisada, questionando-se os consumidores sobre quais os valores que eles julgavam razoáveis pagar à concessionária caso o número atual de interrupções fosse reduzido a metade ou quanto eles deveriam receber se este número de interrupções duplicasse. De modo geral, os valores indicados na primeira resposta foram menores que os valores correspondentes à segunda.

Os custos das interrupções para o período da noite foram obtidos a partir da média entre os valores indicados através das estimativas direta e indireta, verificando-se, através de testes estatísticos, a hipótese formulada teoricamente de que o custo horário de uma interrupção é igual a taxa salarial líquida da horária. ^(3, 50)

Com o auxílio de uma curva relacionando consumo de eletricidade e renda líquida e da característica deste consumo durante as diversas horas do dia, foram também obtidos os custos das interrupções em termos de kWh não consumido durante a interrupção. ⁽³⁾

A Tabela 3.4 a seguir mostra os resultados obtidos, onde os consumidores foram divididos em quatro classes de renda, com os custos das interrupções indicados em termos de Cr\$/ hora de interrupção e Cr\$/kWh não consumido. Nesta tabela foi considerada uma média de 2112 horas de trabalho por ano e um consumo de energia elétrica no período das 19:30 às 22:30h igual a 80% do consumo diário.

| Classe de Renda | Renda Líquida Anual (Cr\$.10 ³) | Consumo Anual de eletricidade (kWh) | Custos das Interrupções | |
|-----------------|---|-------------------------------------|-------------------------|------------------------|
| | | | Cr\$/hora | Cr\$/kWh não consumido |
| Baixa | 18,4 | 307 | 8,71 | 38,83 |
| Média Baixa | 47,7 | 794 | 22,59 | 38,94 |
| Média Alta | 97,5 | 1631 | 46,16 | 38,74 |
| Alta | 228,6 | 3283 | 108,24 | 45,12 |

Tabela 3.4 - Custos das interrupções para consumidores residenciais no Brasil (Cascavel, PR). Valores de 1976. (50)

Na tabela acima observa-se que, enquanto o custo horário das interrupções (Cr\$/h) cresce conforme a renda, o valor obtido, em termos de Cr\$/kWh não consumido permanece aproximadamente constante, exceto para a classe de alta renda onde, devido ao efeito de saturação da curva que relaciona renda e consumo de eletricidade utilizada, o valor dado em Cr\$/kWh é significativamente superior aos demais.

Por outro lado, Munasinghe⁽³⁾ argumenta que, uma vez que os prejuízos provocados por uma interrupção representam uma redução nos ganhos do consumidor e considerando que a utilidade marginal da renda é decrescente, os custos das interrupções para consumidores de renda mais baixa devem ser ponderados por pesos maiores do que aqueles correspondentes aos consumidores de maior renda.

Esta correção nos custos das interrupções, que deve representar os objetivos econômicos de distribuição de renda, permite transformá-los nos chamados custos sociais. Para o caso estudado em Cascavel^(3,50) a função usada para ponderar os custos das interrupções, transformando-os em custos sociais foi o seguinte:

$$p_i(I_i) = \frac{\bar{I}}{I_i} \quad (3.30)$$

onde:

\bar{I} - renda líquida média de todas as residências de Cascavel (incluindo também as não atendidas por eletricidade)

I_i - renda do grupo i em que foram divididos os consumidores residenciais

$p_i(I_i)$ - "peso social" correspondente ao i-ésimo grupo

Para uma renda líquida anual média (\bar{I}) igual a Cr\$67.700,00, os pesos para as quatro classes de renda da Tabela 3.4 foram iguais a 3,679; 1,419; 0,694 e 0,296, respectivamente.

A Tabela 3.5 a seguir mostra os valores para os custos das interrupções após esta ponderação:

| Classe de Renda | Custos Sociais das Interrupções | |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------|
| | Cr\$/hora | Cr\$/kWh Não Consumido |
| Baixa | 32,05 | 142,87 |
| Média Baixa | 32,05 | 55,26 |
| Média Alta | 32,05 | 26,88 |
| Alta | 32,05 | 13,36 |

Tabela 3.5 - Custos sociais das interrupções para consumidores residenciais no Brasil (Cascavel, PR). Valores de 1976.⁽⁵⁰⁾

Como pode ser visto na tabela acima, a consideração dos custos sociais das interrupções faz com que estes, medidos em Cr\$/hora, se tornem indiferentes à classe de renda a que o consumidor pertence, embora os valores correspondentes em Cr\$/kWh diminuam conforme aumenta o nível de renda.

Os valores dos custos das interrupções para os consumidores residenciais obtidos nesta pesquisa realizada em Cascavel, foram aplicados em um estudo de planejamento a longo prazo (1976-1996) do sistema de distribuição de eletricidade desta cidade.

Neste estudo, Munasinghe procurou escolher dentre várias alternativas técnicas propostas, aquela que minimizasse o somatório dos custos de implantação, operação e manutenção do sistema e os custos das interrupções, num processo de otimização onde foram considerados os custos e os benefícios de se fornecer um determinado nível de confiabilidade.

Os custos das interrupções foram calculados para as diversas classes de consumidores, mas neste capítulo referir-se-á somente a maneira pela qual foram considerados os custos relativos aos consumidores residenciais.

Para determinação de tais custos em cada uma das alternativas consideradas e em cada ano contido no horizonte de

planejamento, foram necessários inicialmente os seguintes dados:

- . A partir do estudo de previsão de carga residencial, no qual a região analisada foi dividida em quadrículas de 0,5x0,5km de lado, foi possível obter, em relação as mesmas, o número de consumidores separados nas quatro categorias de renda já citadas anteriormente.
- . Através do estudo de confiabilidade da alternativa proposta, pode-se calcular as frequências e as durações das interrupções que afetam os consumidores de cada quadrícula no período crítico de 1 hora e 30 minutos durante o qual o lazer está sendo usufruído.

Com isto, os custos totais das interrupções para cada quadrícula e para cada uma das alternativas propostas foram obtidos pelo somatório do produto do número de consumidores em cada uma das classes, pela frequência, pela duração das interrupções que ocorrem no período crítico e pelos custos das interrupções correspondentes à classe de renda considerada.

Assim:

$$C_{R_t} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 NC_{j,i,t} \cdot f_{i,t} \cdot d_{i,t} \cdot C_{j,t} \quad (3.31)$$

onde:

C_{R_t} - custo total das interrupções para os consumidores residenciais no ano t

n - número total de quadrículas

$NC_{j,i,t}$ - número de consumidores da classe de renda j na quadrícula i, no ano t

$f_{i,j}; d_{i,t}$ - frequência e duração das interrupções no horário crítico de 1 hora e meia, à noite, para a quadrícula i, ano t

$C_{j,t}$ - custo das interrupções para a classe de renda j, no ano t, em Cr\$/hora, obtido a partir dos valores das tabelas 3.5 ou 3.4, quando se deseja ou não corrigi-los para valores sociais e considerando um crescimento anual, real, de 4% na renda de todos os consumidores. ⁽³⁾

3.2.2 - Cálculo dos custos das interrupções para os consumidores residenciais através de pesquisas diretas

Uma outra maneira pela qual os custos das interrupções para os consumidores residenciais podem ser determinados é através da consideração das avaliações feitas pelos próprios consumidores acerca dos inconvenientes e dos prejuízos provocados por tais falhas no fornecimento de energia elétrica, as quais são obtidas por meio de respostas a um questionário especialmente elaborado para este fim, que é distribuído entre os mesmos.

Neste item serão apresentados os resultados obtidos por uma pesquisa realizada no Canadá^(53,54) e a proposição feita por Gutierrez⁽⁵⁵⁾ para o levantamento de tais custos.

3.2.2.1 - Pesquisa realizada no Canadá (Wacker, Wojczynski e Billinton⁽⁵³⁾; Billinton, Wacker e Subramaniam⁽⁵⁴⁾)

Em 1983, Wacker et alii⁽⁵³⁾ apresentaram os resultados de uma pesquisa realizada no Canadá com consumidores residenciais atendidos por 8 empresas concessionárias de eletricidade. A pesquisa, iniciada em 1980, prolongou-se por 18 meses, obtendo 4750 respostas aos 13.359 questionários enviados.

O questionário utilizado continha tanto perguntas de caráter mais geral quanto perguntas especialmente voltadas para a determinação dos custos das interrupções.

No primeiro grupo, incluem-se, entre outras, perguntas sobre a qualidade do serviço oferecido pela concessionária, sobre o número de interrupções sofridas pelo consumidor nos últimos dois anos e sobre se o preço cobrado pela eletricidade era bom ou alto, citando-se como resultados mais importantes desta pesquisa, os seguintes:

- . Inquiridos sobre suas preferências quanto a um racionamento de energia de 4 horas semanais no horário diurno durante os dias da semana, 75% dos consumidores indicaram preferir interrupções mais frequentes mas de curta duração, enquanto o restante preferiu o oposto.
- . Considerando uma interrupção de duração entre 1 e 4 horas, foram indicados como os principais efeitos ou inconvenientes por ela provocados, em ordem decrescente de importância, os seguintes: desconforto (como o provocado pela varia

ção na temperatura interna da residência), aparelhos domésticos usados na cozinha que se tornam inoperantes, perda de iluminação, medo de acidentes em casa, medo de crimes, aparelhos de limpeza, máquinas de lavar e similares não usados e equipamentos destinados ao lazer e a passatempos (hobbys) que não podem ser utilizados. Como os autores não indicam o período do dia no qual tais respostas são aplicáveis, não se pode comparar o grau de importância dada ao lazer obtido pela pesquisa e aquele correspondente à metodologia proposta por Munasinghe. (3, 50)

- . Observou-se que, na pesquisa realizada, um corte no fornecimento de eletricidade durante o inverno é mais indesejável do que um corte nas demais estações do ano, o mesmo acontecendo quando se comparam interrupções após às 16:00h e interrupções antes deste horário. Um corte durante os dias da semana aparece como um pouco mais indesejável do que um corte durante os fins de semana.

Para a determinação dos custos das interrupções foram usadas pelos autores duas abordagens, ou duas metodologias, de avaliação.

A primeira, que daqui por diante será chamada de abordagem via ações preparatórias, é baseada numa avaliação indireta dos custos das interrupções e consta basicamente em se procurar conhecer quais as atitudes que os consumidores estariam dispostos a tomar para se precaverem contra os prejuízos ou inconvenientes que surjam com a ocorrência de tais cortes de energia. (53)

Assim, os consumidores são levados a considerar que a empresa concessionária os tenha primeiramente avisado de que interrupções irão ocorrer durante os dias da semana, após às 16 horas no período de inverno, sem que o dia e o horário sejam especificados com antecedência.

Depois, os consumidores são questionados sobre que ações dentre as seguintes eles estariam dispostos a adotar nas preparações contra estas falhas: não fazer nada, comprar uma vela a um custo de \$0,25 por hora, uma lanterna de emergência a um custo de \$0,50 a hora, um fogão de emergência a \$1,50 por hora, comprar ou alugar um pequeno gerador para alimentação de pequenos aparelhos e dos circuitos de iluminação a \$5,00/hora ou um gerador maior para atender toda a demanda da residência a

\$20,00/hora (valores em dólar canadense de 1980).⁽⁵³⁾

Os valores para os custos das interrupções são computados somando-se todos os gastos com as ações preparatórias indicadas pelos consumidores. Na pesquisa, para interrupções mensais de 20 minutos, 1 hora e 4 horas os respectivos custos médios por interrupção foram iguais a \$0,22; \$1,18 e \$11,87. No caso de interrupções semanais de 4 horas de duração foi obtido um custo médio, por interrupção, igual a \$18,36.

A segunda abordagem usada pelos autores consiste no questionamento sobre o quanto os consumidores estariam dispostos a pagar (a receber) quando o nível de confiabilidade do fornecimento de 'eletricidade fosse aumentado (diminuído). É a chamada abordagem via mudança de tarifa ("rate change").

Para auxiliar nas respostas relacionadas com esta abordagem, os consumidores foram, em primeiro lugar, questionados sobre o valor de sua conta de eletricidade. Foram também incluídas perguntas sobre a preferência dos mesmos em pagar mais para ter uma melhor qualidade no fornecimento de energia, pagar menos com o consequente aumento do número de interrupções ou permanecer na situação atual. A grande maioria dos consumidores (86%) indicou que preferia permanecer na situação atual, com os demais consumidores dividindo-se nas outras duas opções.

Após isto, num primeiro momento os consumidores foram instruídos para que supusessem que o sistema estaria sujeito a um maior número de falhas sendo então questionados sobre o quanto eles estariam dispostos a pagar, além do valor de sua conta de eletricidade atual, para que estas interrupções fossem inteiramente eliminadas.

A pesquisa mostrou que, em média, os consumidores estariam dispostos a pagar \$5,29; \$8,05; \$8,06 por mês para que, respectivamente, uma interrupção mensal de 4 horas, interrupções semanais também de 4 horas de duração e interrupções diárias de 1 hora de duração fossem eliminadas do sistema.

De maneira oposta, os consumidores foram questionados sobre qual a porcentagem mínima de redução em suas contas eles julgavam ser aceitável para uma determinada redução na confiabilidade do sistema.

As respostas obtidas mostraram que, no caso em que o

nível de confiabilidade caísse de tal modo que passasse a ocorrer no sistema uma interrupção de 4 horas de duração por mês, o valor médio da redução mínima na contabilidade de energia elétrica aceitável pelos consumidores foi igual a \$11,00.

Deve-se notar que, enquanto os valores correspondentes às ações preparatórias avaliam os prejuízos provocados por uma interrupção que ocorra num período bem determinado de tempo - após às 16:00h durante os dias de semana, no inverno - os valores obtidos via abordagem do tipo mudança de tarifa não se referem somente a esta situação, tendo portanto uma característica mais "geral".

A Tabela 3.6, a seguir, mostra um resumo dos valores mencionados acima, calculados na base de \$/interrupção. As Tabelas 3.7 e 3.8 mostram estes valores quando normalizados com relação ao consumo anual, em MWh, e à demanda máxima, em kW, de cada consumidor respectivamente. A demanda máxima foi obtida assumindo um fator de carga igual a 23%.

| Cenário Considerado | Custos Médios das Interrupções, em \$/Interrupção | | |
|---------------------|---|-------------------------------------|--|
| | Ações Preparatórias | Aumento de tarifa ("rate increase") | Diminuição de tarifa ("rate decrease") |
| 20 min/mês | 0,22 | - | - |
| 1 hora/mês | 1,18 | - | - |
| 4 horas/mês | 11,87 | 5,29 | 11,00 |
| 4 h/semana | 18,36 | 2,0125 | - |
| 1 hora diária | - | 0,2687 | - |

Tabela 3.6 - Custos médios das interrupções para os consumidores residenciais do Canadá, em \$/interrupção. Valor em dólar canadense de 1980. (53)

| Cenário Considerado | Custos Médios das Interrupções, em \$/MWh consumido | | |
|---------------------|---|-------------------------------------|--|
| | Ações Preparatórias | Aumento de tarifa ("rate increase") | Diminuição de tarifa ("rate decrease") |
| 20 min/mês | 0,028 | - | - |
| 1 hora/mês | 0,156 | - | - |
| 4 horas/mês | 1,566 | 0,727 | 1,286 |
| 4 h/semana | 2,437 | 0,276 | - |
| 1 hora diária | - | 0,036 | - |

Tabela 3.7 - Custos médios das interrupções para os consumidores residenciais do Canadá, em \$/MWh anual consumido. Valores em dólares canadenses de 1980. (53)

| Cenário Considerado | Custos Médios das Interrupções, em \$/kW de demanda máxima | | |
|---------------------|---|--|---|
| | Ações Preparatórias | Aumento de tarifa ("rate increase") | Diminuição de tarifa ("rate decrease") |
| 20 min/mês | 0,06 | - | - |
| 1 hora/mês | 0,31 | - | - |
| 4 horas/mês | 3,16 | 1,46 | 2,59 |
| 4 h/semana | 4,91 | 0,56 | - |
| 1 hora diária | - | 0,07 | - |

Tabela 3.8 - Custos médios das interrupções para os consumidores residenciais do Canadá, em \$/kW de demanda máxima. Valores em dólares canadenses de 1980. (53)

Analisando-se os valores obtidos pela abordagem via ações preparatórias indicados na Tabela 3.6, nota-se que à medida em que a duração da interrupção aumenta, de 20 minutos para 4 horas por mês, também aumentam os respectivos custos das interrupções.

Observa-se também que, nesta abordagem, para um cenário onde ocorrem interrupções semanais de 4 horas de duração o respectivo custo por interrupção é bastante superior ao valor obtido num cenário onde ocorre apenas uma única interrupção mensal de 4 horas de duração e que corresponde a uma situação de maior confiabilidade do sistema do que aquela referente ao primeiro cenário.

Convém fazer aqui um paralelo entre os custos obtidos por tal abordagem e o conceito de custos indiretos apresentado por Munasinghe⁽³⁾ e descrito no item 3.2.1.4.

Como visto anteriormente, devem ser considerados como custos indiretos todos os gastos que o consumidor resolva fazer antecipadamente a fim de se preparar frente a um nível futuro de confiabilidade de modo a tornar-se menos vulnerável às prováveis interrupções que poderão vir a ocorrer (considerações a longo prazo). Estes gastos serão tanto maiores quanto pior a sua expectativa com relação ao nível de confiabilidade futuro.

Assim, confrontando-se a proposição da metodologia baseada nas ações preparatórias e a definição de custos indiretos, verifica-se que os valores obtidos através daquela metodologia encontram-se fortemente correlacionados com a determinação destes últimos, ao contrário do que acontece com as demais metodologias usadas nos trabalhos descritos nos itens anteriores, uma

vez que as mesmas procuram determinar os chamados custos diretos das interrupções.

Com o exposto nos parágrafos acima, pode-se justificar agora porque os consumidores indicaram na abordagem via ações preparatórias (Tabela 3.6) um custo por interrupção maior para o cenário onde ocorrem cortes semanais de 4 horas de duração em relação ao custo correspondente a um cenário de cortes mensais também de 4 horas de duração.

Como os benefícios proporcionados pelas diversas ações colocadas à escolha do consumidor podem não ser exatamente iguais ou substituírem completamente os benefícios proporcionados pela eletricidade, exceto talvez quando se instalam equipamentos de emergência apropriados para atender tanto à iluminação quanto aos aparelhos eletrodomésticos, os valores indicados via ações preparatórias não incluem a parcela de prejuízo ou incômodo que as pessoas ainda sofrem, ou aceitam suportar, durante as interrupções, e que corresponde a parte dos custos diretos. Desta forma tais valores podem representar uma subavaliação dos custos totais das interrupções.

Na Tabela 3.6 vê-se que, enquanto os valores obtidos via ações preparatórias e via diminuição de tarifa num cenário onde ocorre apenas uma interrupção mensal de 4 horas são próximos entre si (diferença em torno de 20%), o valor obtido via aumento de tarifa é significativamente inferior a ambos. A diferença é ainda maior quando se comparam os resultados via ações preparatórias e via aumento de tarifa quando se considera um cenário com interrupções semanais de 4 horas de duração (\$18,36 e \$2,0125 respectivamente).

Além disto, pode-se observar que a quantia média mensal que os consumidores se mostram dispostos a pagar para impedir interrupções semanais de 4 horas de duração é aproximadamente uma vez e meia a quantia apontada para o cenário de uma única interrupção mensal também de 4 horas de duração, ou seja, numa situação onde ocorrem 4 vezes menos cortes no fornecimento.

Isto parece indicar que a abordagem via aumento de tarifa pode ser afetada significativamente quando a frequência (e também a duração) das interrupções aumenta e onde os prejuízos crescentes levariam, de acordo com a estrutura da metodologia usada, a um desembolso tal por parte do consumidor que este pode

ria ser induzido a diminuir a sua "manifestada" disposição a pagar, principalmente quando este desembolso começa a representar uma parcela significativa do valor de sua conta de energia elétrica (ou mesmo de sua renda), correspondendo então a um efeito de saturação desta disposição a pagar. (53)

Este efeito de saturação também pode ser creditado a uma certa desconfiança que o consumidor teria com relação a um possível aumento de sua conta de luz por parte da concessionária e também pela tendência do consumidor em não desejar mudanças em sua situação atual quando esta seja considerada boa.

Pelos mesmos motivos apontados acima, poderia ser esperado um comportamento similar para os valores obtidos segundo a abordagem de diminuição de tarifa, embora nesta pesquisa somente um cenário tenha sido considerado.

Dentre as duas metodologias usadas na determinação dos custos das interrupções para os consumidores residenciais, os autores consideraram que a abordagem via ações preparatórias era mais adequada que aquela baseada na mudança (redução ou aumento) de tarifa.

Segundo eles, a abordagem via ações preparatórias, além de também ser baseada num conceito teórico bem sedimentado (sic), não sofreria os efeitos observados na outra abordagem de um "antagonismo" ou "reação" à mudança, para mais ou para menos, no valor das contas de energia elétrica. (53)

Porém, a utilização dos valores obtidos na pesquisa através da abordagem via ações preparatórias deve ser feita com cuidado, uma vez que eles dependem muito dos cenários propostos aos consumidores. É, portanto, temerário utilizá-los fora do contexto em que foram obtidos, ou seja, os valores obtidos tendo por base um cenário de alta confiabilidade podem ser muito diferentes daqueles correspondentes a um cenário de baixa confiabilidade.

Ainda como limitação adicional ao emprego destes valores pode ser citado que, como alguns consumidores podem não ter experimentado alguns dos cenários propostos, as suas ações reais, e conseqüentemente os respectivos custos das interrupções, poderão diferir daquelas por eles indicadas. (53)

Nesta pesquisa, os autores procuraram também identi

car relações entre os valores indicados para os custos das interrupções e determinadas características ligadas aos respondentes. Dentre estas, foi observado que os consumidores que possuem aparelhos de aquecimento apresentam valores superiores para estes custos quando comparados com consumidores que não os possuem, o mesmo ocorrendo quando se comparam os consumidores que fazem ou não trabalhos em casa.

Num artigo subsequente, Billinton, Wacker e Subramaniam⁽⁵⁴⁾ analisam mais detidamente as relações entre os custos das interrupções e o tipo de residência dos consumidores consultados e entre as diversas áreas de concessão cobertas pela pesquisa.

As residências foram divididas em quatro categorias: casas, apartamentos, casas móveis ("mobile homes") e suítes ("suite in a house").

As Tabelas 3.9, 3.10, 3.11 e 3.12 apresentam, respectivamente, a participação de cada tipo de residência no número total de consumidores pesquisados, o respectivo consumo médio anual de eletricidade e os valores obtidos, através da abordagem via ações preparatórias, dos custos das interrupções expressos em \$/interrupção, \$/MWh anual consumido e em \$/kW de demanda máxima (valores em dólares canadenses de 1980).

| Tipo de Residência | Porcentagem do Número Total de Respondentes (%) | Consumo Médio Anual de Eletricidade (KWh) |
|--------------------|---|---|
| Casas | 86,0 | 11960,0 |
| Apartamentos | 9,0 | 6527,0 |
| Casas móveis | 3,0 | 14320,0 |
| Suítes | 2,0 | 7308,0 |

Tabela 3.9 - Proporção dos respondentes segundo o tipo de residência e respectivos consumos médios anuais de eletricidade.⁽⁵⁴⁾

| Cenário Considerado | Custos Médios das Interrupções, em \$/interrupção | | | |
|---------------------|---|--------------|--------------|--------|
| | Tipo de Residência | | | |
| | Casas | Apartamentos | Casas Móveis | Suítes |
| 20 min/mês | 0,22 | 0,20 | 0,20 | 0,25 |
| 1 hora/mês | 1,19 | 0,93 | 1,43 | 0,84 |
| 4 horas/mês | 12,00 | 9,00 | 14,61 | 12,24 |
| 4 h/semana | 18,58 | 14,63 | 21,41 | 18,41 |

Tabela 3.10 - Custos médios das interrupções, para os consumidores residenciais do Canadá, obtidos a partir da abordagem via ações preparatórias, segundo o tipo de residência, em \$/interrupção.⁽⁵⁴⁾

| Cenário Considerado | Custos Médios das Interrupções, em \$/MWh Anual Consumido | | | |
|---------------------|---|--------------|--------------|--------|
| | Tipo de Residência | | | |
| | Casas | Apartamentos | Casas Móveis | Suites |
| 20 min/mês | 0,031 | 0,047 | 0,036 | 0,054 |
| 1 hora/mês | 0,162 | 0,276 | 0,243 | 0,222 |
| 4 horas/mês | 1,656 | 2,480 | 1,686 | 1,975 |
| 4 h/semana | 2,970 | 3,953 | 2,787 | 3,076 |

Tabela 3.11 - Custos médios das interrupções para os consumidores residenciais do Canadá, obtidos a partir da abordagem via ações preparatórias, segundo o tipo de residência, em \$/MWh anual consumido.⁽⁵⁴⁾

| Cenário Considerado | Custos Médios das Interrupções, em \$/kW de Demanda Máxima | | | |
|---------------------|--|--------------|--------------|--------|
| | Tipo de Residência | | | |
| | Casas | Apartamentos | Casas Móveis | Suites |
| 1 min/mês(a) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 20 min/mês | 0,06 | 0,10 | 0,07 | 0,11 |
| 1 hora/mês | 0,33 | 0,56 | 0,49 | 0,45 |
| 4 horas/mês | 3,34 | 5,00 | 3,40 | 3,98 |
| 8 h/mês(a) | 10,0 | 15,00 | 8,90 | 12,50 |
| 4 h/semana | 5,98 | 7,96 | 5,62 | 6,20 |

Tabela 3.12 - Custos médios das interrupções para os consumidores residenciais do Canadá, obtidos a partir da abordagem via ações preparatórias, segundo o tipo de residência, em \$/kW de demanda máxima.⁽⁵⁴⁾

a) Valores estimados por extrapolação.

Observando a Tabela 3.10, vê-se que os respondentes que moram em apartamentos apresentaram uma tendência de indicar para os custos das interrupções (em \$/interrupção), obtidos segundo a abordagem via ações preparatórias, valores inferiores aos demais consumidores. Uma justificativa para este comportamento é que, neste caso, tais consumidores poderiam ter considerado que a instalação de geradores de emergência (ações mais custosas) não seria uma ação possível de ser por eles tomada, ou seja, a preocupação quanto à dificuldade de instalação e operação de tais aparelhos (com os consequentes inconvenientes) pode afetar as estimativas fornecidas pelos consumidores.⁽⁵³⁾

Para a abordagem via mudança (aumento ou redução) de tarifa, os autores observaram que os menores valores para os custos das interrupções correspondentes aos diversos cenários considerados foram atribuídos por consumidores que moram em suites.

Com relação aos valores obtidos via ações preparatórias nas diversas áreas de concessão cobertas pela pesquisa, a mesma mostrou que, por existirem diferenças significativas entre algumas delas, os valores correspondentes a uma dada área não se podem aplicar indiscriminadamente em outra. ⁽⁵⁴⁾

3.2.2.2 - Gutierrez ⁽⁵⁵⁾

Para Gutierrez ⁽⁵⁵⁾, os custos das interrupções devem ser determinados através da disposição a pagar manifestada pelos consumidores para que sejam evitados tais cortes no fornecimento de energia elétrica, devendo-se também observar que a importância que o consumidor atribui a estes cortes irá depender da hora e do dia da semana em que eles ocorrem.

Partindo do pressuposto que os consumidores subvalorizam a quantia real que estariam dispostos a pagar para que sejam evitadas estas interrupções, o autor recomenda que os consumidores sejam questionados sobre o quanto a empresa concessionária deveria pagar-lhes como compensação dos prejuízos por eles sofridos durante tais falhas, de modo a ultrapassar essa possível limitação.

O questionário a ser elaborado deverá conter, então, perguntas que possam fornecer as seguintes informações, entre outras:

- . qual o valor do seu consumo (mensal ou anual) de eletricidade;
- . qual o número de horas por dia durante os quais utilizam eletrodomésticos;
- . qual é a renda anual de cada uma das pessoas que trabalham, a fim de se poder obter a renda total da residência;
- . como o consumidor avalia a qualidade de serviço oferecido pela concessionária e como esta o afeta (obrigando-o por exemplo a adquirir estabilizadores de tensão);
- . qual o período no qual a energia elétrica é mais importante;
- . qual a quantia que a concessionária de energia deveria reembolsar ao consumidor por hora de interrupção, durante e fora deste período crítico;
- . qual a duração mínima da interrupção que passa a representar

tar um custo (prejuízo) para o consumidor.

Cabe ressaltar, porém, que, com este tipo de pergunta, não se pode assegurar que as respostas obtidas não serão influenciadas por uma certa reação contra a concessionária, se a qualidade de serviço já for inferior a um nível julgado adequado ou por um certo receio da parte dos consumidores de que a empresa esteja planejando diminuir o nível atual de confiabilidade.

3.3 - Conclusões

Pelo que ficou exposto neste capítulo, é possível concluir que nenhuma das metodologias propostas na literatura, com a finalidade de calcular os custos das interrupções para os consumidores residenciais, se mostra claramente superior às demais de modo a ser possível apontá-la como aquela mais apropriada, ou que deva ser genericamente utilizada, com tal finalidade.

A grande dificuldade em se estabelecer uma metodologia em relação à qual não se imponham restrições significativas quanto à sua utilização ampla, tem origem nas características das atividades desenvolvidas no âmbito de uma residência.

Muitas vezes estas atividades são realizadas a fim de assegurar o bem-estar e o lazer aos residentes, não possuindo um valor de mercado bem definido, o que faz com que uma análise econômica das diferentes restrições à realização das mesmas se torne muito difícil.

Outra razão que contribui para tal dificuldade encontra-se associada à definição do instante a partir do qual uma interrupção de energia elétrica começa a causar prejuízos econômicos, tais como perdas de alimentos e danos em equipamentos, e de como estimá-los apropriadamente, considerando-se, para tanto, as diferentes características dos equipamentos e atividades domésticas afetadas.

Enquanto as metodologias baseadas em análises teóricas procuram uma maneira mais ou menos aprofundada de considerar as possíveis contribuições para os custos das interrupções da perda de lazer e iluminação ambiente, da redução na temperatura interna, dos aparelhos que se tornam ociosos, das atividades domésticas paralisadas, entre outras, as metodologias que envolvem a

realização de pesquisas diretas junto aos consumidores deixam, por sua vez, ao próprio respondente a responsabilidade de incluir e avaliar tais aspectos.

Ambas as abordagens apresentam vantagens e desvantagens, havendo sempre um certo grau de imprecisão nos resultados obtidos.

A primeira pode ser mais fácil de ser realizada, por não requerer o levantamento, recuperação e seleção de uma grande quantidade de informações, o que se torna imprescindível para a aplicação ideal da segunda. No entanto, os valores obtidos através de análises teóricas podem não traduzir o sentimento que os próprios consumidores possuem com respeito às reais inconveniências provocadas pelas interrupções de energia, sentimento este que pode ser captado, pelo menos em parte, com a realização de uma pesquisa.

No trabalho realizado no Chile⁽⁴⁵⁾, os autores igualam o custo dos insumos eletricidade e aparelhos eletrodomésticos ao valor do produto final elaborado no interior da residência, o qual é considerado perdido com a paralisação no fornecimento de eletricidade, o que, como visto anteriormente, não fornece uma boa estimativa para os custos das interrupções.

No trabalho realizado na Suécia⁽¹⁵⁾, embora sejam reconhecidas as diferentes consequências de um corte no fornecimento de energia elétrica a um consumidor residencial, provocando atrasos em refeições, interferências nas atividades domésticas e perda de lazer entre outros, os resultados obtidos para os custos das interrupções baseiam-se em valores algo arbitrários, como estimativas das contribuições destas parcelas para estes custos, o que por si só já resulta numa séria limitação.

Munasinghe⁽³⁾, por sua vez, considera que os prejuízos provocados pelas interrupções só se tornam significativos durante o período em que os trabalhadores estejam usufruindo do seu lazer.

Embora o autor tenha obtido confirmação desta suposição por meio de uma pesquisa realizada em Cascavel, Paraná, junto a um pequeno número de consumidores residenciais, a pesquisa realizada por Wacker et alii⁽⁵³⁾ no Canadá, por exemplo, indicou

que, para interrupções de 1 a 4 horas de duração, o efeito mais importante de uma interrupção não seria a perda de lazer, mas sim o desconforto proporcionado, por exemplo, pela mudança de temperatura interna da residência, muito embora não seja citado qual o período do dia considerado pelos consumidores ao fornecerem as respostas analisadas.

Cabe ressaltar que a formulação de Munasinghe, usada para a determinação do valor do lazer, fornece um resultado que pode ser considerado como bastante consistente do ponto de vista teórico, quando comparado com formulações similares envolvendo também a escolha entre lazer e trabalho, tal como descrito no Anexo II, de modo que uma definição arbitrária para este valor como feita no trabalho da Suécia⁽¹⁵⁾ não se torna, de certo modo, necessária.

Um exemplo de que não se pode aceitar plenamente uma metodologia que se baseie somente numa análise teórica do funcionamento de uma residência é obtido quando se comparam os valores atribuídos aos prejuízos provocados por uma interrupção que afete as atividades domésticas: enquanto Munasinghe⁽³⁾ atribui um valor zero e Sheppard⁽⁴⁷⁾ um valor equivalente ao custo do tempo que é totalmente perdido pelas donas-de-casa, o trabalho da Suécia⁽¹⁵⁾ considerou apenas um custo igual a uma redução parcial da eficiência na realização destas tarefas.

As metodologias que se utilizam de pesquisas diretas para a determinação dos custos das interrupções apresentam a vantagem de que a elaboração das perguntas a serem incluídas no questionário deve ser feita com muito cuidado, uma vez que os consumidores, pelos motivos já delineados em parágrafos anteriores, apresentam grandes dificuldades para avaliarem por si próprios, de maneira satisfatória, tais custos.

Questões diretas do tipo "Quanto custa uma interrupção de X minutos?" não parecem ser muito indicadas devido às dificuldades que naturalmente o consumidor tem de valorizar um bem que ele já se acostumou a receber normalmente e, em geral, de modo bastante satisfatório. Muito embora Munasinghe⁽³⁾ e Gutierrez⁽⁵⁵⁾ tenham utilizado um tipo de abordagem semelhante, a mesma foi rejeitada por Wacker et alii⁽⁵³⁾ na forma final do questionário por eles distribuído entre os consumidores.

Perguntas do tipo mudança de tarifa, tais como as usadas por Wacker et alii⁽⁵³⁾ podem despertar, no consumidor, certo receio de que esteja sendo planejado um aumento de tarifa (o que também ocorre em certa medida com as perguntas diretas), além de estarem sujeitas aos efeitos de saturação descritos na referência (53), quando a duração das interrupções é grande e o consumidor passa a optar por suportar mais os inconvenientes provocados por tal ocorrência do que ter que pagar largas somas de dinheiro.

Perguntas do tipo daquelas usadas por Wacker et alii⁽⁵³⁾, na abordagem via ações preparatórias, têm contra si as imperfeições já apontadas no item 3.2.2.1: existe uma grande ligação entre os valores indicados e os diferentes cenários considerados, de modo que um valor obtido em um dado cenário não pode, a priori, ser aplicado indiscriminadamente em outro cenário, principalmente se existe uma diferença significativa entre os dois níveis de confiabilidade envolvidos. Tal como formulada, a utilização deste tipo de perguntas deve ser feita com cuidado, muito embora a potencialidade das mesmas possa vir a ser melhor explorada em estudos futuros.

Como disposto por Munasinghe⁽³⁾, os custos totais das interrupções são compostos pelos chamados custos indiretos e custos diretos, os quais mantêm uma forte relação entre si: se o consumidor realizou gastos significativos ou modificou o seu padrão de comportamento a fim de se precaver contra as interrupções (custos indiretos) espera-se que, no momento em que estas ocorram, os prejuízos provocados por tais cortes de energia (custos diretos) sejam menores do que aqueles correspondentes a um consumidor que não tenha realizado qualquer gasto ou modificação com esta finalidade.

Nem os primeiros, estimados, por exemplo, pela metodologia das ações preparatórias, nem os segundos, calculados pelas demais metodologias aqui analisadas, fornecem, sozinhos, os custos totais das interrupções e, deste modo, quando individualmente considerados representam uma aproximação, maior ou menor, destes últimos. Até o momento não existe ainda uma formulação que tenha considerado simultaneamente estas duas parcelas.

Assim, e de acordo com o que fica exposto nos parágra

fos anteriores, parece ser lícito concluir que, atualmente, a melhor maneira de se determinar os custos totais das interrupções para consumidores residenciais é através da compatibilização entre as diversas metodologias aqui discutidas, de modo a obter um modelo básico teórico que oriente a formulação das perguntas a serem feitas diretamente a tais consumidores, cujas respostas, por sua vez, irão, num passo seguinte, fornecer informações que poderão modificar a proposição básica, até que se chegue a um modelo que seja adequado às propostas e necessidades dos estudos a serem realizados.

A princípio, os questionários elaborados não deverão incluir, de forma exclusiva, questões diretas ou do tipo "aumento ou redução de tarifa" para a determinação dos custos totais das interrupções, devendo, sim, levar em consideração as seguintes contribuições e estimativas dos prejuízos correspondentes:

- . Interferências nas tarefas domésticas

É necessário verificar como a possibilidade de substituição de tarefas que dependam de eletricidade por outras que não dependam pode reduzir os efeitos das interrupções.

- . Perda de alimentos e de outros produtos perecíveis contidos em geladeiras e congeladores, entre outros

É necessário determinar a relação entre estas perdas e a duração das interrupções, bem como a duração mínima a baixo da qual os prejuízos são nulos, ou muito pequenos.

- . Interferência no preparo das refeições

É necessário definir o período durante o qual uma interrupção poderá causar tal interferência, assim como a duração mínima correspondente abaixo da qual não há qualquer prejuízo.

- . Desconforto proporcionado pela inoperância de aparelhos de ar condicionado ou similares

Deve-se identificar a duração mínima do corte de energia a partir da qual os prejuízos deverão ser contabilizados, uma vez que os consumidores passam, então, a sentir os efeitos da deterioração do conforto. Na falta de uma melhor aproximação, estes prejuízos podem ser avaliados atra

vés dos valores anualizados dos equipamentos ao longo de suas vidas úteis e do número de horas de funcionamento diário.

. Perda de lazer

Deve-se determinar o horário destinado a estas atividades, quais os equipamentos elétricos utilizados e quais as outras atividades desenvolvidas paralelamente ao lazer, durante este período. Pode-se também inquirir quanto aos diferentes valores atribuídos ao lazer durante as horas da noite e durante o fim de semana.

. "Quaisquer outros inconvenientes que os consumidores possam sofrer.

Nos questionários deverão também ser incluídas questões do tipo "ações preparatórias", ou de outro tipo, que permitam estabelecer os chamados custos indiretos, procurando-se obter informações que possibilitem a sua aplicação, de forma adequada, em situações ou cenários diferentes daqueles cobertos pela pesquisa. Devem também ser incluídas questões que possam estabelecer ligações entre estes últimos custos e os custos diretos, obtidos pelo somatório das diferentes parcelas acima descritas.

Como as diferentes atividades desenvolvidas na residência não se processam ao mesmo tempo ou não são igualmente afetadas por interrupções que ocorrem em diferentes momentos, estes custos deverão também ser obtidos segundo os diferentes períodos do dia, dias da semana e meses do ano.

Da mesma forma, os custos das interrupções devem ser pesquisados levando em consideração o tipo de residência (casa ou apartamento, por exemplo) e a possibilidade de que haja alguma atividade econômica (formal ou informal) desenvolvida no interior das residências.

Cabe ressaltar, por fim, que, por todas as considerações feitas no decorrer deste capítulo, a definição de uma metodologia que possibilite, de maneira satisfatória, a quantificação dos custos das interrupções para os consumidores residenciais ainda é uma tarefa bastante difícil, merecendo, portanto, ser mais discutida e pesquisada em trabalhos futuros.

CAPÍTULO IV

CÁLCULO DOS CUSTOS DAS INTERRUPÇÕES PARA OS CONSUMIDORES INDUSTRIAIS ATRAVÉS DE MÉTODOS ESPECÍFICOS

4.1 - Introdução

Para os consumidores industriais, a eletricidade é encarada como um dos vários insumos necessários ao processo de produção, cujo produto final apresenta um valor de mercado bem determinado, ao contrário do que acontece com a classe dos consumidores residenciais, como visto no capítulo anterior.

Uma interrupção no fornecimento de energia elétrica a uma dada indústria afeta, portanto, mais ou menos profundamente, o seu processo produtivo, provocando prejuízos que dependerão da maneira pela qual a eletricidade participa deste processo, das características do produto, ou produtos, em elaboração e das características da própria interrupção tais como o momento da ocorrência e a duração correspondente, entre outras.

Dada a sua grande importância econômica, o setor industrial sempre mereceu um tratamento de certo modo especial por parte dos planejadores quanto à qualidade do serviço que lhe é oferecido. Consequentemente, a obtenção de boas estimativas para os custos das interrupções para esta classe de consumidores torna-se necessária quando se deseja atendê-los adequadamente e com custos mínimos para a sociedade.

Na seção a seguir são discutidos alguns trabalhos que têm procurado determinar, através de análises específicas, os custos das interrupções para esta classe de consumidores.

4.2 - Análise das Metodologias para o Cálculo dos Custos das Interrupções para os Consumidores Industriais

Numa primeira análise, as metodologias específicas disponíveis para a determinação dos custos das interrupções de

energia elétrica, relativos aos consumidores industriais, podem classificar-se em duas categorias:

- . Método que se utiliza da valorização da mão-de-obra ociosa como aproximação dos custos das interrupções.
- . Métodos que recorrem à coleta de informações necessárias para a determinação dos custos das interrupções através de pesquisas diretas junto aos consumidores.

Tais métodos são apresentados seguidamente.

4.2.1 - Cálculo dos custos das interrupções para os consumidores industriais através da valorização da mão-de-obra ociosa

Este método corresponde à proposição de Sheppard⁽⁴⁷⁾ que sugere que no caso de uma paralisação a nível nacional do fornecimento de energia elétrica durante o período normal de trabalho, o valor da perda de produção para o setor industrial pode ser avaliada em termos dos homens-hora tornados inefetivos durante a interrupção.

Com o valor da perda horária de produção assim determinada e com o valor da demanda de energia para o setor industrial, o custo de cada kWh interrompido pode ser calculado. A título de informação é interessante referir que, usando esta metodologia, Sheppard⁽⁴⁷⁾ obteve para os consumidores industriais da Grã-Bretanha, um valor igual a 60 vezes o preço médio do kWh vendido a este setor no período entre 1965 e 1966.

Esta proposição pressupõe que todo o trabalho produtivo e atividades auxiliares são paralisadas durante o período de interrupção, sendo imediatamente retomados com o restabelecimento do fornecimento de energia elétrica, não sendo considerados, entretanto, quaisquer prejuízos relacionados seja com estragos em matérias-primas e outros produtos, seja com perdas de produção.

O custo de uma interrupção para o setor industrial obtido por tal metodologia tem um caráter geral, sendo similar aos custos obtidos segundo as proposições de Shipley et alii⁽³⁵⁾ e Telson⁽³⁷⁾ de acordo com o que ficou descrito nos itens 2.2.2.1 e 2.2.2.2 e não parece ser muito adequado às necessidades de estudos de planejamento de sistemas de distribuição, uma

vez que as suposições indicadas acima podem não ser satisfeitas pelo conjunto das indústrias atendidas por tais sistemas.

4.2.2 - Cálculo dos custos das interrupções para os consumidores industriais através de pesquisas diretas

Além da paralisação, total ou parcial, dos fluxos de produção dos consumidores industriais atingidos, uma interrupção no fornecimento de eletricidade poderá provocar, entre outros, estragos em matérias-primas, em produtos acabados ou semi-acabados, danificação de equipamentos e gastos adicionais com limpeza e reinício dos processos de produção paralisados.

É de se observar também que nem todos os consumidores são afetados igualmente por uma dada interrupção, podendo alguns consumidores serem muito mais atingidos que outros.

Uma forma de identificar os diferentes fatores que contribuem diretamente para os custos das interrupções, é através da realização de pesquisas diretas junto aos consumidores industriais.

Nas seções a seguir, encontram-se apresentados e discutidos diversos trabalhos que utilizaram este procedimento para o cálculo de tais custos.

4.2.2.1 - Dickinson^(56,57)

Dickinson^(56,57), procurando determinar qual o valor do investimento que seria justificável para a melhoria da confiabilidade no fornecimento de energia elétrica a uma dada carga ou processo industrial, buscou identificar os custos provenientes de uma interrupção, separando-os em 3 parcelas:

- . A primeira inclui os custos que são proporcionais à frequência das interrupções. Estes custos podem variar conforme a duração das mesmas, podendo até ser nulos nos casos de interrupções de pequenas durações.
- . A segunda refere-se à perda de produção e é proporcional à duração das interrupções. Na contabilização desta parcela deve-se considerar a possibilidade de recuperar, pelo menos em parte, a produção perdida após o restabelecimento do fornecimento de energia elétrica.

- . A terceira parcela é referente à perda de produção durante o período de reinício de atividade após uma interrupção de energia. Esta perda é proporcional ao número de falhas e ao tempo de reinício de atividades, o qual pode depender da duração das interrupções.

Com isto, Dickinson⁽⁵⁶⁾ chegou à expressão abaixo, válida para o cálculo do custo das interrupções de mesma duração d_i , em um dado ano:

$$C(d_i) = f(d_i) \cdot L_f(d_i) + 8760 q(d_i) L_p(d_i) + f(d_i) L_p(d_i) T_S(d_i) \quad (4.1)$$

onde:

- $C(d_i)$ - custo anual das interrupções de duração d_i
- $f(d_i)$ - frequência esperada de interrupções de duração d_i , suficientemente longa para provocar perdas
- $L_f(d_i)$ - custo fixo por falha de duração d_i
- $L_p(d_i)$ - custo da produção perdida por hora de paralisação da indústria
- $T_S(d_i)$ - tempo requerido para reinício de atividades após uma interrupção de duração d_i
- $q(d_i)$ - probabilidade de ocorrência de interrupções com duração d_i , $q(d_i) = \frac{f(d_i) \cdot d_i}{8760}$

O custo total decorrente de todas as interrupções que afetam o fornecimento de eletricidade à indústria, C_{total} , calcula-se então por:

$$C_{total} = \sum_{d_i} C(d_i) \quad (4.2)$$

Desta forma, Dickinson admite que os prejuízos totais provocados pelas interrupções dependem tanto da frequência de ocorrência das mesmas quanto das durações correspondentes.

4.2.2.2 - Pesquisa realizada na Suécia⁽¹⁵⁾

A referência (15) apresenta os resultados, publicados em 1969, de uma pesquisa realizada na Suécia com a finalidade de tentar estabelecer, entre outros, os custos de interrupções de

energia elétrica em diversos setores industriais. Na pesquisa foram envolvidas cerca de 70 indústrias de 12 setores diferentes, incluindo indústrias de mineração, têxteis, químicas e alimentícias, entre outras.

Os valores obtidos correspondem a diversas durações, cobrindo desde interrupções inferiores a 1 minuto até aquelas que atingem 24 horas de duração.

Na determinação dos custos das interrupções, os consumidores foram orientados para que incluíssem os custos devidos à perda de produção e os custos devidos a certos equipamentos ou outros itens da indústria que podem ser afetados por causa da interrupção.

Os custos acima deveriam ser avaliados em termos do valor adicionado, definido como sendo a diferença entre o custo de venda dos produtos menos os custos das matérias-primas utilizadas.

Numa tentativa de relacionar os custos das interrupções com o período em que as mesmas ocorrem, o formulário enviado às indústrias inquiria sobre os valores máximos e mínimos de tais custos e o período em que tais extremos ocorreriam durante um dia normal de produção. Tal objetivo não foi, no entanto, alcançado. Desta forma os autores optaram por fornecer, para as diversas durações consideradas, apenas os valores máximos correspondentes aos custos das interrupções.

Para auxiliar na utilização dos resultados obtidos pelos setores de planejamento de uma empresa concessionária de energia elétrica, os custos de cada indústria foram referidos à demanda máxima correspondente. Os valores para cada um dos 12 setores industriais analisados e para a indústria como um todo, foram obtidos através de uma média ponderada, onde os pesos foram os consumos de energia elétrica de cada indústria ou de cada grupo de indústrias referentes ao ano de 1965, respectivamente.

Para efeito de apresentação dos resultados os autores optaram por separar o período de tempo analisado em 5 intervalos: interrupções com duração de até 1 minuto, de 1 a 30 minutos, de 30 minutos a 1 hora, de 1 a 2 horas e de 2 a 8 horas. Dentro de cada intervalo os custos foram expressos como uma soma de uma componente fixa e uma variável.

Tal como no item 3.2.1.2, a componente fixa corresponde ao custo de uma interrupção com duração igual ao limite inferior do intervalo e a componente variável corresponde ao acréscimo linear dos custos por hora de interrupção além do limite inferior.

Na Tabela 4.1, a seguir, apresentam-se os custos obtidos para os 12 grupos industriais analisados e o custo global para o setor industrial.

O questionário utilizado incluía perguntas acerca da presença ou não de equipamentos de emergência na indústria, sua potência instalada e finalidade (proteção de equipamentos sensíveis a falhas de energia e manutenção da produção, por exemplo), não se fazendo, porém, no trabalho original, referências quanto às respostas fornecidas pelos consumidores.

Partindo do princípio de que uma concessionária nunca poderá oferecer uma confiabilidade unitária a seus consumidores, os custos de aquisição, de instalação, de manutenção e de operação de tais equipamentos não foram incluídos na contabilização dos custos das interrupções.⁽¹⁵⁾

Tal atitude não parece razoável pois o nível de confiabilidade atual e o nível esperado para o futuro exerce grande influência na decisão de se instalar ou não tais equipamentos, na definição do tipo de equipamento necessário e de sua capacidade nominal, e deste modo tais custos devem ser incluídos na contabilização dos custos das interrupções. São os custos indiretos das interrupções, como visto no item 3.2.1.3.

4.2.2.3 - Pesquisa realizada pelo IEEE⁽⁵⁸⁾

Em 1974 foi publicado um trabalho onde se apresentam os resultados de uma pesquisa realizada por um comitê do IEEE⁽⁵⁸⁾ durante o ano de 1972, nos EUA e Canadá, envolvendo 30 companhias totalizando 68 instalações industriais separadas em 12 tipos de indústrias, sobre custos de interrupções de energia elétrica, tempo de reinício de atividades, tempo crítico para perda de serviço e tipo de carga perdida, em função da duração das interrupções.

Os custos das interrupções foram determinados por meio de duas parcelas:

| Tipo de Indústria | Custos das interrupções em função da duração das mesmas | | | | | | | | | |
|------------------------|---|--|---|--|---|--|---|--|---|--|
| | ≤ 1 minuto | | 1 min - 30 min | | 30 min - 1 hora | | 1 hora - 2 horas | | 2 horas - 8 horas | |
| | Custo fixo no início do intervalo (US\$/kW) | Custo variável dentro do intervalo (US\$/kW.h) | Custo fixo no início do intervalo (US\$/kW) | Custo variável dentro do intervalo (US\$/kW.h) | Custo fixo no início do intervalo (US\$/kW) | Custo variável dentro do intervalo (US\$/kW.h) | Custo fixo no início do intervalo (US\$/kW) | Custo variável dentro do intervalo (US\$/kW.h) | Custo fixo no início do intervalo (US\$/kW) | Custo variável dentro do intervalo (US\$/kW.h) |
| Mineração | 0,06 | - | 0,06 | 0,37 | 0,25 | 0,19 | 0,35 | 0,14 | 0,48 | 0,15 |
| Fundição | 0 | - | 0 | 0,04 | 0,02 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,08 | 1,76 |
| Siderurgia | 0,02 | - | 0,02 | 0,17 | 0,12 | 0,17 | 0,19 | 0,15 | 0,35 | 0,15 |
| Oficinas | 0,04 | - | 0,04 | 1,41 | 0,75 | 1,14 | 1,31 | 1,18 | 2,49 | 0,85 |
| Pedreiras | 0 | - | 0,0 | 0,12 | 0,06 | 0,68 | 0,41 | 0,62 | 1,02 | 0,29 |
| Madeira | 0 | - | 0,0 | 0,23 | 0,12 | 0,23 | 0,12 | 0,23 | 0,35 | 0,23 |
| Polpa e Papel | 0,08 | - | 0,08 | 0,04 | 0,10 | 0,06 | 0,14 | 0,06 | 0,19 | 0,06 |
| Gráfica | 0,06 | - | 0,06 | 1,16 | 0,64 | 3,22 | 2,26 | 2,57 | 4,83 | 4,56 |
| Alimentícia | 0,08 | - | 0,08 | 0,19 | 0,17 | 0,29 | 0,33 | 0,21 | 0,54 | 0,21 |
| Têxtil | 0,69 | - | 0,69 | 0,27 | 0,83 | 1,24 | 1,45 | 0,37 | 1,91 | 0,33 |
| Borracha | 0,62 | - | 0,62 | 0,12 | 0,68 | 0,21 | 0,79 | 0,15 | 0,95 | 0,12 |
| Química | 0,08 | - | 0,08 | 0,12 | 0,14 | 0,14 | 0,21 | 0,06 | 0,27 | 0,06 |
| Total para a Indústria | 0,08 | - | 0,08 | 0,27 | 0,21 | 0,29 | 0,37 | 0,25 | 0,62 | 0,33 |

Tabela 4.1 - Custos das interrupções para os consumidores industriais da Suécia, normalizados segundo a demanda média de ponta destes consumidores. Valores de 1969. (15)

- . Custo por falha - igual aos gastos extras decorrentes da (simples) manifestação de uma interrupção, tais como equipamentos danificados, produtos estragados e custos extras de manutenção e reparos.
- . Custo por hora de paralisação - dado pelo valor da perda de produção por cada hora de paralisação, expresso como o valor estimado de venda da produção perdida menos os gastos economizados em trabalho, materiais, serviços, etc. Caso este custo fosse variável com a duração da interrupção deveria ser adotado o seu valor médio. Tal simplificação pode causar maior ou menor diferença sobre o valor "real", conforme o processo de produção industrial utilizado.

Com os valores de demanda máxima de cada indústria pesquisada puderam ser obtidos os custos das interrupções em termos de US\$/kW de demanda máxima e US\$/kW.h referentes às duas parcelas acima citadas, cujos valores médios, para o conjunto pesquisado, estão reproduzidos na Tabela 4.2 a seguir, separando-se os valores correspondentes às indústrias com demanda inferior a 1 MW daqueles correspondentes às indústrias com demanda superior a 1 MW:

| | Custos das Interrupções | |
|------------------------------|-------------------------|-----------|
| | US\$/kW | US\$/kW.h |
| Total das Indústrias | 1,89 | 2,68 |
| Indústrias com demanda >1 MW | 1,05 | 0,94 |
| Indústrias com demanda <1 MW | 4,59 | 8,11 |

Tabela 4.2 - Custo médio das interrupções para indústrias nos EUA e Canadá. Valores de 1974. (58)

A pesquisa obteve uma grande dispersão nos valores dos custos das interrupções (em US\$/kW e US\$/kW.h) entre as indústrias, mesmo entre aquelas de mesmo tipo, o mesmo ocorrendo para todos os demais índices considerados na pesquisa.

Assim, foram incluídos, além dos valores médios, os valores das medianas referentes aos custos das interrupções para

cada tipo de indústria considerado, ao tempo crítico para perda de serviço e ao tempo de reinício de atividades. Num artigo subsequente⁽⁵⁹⁾ foram fornecidos dados adicionais correspondentes a diversos percentis (15%, 20%, 75% e 95%) para os custos das interrupções e tempo crítico para perda de serviço.

Para o tempo de reinício de atividades, aqui definido como sendo o tempo necessário para que a instalação volte a operar normalmente após o restabelecimento do fornecimento de eletricidade uma vez ocorrida uma falha que leve a uma completa paralisação da produção da indústria, foram obtidos um valor médio e uma mediana respectivamente iguais a 17,4 horas e 4 horas.

Quanto ao tempo crítico para perda de serviço, que corresponde à duração máxima de uma interrupção de energia que não leva à completa paralisação do processo produtivo de uma indústria, foram obtidos valores iguais a 12,6 minutos e 10 segundos para o valor médio e para a mediana, respectivamente.

Um dado fornecido pela pesquisa e que pode ser de interesse quando se deseja obter informações mais precisas quanto aos efeitos das interrupções no processo produtivo, é o tipo de carga perdida (computador, motor, iluminação e outras) em função da duração de uma interrupção de energia. Com isto, pôde-se observar que interrupções de durações muito pequenas, inferiores a 10 ciclos, não afetam significativamente o funcionamento de tais cargas e que interrupções superiores a 10 ciclos afetam o funcionamento de mais de 50% dos motores.⁽⁵⁸⁾

4.2.2.4 - Pesquisa realizada na Grã-Bretanha (Jackson e Salvage)⁽⁶⁰⁾

Jackson e Salvage apresentaram, em 1974, os resultados de uma pesquisa realizada na Grã-Bretanha em 1970, sobre os efeitos e os custos das interrupções em 23 grandes indústrias. Para 12 destas indústrias, a pesquisa permitiu a obtenção dos custos de interrupções com durações inferiores a 1 minuto até interrupções com 120 minutos de duração.

Os autores indicam que muitas das indústrias são bastante sensíveis a interrupções com durações inferiores a 2 minutos pois, por possuírem algum tipo de processo contínuo de produção, uma interrupção, mesmo muito breve, pode requerer diversas

horas para que seja reiniciado todo o processo produtivo. Para a maioria das indústrias este período de reinício aumenta com a duração da interrupção.

Os custos totais das interrupções, normalizados pela demanda máxima (kW) da indústria considerada, foram separados em custos fixos, os quais dependem somente da frequência das interrupções, e custos variáveis que são funções das durações das diversas interrupções.

Tanto os custos fixos quanto os custos variáveis foram divididos em grupos, de acordo com o tempo de reinício de atividades e o risco de danos em equipamentos e materiais.

Para o custo fixo foi tomado o valor correspondente ao custo de uma interrupção inferior a 1 minuto, sendo obtidos 5 grupos de indústrias: ⁽⁶⁰⁾

- . Grupo FA - sem período de reinício e sem riscos de danos em equipamentos e materiais

$$C_f = 0,0 \quad \text{£/kW}$$

onde C_f - custo fixo

- . Grupo FB - período de reinício de atividades inferior ou igual a 30 minutos, sem riscos de danos em equipamentos e materiais

$$C_f = 0,05 \quad \text{£/kW}$$

- . Grupo FC - tempo de reinício entre 30 e 60 minutos, pequeno risco de danos em equipamentos e materiais

$$C_f = 0,13 \quad \text{£/kW}$$

- . Grupo FD - tempo de reinício entre 1 e 3 horas, pequeno risco de danos em equipamentos e materiais

$$C_f = 0,31 \quad \text{£/kW}$$

- . Grupo FE - tempo de reinício acima de 2 horas, alto risco de danos em equipamentos e materiais

$$C_f = 1,4 \quad \text{£/kW}$$

Os custos variáveis foram obtidos a partir dos custos totais subtraindo-se os custos fixos para cada duração considerada e fazendo-se correções através de "fatores apropriados" (sic). Por simplificação, os custos variáveis foram expressos por relações lineares na faixa de 1 a 120 minutos. Foi observado na pesquisa que os custos correspondentes a durações superiores a 120 minutos tendem a crescer menos rapidamente com o tempo, o que foi explicado pelos autores como uma consequência do fato de que, a partir de um certo valor da duração, é possível tomar providências para reduzir os prejuízos.

Os custos variáveis foram divididos em 3 grupos segundo o tempo de reinício de atividades e riscos de danos em equipamentos e materiais, fazendo-se a consideração de que a definição de cada um dos grupos é independente da duração da interrupção, no intervalo de 1 a 120 minutos: ⁽⁶⁰⁾

- . Grupo VA: tempo de reinício desprezível e sem riscos de danos em equipamentos e materiais

$$C_v = 0,125t - 0,002$$

onde: C_v - custo variável, em £/kW
 t - duração da interrupção, em horas

- . Grupo VB: tempo de reinício igual ou inferior a 3 horas, possível risco de danos em equipamentos e materiais

$$C_v = 0,271t + 0,054$$

- . Grupo VC: tempo de reinício acima de 3 horas e alto risco de danos em equipamentos e materiais

$$C_v = 0,333t + 0,525$$

A opção de se classificar ou agrupar as indústrias de acordo com o tempo de reinício de atividades e a possibilidade de danos em equipamentos e materiais é uma proposição bastante diferente daquelas apresentadas por todos os demais trabalhos que procuram determinar os custos das interrupções para os consumidores industriais. Nestes últimos trabalhos as indústrias são agrupadas segundo o tipo de atividade desenvolvida, na expectati

va de que indústrias com processos produtivos semelhantes apresentem valores para os custos das interrupções bastante próximos entre si o que, a nosso ver, conduz a uma classificação mais apropriada do que aquela proposta por Jackson e Salvage.

Além do mais, o número de indústrias pesquisadas foi muito pequeno e os grupos apresentados, tanto para os custos fixos quanto para os custos variáveis, devem ser encarados como uma aproximação para o conjunto total das indústrias e tratados com cautela.

A Figura 4.1 a seguir apresenta os valores obtidos para os custos das interrupções, em £/kW, correspondentes ao período de 1 a 120 minutos para 12 indústrias pesquisadas (valores de 1974).

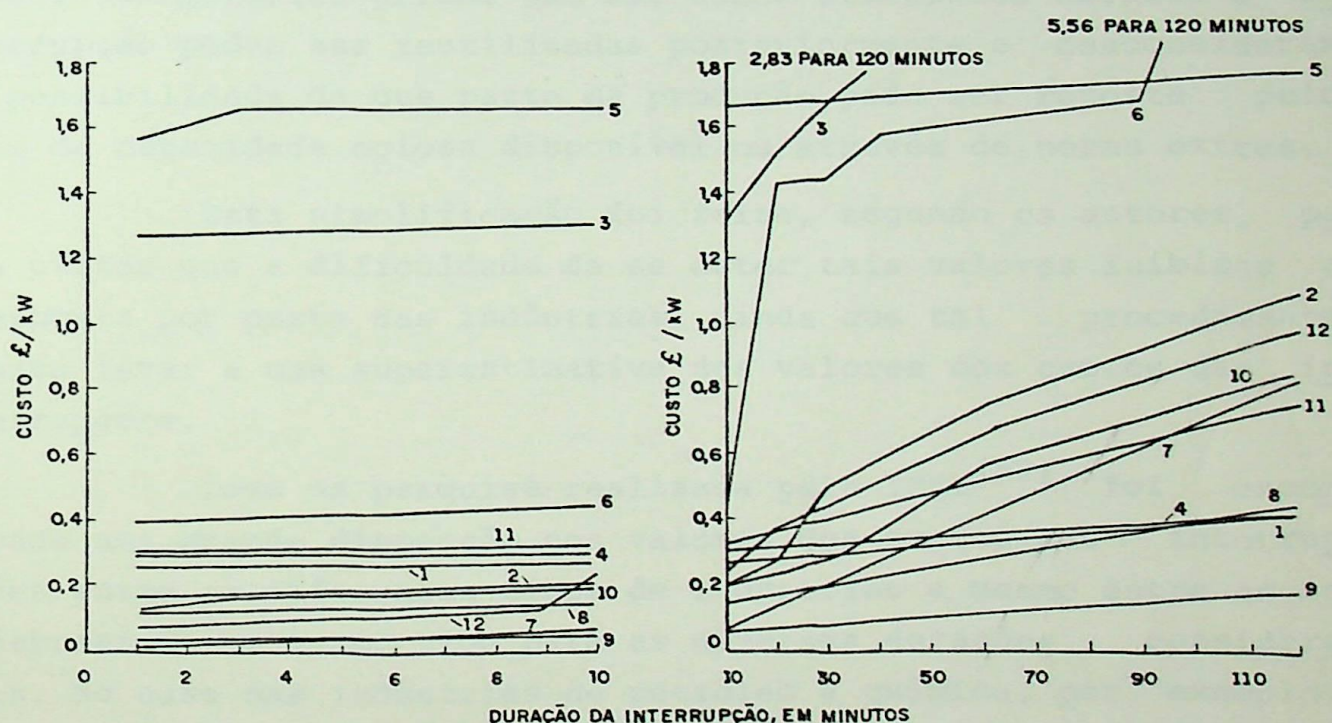


Figura 4.1 - Variação dos custos das interrupções com o tempo de duração para indústrias na Grã-Bretanha. Valores de 1974. (60)

- | | |
|---------------------------------|----------------------------|
| 1. farinha e malte | 7. engrenagens para navios |
| 2. confeitaria | 8. caminhões e tratores |
| 3. batata frita | 9. fios de fibra |
| 4. combustíveis não poluentes | 10. garrafas de vidro |
| 5. folhas de material plástico | 11. papel |
| 6. cilindros para maq. de papel | 12. pneus |

4.2.2.5 - Pesquisa realizada no Canadá (Mackay e Berk) (61)

Em 1978, Mackay e Berk (61) apresentaram os resultados de uma pesquisa sobre os custos das interrupções e sobre outros

fatores relacionados com a continuidade e qualidade do fornecimento de energia elétrica, realizada no Canadá pela Ontario Hydro, durante o ano de 1976, junto a consumidores industriais com demanda superior a 5 MW.

As respostas sobre os custos das interrupções foram separadas segundo 12 tipos de indústrias considerando-se 9 valores para a duração das interrupções, cobrindo desde interrupções muito curtas, inferiores a 1 minuto, até interrupções que atinjam 1 dia ou 1 semana de duração.

Os custos das interrupções foram determinados a partir de informações correspondentes ao valor da produção perdida, aos gastos com trabalho ocioso, aos materiais estragados e às despesas com reparos em equipamentos danificados. Tais custos constituem, assim, uma estimação por excesso, pois incorporam o valor das matérias-primas que não sendo utilizadas durante a interrupção podem ser reutilizadas posteriormente e desconsideram a possibilidade de que parte da produção pode ser reposta pelo uso da capacidade ociosa disponível ou através de horas extras.

Esta simplificação foi feita, segundo os autores, para evitar que a dificuldade de se obter tais valores inibisse a resposta por parte das indústrias, ainda que tal procedimento possa levar a uma superestimativa dos valores dos custos das interrupções.

Como na pesquisa realizada pelo IEEE⁽⁵⁸⁾, foi encontrada uma grande dispersão nos valores dos custos das interrupções entre os diferentes tipos de indústrias e mesmo entre as indústrias de um mesmo tipo para as diversas durações consideradas. No caso das indústrias de petróleo e química, por exemplo, foram obtidos, para uma interrupção inferior a 1 minuto, valores que vão desde 0 a 15 \$/kW de demanda máxima.

Os custos médios calculados para todos os tipos de indústrias pesquisados foram iguais a 0,68 \$/kW, 2,69 \$/kW e entre 15 e 16 \$/kW para interrupções inferiores a 1 minuto, para durações iguais a 1 hora e 1 dia, respectivamente. Para interrupções que durem 1 semana foi obtido um custo em torno de 60 \$/kW, todos os valores em dólares de 1976.⁽⁶¹⁾

A pesquisa procurou determinar a presença ou não de equipamentos de emergência nas indústrias, embora os autores não tenham procurado incluir os custos associados como uma parcela

dos custos das interrupções, nem tenham analisado a relação entre a presença ou não de tais equipamentos e os valores dos custos das interrupções obtidos.

Foi constatado que somente 60% das indústrias possuem tais equipamentos e de que estes são instalados principalmente para manter serviços essenciais, proteger equipamentos e manter o fornecimento de água de refrigeração para fornos. Alguns consumidores indicaram que poderiam instalar tais equipamentos para reduzir riscos e danos, caso a frequência das interrupções aumentasse significativamente, embora muitos tenham indicado que seria anti-econômico para eles a instalação de equipamentos de emergência com capacidade suficiente para manter a produção durante a interrupção.

Quanto aos efeitos de uma redução de tensão durante situações de emergência, mais de 80% das indústrias indicaram que toleravam uma redução de 5% ou menos sem que houvesse cortes no processo produtivo, sendo que somente 20% dos consumidores suportariam uma redução na tensão igual a 10%.

A pesquisa também abordou o comportamento das indústrias frente a interrupções planejadas, tais como racionamentos de energia: cerca de 75% das indústrias indicaram preferir poucas interrupções de maiores durações a interrupções mais frequentes com a mesma duração total; a maioria das indústrias também indicou preferir reduções parciais no fornecimento ainda que mais prolongadas a interrupções totais mas de menores durações.

Quanto ao período de ocorrência das interrupções, foi constatado que os prejuízos são maiores quando as falhas no fornecimento ocorrem durante o período normal de trabalho e menores quando estas falhas ocorrem fora deste período.

Cerca de metade dos consumidores indicou não haver variação dos custos das interrupções de acordo com as diversas estações do ano, embora muitos consumidores tenham indicado estações onde os custos são maiores ou menores, de acordo com os períodos de maior produção ou de possibilidade de danos provocados pelo frio.

Um pouco mais de metade dos consumidores indicou que um aviso antecipado, por parte da concessionária de energia elé

trica, da ocorrência de uma interrupção, não permitiria que os prejuízos sofridos pela indústria fossem reduzidos, embora cerca de um terço dos consumidores tenha indicado que estes prejuízos poderiam ser reduzidos substancialmente.

Embora cerca de um quarto dos respondentes tenha considerado que, caso a frequência das interrupções aumentasse, o custo por interrupção (de mesma duração) também aumentaria, mais da metade dos consumidores indicou não haver qualquer influência da frequência das interrupções nos valores por eles fornecidos.

Nesta pesquisa, ao contrário daquela realizada pelo IEEE, os autores procuraram definir diretamente os custos das interrupções relativos a cada uma das durações consideradas. Por este motivo a influência do tempo de reinício de atividades e do tempo crítico para perda de serviço não pode ser explicitada.

Os valores obtidos para os custos de interrupção com uma semana ou mesmo um dia de paralisação devem ser encarados com muita cautela uma vez que muitas providências podem ser tomadas para a redução dos prejuízos decorrentes destas interrupções, como por exemplo, antecipação de manutenção preventiva, e também porque muito poucas indústrias já estiveram submetidas a interrupções tão longas.

A análise da variação dos prejuízos com a frequência, períodos do ano e presença de equipamentos de emergência, embora feita de maneira qualitativa, sem a preocupação de relacioná-los com os resultados obtidos, é de grande interesse para o levantamento mais minucioso dos custos das interrupções.

4.2.2.6 - Pesquisa realizada no Canadá (Wojczynski, Billinton e Wacker⁽⁶²⁾; Subramaniam, Billinton e Wacker⁽⁶³⁾)

Nestes trabalhos são apresentados os resultados de uma pesquisa realizada no Canadá em 1980 sobre os custos das interrupções relativos aos consumidores comerciais e pequenas indústrias.

A pesquisa foi idealizada e realizada de tal forma que partindo dos valores obtidos para os custos referentes a um caso base - custos relativos a uma interrupção numa sexta-feira, perto do final de janeiro, às 10:00 horas da manhã - foram obti

das, através do uso de questões em forma de tabelas comparativas⁽⁶²⁾, as variações dos custos com respeito ao período do dia, dia da semana e mês do ano.

Os custos decorrentes de uma interrupção para os consumidores industriais (os resultados referentes aos consumidores comerciais serão comentados no Capítulo V a seguir) foram pesquisados em termos dos danos em equipamentos e instalações, matérias-primas ou produtos finais estragados ou danificados, custos extras com o processo de reinício de atividades (limpeza, manutenção, inspeções, etc.) e custos de operação dos equipamentos de emergência, além do valor da produção perdida durante a interrupção, avaliada como o preço de venda estimado do produto menos os gastos economizados em serviços, materiais e mão-de-obra. Se parte da produção pudesse ser recuperada durante períodos de ociosidade da capacidade instalada ou através de horas extras, esta não deveria ser incluída, devendo-se incluir, porém, neste último caso o pagamento de horas extras aos funcionários.

Os custos obtidos foram normalizados com respeito à demanda máxima anual (\$/kW) e ao consumo anual de energia (\$/kWh). As indústrias foram classificadas e agrupadas em diversas categorias, incluindo indústrias químicas, petrolíferas, têxteis, de equipamentos, de transporte, de papel, entre outras.

A Tabela 4.3 a seguir fornece os valores relativos ao caso base obtidos para o total das indústrias e para as diversas durações das interrupções consideradas.

| Duração da Interrupção | Custos das Interrupções | |
|------------------------|-------------------------|----------|
| | \$/kW | \$/kWh |
| 1 minuto | 0,70 | 0,000215 |
| 20 minutos | 2,88 | 0,000862 |
| 1 hora | 5,19 | 0,001830 |
| 4 horas | 13,87 | 0,005179 |
| 8 horas | 27,60 | 0,009956 |

Tabela 4.3 - Custos das interrupções para o total das pequenas indústrias no Canadá. Valores normalizados em relação à demanda máxima (\$/kW) e ao consumo anual de eletricidade (\$/kWh). Valores em dólares canadenses de 1980.⁽⁶²⁾

Como nas demais pesquisas já analisadas, os custos das interrupções variaram muito de consumidor para consumidor, com um grande número de respostas indicando como desprezáveis

os prejuízos devidos à ocorrência de uma interrupção nas diversas durações consideradas.

Quando as indústrias foram agrupadas em categorias, a razão entre o desvio-padrão e a média reduziu-se a 1/3 do valor obtido quando se considerava o conjunto total de consumidores.⁽⁶²⁾ Ou seja, o agrupamento de indústrias similares em categorias faz com que a dispersão entre os valores dos custos das interrupções em torno do valor médio representativo da categoria seja significativamente inferior à dispersão encontrada quando se considera o conjunto total dos consumidores.

O tempo médio para reinício de atividades, pesquisado em função do valor da duração das interrupções está indicado na Tabela 4.4 a seguir:

| Duração da Interrupção | Tempo médio de reinício de atividades (horas) |
|------------------------|---|
| 1 minuto | 0,36 |
| 20 minutos | 1,47 |
| 1 hora | 1,56 |
| 4 horas | 2,13 |
| 8 horas | 5,08 |

Tabela 4.4 - Tempo médio de reinício de atividades para pequenas indústrias no Canadá.⁽⁶²⁾

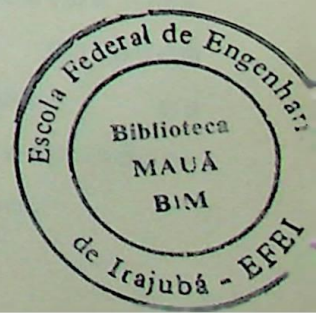
Também foi constatado nesta pesquisa que, na eventualidade de um racionamento, 30% dos consumidores industriais preferem interrupções menos frequentes e mais longas a interrupções mais frequentes e de menores durações. Setenta e cinco por cento dos consumidores que responderam ao questionário podem reduzir os prejuízos causados por uma interrupção uma vez avisados de sua ocorrência com antecedência, chegando-se a atingir, para uma notificação prévia de 3 dias, uma redução de 68% nestes prejuízos. Este resultado difere daquele obtido pela pesquisa apresentada por Mackay e Berk, entre consumidores industriais com demandas superiores a 5 MW, onde um pouco mais da metade dos consumidores pesquisados indicou que não haveria qualquer efeito nos valores para os custos das interrupções se houvesse tal aviso antecipado.

A pesquisa mostrou ainda que a maioria das indústrias é capaz de reduzir seus prejuízos (48% em média) se a duração da interrupção for comunicada uma vez que ela se inicie.

Com relação à variação dos custos das interrupções em função do período de sua ocorrência podem ser citados os seguintes resultados: (62, 63)

- . Dia da semana: Enquanto os custos se mantêm aproximadamente constantes para o período compreendido entre segunda e sexta-feira, para os fins de semana os custos das interrupções são ligeiramente inferiores, 15% em média, ao valor obtido para o caso base (sexta-feira). As interrupções que ocorrem aos domingos apresentam os menores custos.
- . Período do ano: No caso estudado, os maiores e menores prejuízos correspondem às interrupções que ocorrem durante o inverno e verão, respectivamente. Porém, a diferença entre os valores máximos e mínimos é pequena, inferior a 15% em média, além do que nenhum consumidor indicou para qualquer período do ano custos inferiores ou superiores a 15% do valor correspondente ao caso base. Deste modo os autores afirmam que a utilização dos valores obtidos para o inverno, como representativos dos custos das interrupções para todo o ano, não leva a erros significativos, servindo como um limite superior para tais valores.
- . Períodos do dia: O período durante o qual os custos das interrupções se mostram mais elevados corresponde ao caso base, 10 horas da manhã, seguido do período correspondente ao meio da tarde. O período noturno é o período do dia onde uma interrupção provoca menos prejuízos.

A pesquisa procurou determinar a existência ou não de equipamentos de emergência, separando os consumidores em quatro categorias, cujas características estão indicadas na Tabela 4.5 a seguir:



| Tipo de Equipamento de Emergência Usado | Porcentagem dos consumidores(%) (a) | Demanda Máxima média dos consumidores (kW) | Consumo Anual Médio de eletricidade dos consumidores (kWh) |
|--|-------------------------------------|--|--|
| Sem qualquer tipo de equipamento de emergência | 87,0 | 351,0 | 1 138 301,0 |
| Sistemas de baterias | 6,0 | 7765,0 | 45 912 045,0 |
| Sistemas eletromecânicos | 8,0 | 6239,0 | 31 994 750,0 |
| Outros sistemas | 1,0 | - (b) | - (b) |

Tabela 4.5 - Tipos de equipamentos de emergência usados e dados adicionais dos consumidores industriais pesquisados no Canadá. (62,63)

(a) A soma das porcentagens é superior a 100% devido à presença de consumidores com mais de um equipamento instalado.

(b) Dados não fornecidos pela referência (63).

A maioria dos consumidores que possuem tais equipamentos utiliza-os principalmente para minimizar riscos para os trabalhadores ou para o público, para a prevenção de danos nas instalações ou em produtos finais. Somente um quarto destes consumidores indicou que o equipamento de emergência seria usado para manter a produção.

Uma importante contribuição desta pesquisa foi a de considerar o tempo de reinício de atividades como uma função da duração da interrupção, o que não havia sido considerado em nenhuma das pesquisas já analisadas anteriormente nesta seção. Pode-se, ainda, observar pela Tabela 4.4 que não existe, para o conjunto das indústrias pesquisadas, uma simples relação entre o tempo de reinício e a duração da interrupção.

O trabalho apresentado por Subramanian et alii⁽⁶³⁾, utilizando os resultados obtidos pela pesquisa de Wojczynski et alii⁽⁶²⁾, procurou determinar os efeitos da presença, ou não, de equipamentos de emergência nos valores dos custos das interrupções.

Foi observado que os consumidores que possuem sistemas de baterias, como equipamentos de emergência, são os que apresentam sistematicamente os menores valores para os custos das interrupções. Por outro lado, os consumidores que não possuem qualquer equipamento de emergência apresentam valores para os custos das interrupções bastante próximos daqueles correspondentes aos consumidores com sistemas do tipo eletromecânico.

Foi também constatado nesta pesquisa que o número de consumidores que não possuem qualquer tipo de equipamento de emergência é bastante superior ao revelado pela pesquisa de Mackay e Berk⁽⁶¹⁾. Pode-se observar, pela Tabela 4.5, que o valor médio da demanda máxima destes consumidores é bastante inferior aos valores obtidos para os consumidores com algum tipo de equipamento de emergência e aos valores correspondentes aos consumidores pesquisados por Mackay e Berk⁽⁶¹⁾ (demanda máxima acima de 5 MW).

Deste modo é possível que a ausência de tais equipamentos seja devida ao investimento necessário para a sua aquisição, instalação, operação e manutenção. Tal investimento seria especificamente oneroso para as pequenas indústrias, uma vez que os gastos efetuados não seriam compensados pela redução nos prejuízos provocados pelas interrupções de energia elétrica.

4.2.2.7 - Munasinghe⁽³⁾

Munasinghe⁽³⁾ procurou desenvolver uma metodologia, um procedimento, que permitisse considerar todos os possíveis aspectos envolvidos com uma análise mais profunda dos efeitos de uma interrupção no fornecimento de eletricidade. Muitos destes efeitos já foram considerados, algumas vezes de modo superficial, nos trabalhos comentados anteriormente neste capítulo.

Segundo o autor, os custos das interrupções para os consumidores industriais também podem ser separados em dois componentes: custos diretos e custos indiretos.

Tal como definido no Capítulo III, os custos indiretos estão relacionados com os efeitos, a longo prazo, de uma expectativa por parte dos consumidores quanto ao nível futuro da qualidade e continuidade de serviço fornecido pela concessionária de energia elétrica.

Os custos envolvidos com modificações dos processos produtivos de forma a torná-los menos suscetíveis a interrupções de energia elétrica, os custos de aquisição de equipamentos de emergência, bem como quaisquer outros gastos destinados a reduzir os prejuízos provocados por interrupções podem ser, desta forma, classificados como custos indiretos.

Na determinação dos custos diretos das interrupções

devem ser considerados diversos fatores que, levantados a partir da realização de pesquisas diretas junto aos consumidores, devem procurar refletir ao máximo as situações comumente encontradas quando as indústrias são atingidas por falhas no seu suprimento de energia elétrica.

Segundo este autor duas situações distintas podem o correr:

A - Parte da produção perdida durante uma interrupção de energia elétrica não pode ser recuperada através de horas extras:

Neste caso, o custo anual das interrupções pode ser calculado por:

$$C = CPD + (CFO - CR) \quad (4.3)$$

onde:

CPD - custo de produtos e matérias-primas danificados

CFO - custo dos fatores ociosos durante a interrupção, que corresponde ao custo (real) da produção paralisada

CR - parcela da produção perdida que é recuperada após o reinício das atividades através do uso mais intensivo de linhas de produção ou da ativação de uma possível capacidade ociosa, durante o período normal de trabalho.

Os prejuízos contabilizados pelo primeiro fator, CPD, envolvendo produtos e matérias-primas danificados, dependem do tipo de processo produtivo empregado pela indústria, da sua sensibilidade a interrupções de energia e do tipo de matérias-primas empregadas na elaboração do produto final. Algumas indústrias são sensíveis tanto a interrupções momentâneas (instantâneas) quanto às de maiores durações, enquanto que outras só passam a sofrer prejuízos após a duração das interrupções ultrapasar um certo valor crítico, verificando-se que, em alguns casos, estes custos são crescentes com a duração da interrupção.

Estes prejuízos devem ser avaliados em termos do valor adicionado embutido no produto danificado mais os custos das matérias-primas e outros insumos nele incorporados.

Assim, pode-se escrever que o fator CPD será igual, em termos anuais, a:

$$CPD = \sum_{i=1}^f \beta(d_i) \cdot \frac{Q}{h} \quad (4.4)$$

onde:

f - número de interrupções por ano

d_i - duração da i -ésima interrupção, em horas

Q - valor adicionado anual total, em Cz\$

h - número de horas de operação da indústria durante o ano

$\beta(d_i)$ - valor dos produtos e matérias-primas danificados durante uma interrupção de energia elétrica de duração d_i , expresso como fração do valor adicionado total por hora de funcionamento, Q/h . Se existe uma duração crítica da interrupção, α , abaixo da qual não há danos em produtos ou matérias-primas, então:

$$\begin{aligned} \beta(d_i) &= 0 & \text{se } d_i < \alpha \\ \beta(d_i) &\neq 0 & \text{se } d_i \geq \alpha \end{aligned} \quad (4.5)$$

O valor de $\beta(d_i)$ pode ser convenientemente separado em duas parcelas, isto é:

$$\beta(d_i) = v(d_i) + m(d_i) \quad (4.6)$$

onde:

$v(d_i)$ - valor adicionado já embutido nos produtos danificados durante a interrupção

$m(d_i)$ - valor da matéria-prima e outros insumos perdidos

Quando somente matérias-primas existentes em estoques são perdidas, então $v(d_i)=0$.

Para a determinação do custo dos fatores ociosos durante a interrupção, CFO, pode parecer à primeira vista que tal custo deveria ser avaliado pelo valor do produto final deixado de produzir durante este período; porém, como matérias-primas e outros insumos não são utilizados durante a interrupção, corretamente este custo deve ser calculado em termos dos recursos produtivos, capital e trabalho não utilizados.⁽³⁾

Como visto nas pesquisas analisadas anteriormente neste capítulo^(58,60-62), após uma interrupção de energia, algumas empresas não podem reiniciar imediatamente o seu processo produtivo a um nível normal de produção. Assim, durante este período de reinício de atividades também devem ser considerados os custos dos fatores que ainda permanecem ociosos.

Este tempo de reinício de atividades pode depender da duração da interrupção, com a possibilidade de que haja uma duração mínima, abaixo do qual o mesmo seja nulo.

Pode-se então escrever para o fator CFO:

$$CFO = \sum_{i=1}^f [\epsilon d_i + \bar{\epsilon} \gamma(d_i)] \cdot \frac{Q}{h} \quad (4.7)$$

onde:

ϵ - custo devido aos fatores ociosos durante o período de interrupção, expresso como uma fração de Q/h

$\bar{\epsilon}$ - custo devido aos fatores ociosos, por hora de período de reinício de atividades, expresso como uma fração de Q/h

$\gamma(d_i)$ - tempo de reinício de atividades, que é, em geral, uma função da duração da interrupção d_i . Pode também ocorrer que exista uma duração mínima, δ , tal que $\gamma(d_i)$ seja nulo para $d_i < \delta$ e, conseqüentemente, $\bar{\epsilon} = 0$.

De maneira mais geral, os coeficientes ϵ e $\bar{\epsilon}$ não devem necessariamente ser considerados como constantes, e deste modo poder-se-ia escrever $\epsilon = \epsilon(d_i)$ e $\bar{\epsilon} = \bar{\epsilon}(d_i)$.

Por sua vez, o fator CR, que corresponde à parcela da produção que pode ser recuperada após o restabelecimento do fornecimento de energia, pode ser considerado como função da duração da interrupção, uma vez que para falhas muito curtas é maior a possibilidade de se recuperar a produção perdida do que para o caso de interrupções muito longas. Para efeito de simplificar a análise, Munasinghe⁽³⁾ considera um valor médio, λ , que representa a parcela dos custos devidos à paralisação da produção que podem ser recuperados. Assim:

$$CR = \lambda \cdot CFO \quad (4.8)$$

onde CR é o custo recuperado.

Substituindo as equações (4.4), (4.6), (4.7) e (4.8) na equação (4.3), obtém-se a expressão final do custo das interrupções, para este caso:

$$C = \frac{Q}{h} \cdot \sum_{i=1}^f \{v(d_i) + m(d_i) + [\epsilon d_i + \bar{\epsilon} \gamma(d_i)](1-\lambda)\} \quad (4.9)$$

Os termos do lado direito desta equação podem ser convenientemente agrupados de acordo com a sua natureza. Assim:

$$C = \frac{Q}{h} \sum_{i=1}^f m(d_i) + \frac{Q}{h} \sum_{i=1}^f \{v(d_i) + [\epsilon d_i + \bar{\epsilon} \gamma(d_i)](1-\lambda)\} \quad (4.10)$$

A segunda parcela calcula o custo das interrupções ligado aos fatores de produção, trabalho e capital, designada pelo autor de custo dos fatores, CF.

A primeira parcela calcula a contribuição para o custo das interrupções associada à perda de matérias-primas e outros insumos, por isso designada pelo autor de custo dos não fatores, CNF.

Assim:

$$CNF = \frac{Q}{h} \sum_{i=1}^f m(d_i) \quad (4.11)$$

$$CF = \frac{Q}{h} \sum_{i=1}^f \{v(d_i) + [\epsilon d_i + \bar{\epsilon} \gamma(d_i)](1-\lambda)\} \quad (4.12)$$

e

$$C = CNF + CF \quad (4.13)$$

B - Parte da produção perdida durante uma interrupção de energia elétrica pode ser recuperada através de horas extras

As empresas que não trabalham durante as 24 horas do dia podem obter uma redução nos prejuízos provocados pelas interrupções através da recuperação parcial ou total da produção durante horas extras.

Como os custos dos não fatores, por definição, representam uma perda permanente de matérias-primas e outros insumos, somente a fração dos custos das interrupções referente aos custos dos fatores, CF, poderá ser recuperada, total ou parcialmen

te, por meio de horas extras.

Neste caso o custo das interrupções é calculado pela expressão:

$$C = CNF + CF - \rho CF + COP \quad (4.14)$$

onde:

CNF, CF - custo dos não fatores e custos dos fatores respectivamente, já definidos anteriormente

ρ - parcela dos custos dos fatores que se pretende recuperar através de horas extras

COP - custo de oportunidade decorrente do fato de que o trabalhador ao permanecer na indústria durante as horas extras sacrifica outras atividades, inclusive o seu lazer

Uma vez definida a parcela ρ , da produção que se pretende recuperar através de horas extras, o número destas horas, h_o , que devem ser trabalhadas calcula-se por:

$$h_o \cdot \frac{Q}{h} = \rho \cdot CF \quad (4.15)$$

$$h_o = \frac{\rho \cdot CF}{(Q/h)} \quad (4.16)$$

ou finalmente:

$$h_o = \rho \sum_{i=1}^f \{v(d_i) + [\varepsilon d_i + \bar{\varepsilon} \gamma(d_i)](1-\lambda)\} \quad (4.17)$$

O custo de oportunidade associado ao fator trabalho, COP, é obtido pelo produto da parcela do valor adicionado total, L, correspondente a este fator, pela "taxa de salário efetiva", definida como a razão entre o salário horário durante as horas extras e o salário horário durante as horas normais de trabalho e pelo número de horas extras necessárias, h_o :

$$COP = \frac{L}{h} \cdot \frac{\bar{w}}{w} \cdot h_o = \frac{L}{h} \cdot \frac{\bar{w}}{w} \cdot \frac{\rho \cdot CF}{(Q/h)} \quad (4.18)$$

Com relação à equação acima, cabe aqui tecer alguns comentários:

- . Na sua derivação foi considerado que a indústria produz, durante as horas extras, no mesmo ritmo que durante as horas normais, ou seja, o valor adicionado por hora extra é igual ao valor Q/h , o que muitas vezes pode não ser uma suposição aceitável.
- . Para o caso onde exista qualquer distorção no mercado, devido por exemplo a imposições institucionais, a razão \bar{w}/w deverá ser substituída por uma "taxa-sombra" (shadow wage rate) na representação do custo real de oportunidade do trabalho, de modo a corrigir tal distorção.⁽³⁾
- . O custo de oportunidade do fator capital é desprezado, uma vez que o autor considera que não haveria depreciação pelo uso adicional deste capital e nem haveria usos alternativos para este fator, desprezando também os possíveis gastos com manutenção e quaisquer outros gastos durante este período extra de funcionamento.⁽³⁾ Tal procedimento visa a simplificar a análise a ser realizada no levantamento dos custos das interrupções.

Substituindo as equações (4.11), (4.12) e (4.18) na equação (4.14), chega-se finalmente ao valor final requerido:

$$C = \frac{Q}{h} \cdot \sum_{i=1}^f \{m(d_i) + [1 + \rho(\frac{\bar{w}}{w} \frac{L}{Q} - 1)] \cdot [v(d_i) + (\epsilon d_i + \bar{\epsilon} \gamma(d_i))(1-\lambda)]\} \quad (4.19)$$

Nesta formulação teórica apresentada por Munasinghe⁽³⁾, verifica-se que existem simplificações e aproximações que numa aplicação prática podem ser superadas de acordo com os dados levantados juntos às indústrias pesquisadas, na medida em que se deseje maior detalhamento na determinação dos custos das interrupções.

O autor procurou ressaltar fatores como gastos com horas extras, recuperação da produção através de maior aproveitamento da capacidade ociosa, tempo de reinício de atividades variável com a duração das interrupções, que muitas vezes não têm sido adequadamente considerados em outras pesquisas, embora possam vir a representar uma parcela apreciável nos valores obtidos para estes custos.

Variáveis como tempo crítico para perda de serviço, tempo de reinício de atividades, perdas provocadas em matérias-

primas e equipamentos, custos extras de manutenção, reparos e limpeza, custos de operação e manutenção de geradores de emergência, entre outras, identificadas em pesquisas já anteriormente analisadas já estão, ou poderão vir a ser, incorporadas nesta formulação de caráter bastante geral.

Tendo por base a formulação teórica acima descrita, o autor, com o auxílio de técnicos e engenheiros da COPEL, realizou uma pesquisa em Cascavel, Paraná, em 1976, junto a 22 indústrias para determinar os efeitos e os custos de interrupções no fornecimento de energia elétrica a estas empresas. (3)

Estas indústrias foram agrupadas em 9 grupos, segundo as suas atividades principais. Para determinar os custos das interrupções referentes a cada um destes grupos, os valores obtidos para cada uma das indústrias componentes foram ponderados segundo a sua participação relativa no valor adicionado total do grupo.

Para cada grupo de indústrias considerado o autor procurou estabelecer, através da análise de dados fornecidos pela pesquisa, funções que relacionassem os custos das interrupções com a duração das mesmas, expressos como fração do seu valor adicionado total. Foram obtidas, para os diversos grupos, funções do tipo: (3)

$$C = a + b.d \quad \text{função linear}$$

$$C = a + b.\log_{10}d \quad \text{função logarítmica}$$

$$C = \begin{cases} a_1 + b_1.d & \text{para } d < d^* \\ a_2 + b_2.d & \text{para } d \geq d^* \end{cases} \quad \text{função linear por partes}$$

onde a , b , a_1 e b_1 são coeficientes determinados por ajuste.

Como os prejuízos sofridos pelas indústrias devido às interrupções podem variar segundo o momento em que estas ocorrem, foi considerada a possibilidade de serem estabelecidas funções diferentes para cada um dos diferentes períodos do dia.

A Tabela 4.6 a seguir mostra os resultados obtidos por Munasinghe (3), expressos como fração do valor adicionado total do grupo considerado.

| Indústria | Tipo de Função | Coeficientes Estimados | | Comentários Adicionais |
|---------------------------------|-------------------|------------------------|-----------------------|--|
| | | a(x10 ⁻⁴) | b(x10 ⁻⁴) | |
| Mecânica | linear | 0,0013 | 3,9 | operação de 8:00 às 18:00 horas |
| Metalúrgica | linear | 0,0013 | 3,9 | idem |
| Minerais não Metálicos | linear | 0,0077 | 3,5 | idem |
| Madeira | linear | 0,094 | 3,9 | idem |
| Óleos Vegetais | linear por partes | 0,037 3,6 | 2,1 1,9 | $\left. \begin{array}{l} d < 0,5 \text{ horas} \\ d \geq 0,5 \text{ horas} \end{array} \right\} \begin{array}{l} 24 \text{ horas de operação} \end{array}$ |
| Produtos Alimentícios e Bebidas | linear por partes | 1,22 7,07 | 2,30 2,02 | $\left. \begin{array}{l} d < 0,5 \text{ horas} \\ d \geq 0,5 \text{ horas} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{operação de} \\ 8:00 \text{ às } 18:00 \text{ horas} \end{array}$ |
| | linear | 0,66 | 0,72 | operação em período noturno |
| Outras indústrias | logarítmica | 7,2 | 2,9 | $d \geq 0,1$ horas, operação das 8:00 às 18:00 horas |
| Telefone | linear | 0,002 | 1,1 | 24 horas de operação |
| Tratamento de água | linear | -0,27 | 1,1 | $d \geq 2$ horas, operação de 8:00 às 18:00 horas |

Tabela 4.6 - Funções Custos das Interrupções para consumidores industriais, no Brasil. (3)

Estas expressões para os custos das interrupções foram usadas por Munasinghe⁽³⁾ em um caso-estudo de planejamento ótimo do sistema de distribuição de Cascavel, para o período de 1976 a 1996, no qual foram incluídos os custos e os benefícios relativos ao nível de confiabilidade oferecido aos consumidores.

Com as projeções anuais dos valores adicionais para as diversas indústrias consideradas, obtidas a partir do mesmo questionário usado no levantamento das funções indicadas na Tabela 4.6 anterior, e de consultas feitas a órgãos governamentais e outros, com a determinação da frequência e duração das interrupções esperadas que atingirão as indústrias nos diversos períodos do dia em cada ano do horizonte considerado e ainda com as funções indicadas na Tabela 4.6, o autor pôde calcular os custos das interrupções para o setor industrial atendido pelo sistema de distribuição, em todo o horizonte de planejamento analisado.

Vê-se assim que o autor procurou considerar o fato de que os prejuízos sofridos pelos consumidores industriais podem ser alterados com o decorrer do tempo. Para o caso estudado foi admitido que estes prejuízos acompanham a evolução do valor adicionado total das indústrias, mantendo-se as funções custos das interrupções inalteradas durante o período sob análise.

Esta última suposição simplificadora pode ser necessária quando não estejam disponíveis informações adicionais sobre as modificações nos processos de produção, no aproveitamento da capacidade instalada e incorporação de novas tecnologias ao longo do período, uma vez que estas alterações poderão resultar na modificação das sensibilidades das indústrias frente às interrupções de energia e, conseqüentemente, alterar os prejuízos resultantes de tais falhas.

Embora Munasinghe⁽³⁾ tenha enfatizado a separação dos custos totais das interrupções em suas parcelas diretas e indiretas, tanto a formulação teórica apresentada quanto os resultados obtidos através da pesquisa realizada em Cascavel se limitaram a abordar somente a primeira componente, não fazendo o autor quaisquer comentários sobre a maneira pela qual se tornaria possível determinar a componente indireta nem sobre a forma de incluí-la nos custos totais das interrupções.

4.3 - Conclusões

Neste capítulo foram descritas as principais metodologias, aqui denominadas específicas, destinadas à determinação dos custos das interrupções para os consumidores industriais.

A avaliação destes custos considerando a valorização da mão-de-obra que é tornada ociosa devido à ocorrência de interrupções de energia elétrica, tal como proposto por Sheppard⁽⁴⁷⁾, não parece fornecer, na maioria dos casos, uma aproximação aceitável dos valores reais dos prejuízos sofridos pelas indústrias.

Por sua vez, a realização de pesquisas diretas junto aos consumidores industriais têm-se mostrado como a maneira mais adequada no levantamento dos custos das interrupções para este tipo de consumidores.

Por meio de tais pesquisas, pode-se analisar mais detalhadamente como estes consumidores são afetados por uma interrupção inesperada de energia elétrica, ressaltando-se os diversos fatores que influenciam, em maior ou menor grau, os prejuízos por eles sofridos. Dentre estes fatores, os resultados das pesquisas descritas anteriormente permitem destacar como mais importantes os seguintes:

. Duração das interrupções

Uma vez ocorrida uma interrupção, os prejuízos dela decorrentes são altamente dependentes da duração respectiva.

. Frequência das interrupções

Durante um certo intervalo de tempo, o custo das interrupções depende da frequência das mesmas.

. Momento de ocorrência das interrupções

Muitas vezes o processo de produção não se realiza da mesma maneira e no mesmo ritmo (nível) ao longo dos diferentes períodos do dia, da semana ou nos diferentes meses do ano, ou pelo menos não se encontra igualmente exposto às interrupções de energia elétrica durante estes períodos. Desse modo, os prejuízos sofridos pelas indústrias poderão variar de acordo com o momento em que essas interrupções venham a ocorrer.

. Duração crítica de uma interrupção

Pode acontecer que alguns processos só sejam afetados após a duração da interrupção ultrapassar um certo valor chamado aqui de duração crítica ou tempo crítico para a manutenção da de serviço.

. Tempo de reinício de atividades

Nem todos os processos produtivos podem ser retomados normalmente logo após o restabelecimento da energia elétrica exigindo, para tanto, um certo tempo mínimo, chamado de tempo de reinício de atividades.

. Perda de produtos acabados ou semi-acabados, de matérias-primas e outros insumos

Algumas indústrias podem estar sujeitas a estas perdas quando da ocorrência de interrupções quase instantâneas, enquanto outras suportam falhas mais ou menos longas sem qualquer perda. A valorização da perda de produtos acabados ou semi-acabados deve ser feita pelo valor adicionado já embutido no produto danificado mais o custo das matérias-primas e outros insumos nele incorporados.

. Perda de produção

Nos períodos correspondentes à duração das interrupções e ao tempo de reinício de atividades poderá haver algum tipo de paralisação na produção, acarretando um prejuízo que deve ser medido em termos dos fatores produtivos, capital e trabalho, não utilizados em tais períodos.

. Recuperação da produção perdida através de uma maior utilização da capacidade instalada ,

Pode haver a possibilidade de se recuperar uma parcela da produção perdida, indicada anteriormente, através do uso mais intensivo das linhas de produção ou da ativação de uma eventual capacidade ociosa durante o período normal de trabalho. Esta parcela poderá variar conforme a duração da interrupção, uma vez que a possibilidade de tal recuperação é tanto maior quanto menor for esta duração. De todo modo, tal recuperação contribuirá para diminuir os prejuízos decorrentes das interrupções.

- . Recuperação da produção perdida através do funcionamento durante horas extras

Para as indústrias que não operem continuamente as 24 horas do dia pode haver a possibilidade da recuperação, pelo menos em parte, da produção perdida durante a interrupção. Tal como no caso anterior, esta recuperação da produção também contribuirá para a redução dos prejuízos dela decorrentes. Porém, deverão ser considerados os gastos extras necessários com o funcionamento da indústria durante este período.

- . Gastos extras com limpeza, manutenção e outros, devido às interrupções

A presença destes gastos também deve ser considerada na determinação dos custos das interrupções.

- . Presença ou não de equipamentos de emergência

A inclusão dos custos de operação e manutenção destes equipamentos deve ser considerada, assim como o valor do investimento realizado com a aquisição dos mesmos a partir do conceito já apresentado de custos indiretos das interrupções.

Dependendo do tipo de consumidor analisado e de suas características próprias, relacionadas com a tecnologia empregada e dos produtos em elaboração por exemplo, os diversos fatores acima descritos assumem maior ou menor importância relativa.

O levantamento dos custos das interrupções, tendo em vista todos estes fatores, não é uma tarefa simples de ser realizada, sendo de grande importância que o questionário elaborado seja claro, objetivo e exaustivo.

Para estudos voltados para o planejamento de sistemas de distribuição, pode ser necessário dispor dos custos das interrupções desagregados em um certo número de classes de consumidores industriais e não apenas dos valores obtidos para o setor como um todo.

O agrupamento das indústrias segundo a atividade desenvolvida é a classificação mais amplamente aceita, uma vez que

se espera que indústrias com processos de produção semelhantes apresentem valores para os custos das interrupções bastante próximos entre si.

Porém, quando julgado necessário, pode-se obter valores ainda mais desagregados, separando os grupos anteriores em sub-grupos, podendo-se também considerar, por exemplo, a sugestão de Jackson e Salvage⁽⁶⁰⁾ quanto à separação dos consumidores industriais segundo as suas sensibilidades a danos em matérias-primas, risco de danos em equipamentos e período de reinício de atividades.

Os trabalhos comentados neste capítulo visam quantificar somente os chamados custos diretos das interrupções, não considerando portanto a contribuição dos custos indiretos na formação dos custos totais das interrupções.

A presença de equipamentos de emergência em muitas instalações industriais, seja para manter a produção, seja para proteger funcionários e equipamentos de situações de risco, assim como possíveis modificações nos respectivos processos de produção a fim de prevenir os mesmos contra interrupções de energia elétrica, demonstram a importância destes custos indiretos e apontam no sentido de que os mesmos devem ser considerados através do emprego de metodologias apropriadas.

Cabe ressaltar também, como alerta Munasinghe⁽³⁾, que os valores para os custos diretos das interrupções são grandemente afetados pelos valores dos custos indiretos e vice-versa. Este comportamento pode ser observado através da análise dos resultados obtidos por Subramaniam et alii⁽⁶³⁾, onde os custos diretos obtidos para uma interrupção de determinada duração foram diferentes conforme o tipo de equipamento de emergência usado pelas indústrias.

Deste modo, deve-se ter em mente que os valores obtidos para os custos das interrupções pelas pesquisas aqui analisadas encontram-se fortemente associadas às situações ou níveis de confiabilidade em relação aos quais foram levantados. Por tal motivo, não podem ser usados indiscriminadamente.

CAPITULO V

CÁLCULO DOS CUSTOS DAS INTERRUPÇÕES PARA OS CONSUMIDORES COMERCIAIS ATRAVÉS DE MÉTODOS ESPECÍFICOS

5.1 - Introdução

Nos capítulos anteriores foram descritas e analisadas diversas metodologias já propostas para o cálculo dos custos das interrupções para os consumidores residenciais e industriais, responsáveis no Brasil por cerca de 66% do consumo de energia elétrica total. ⁽⁶⁴⁾

A classe dos consumidores comerciais, sendo também responsável por uma parcela significativa do consumo total de energia elétrica, cerca de 10% do total no Brasil ⁽⁶⁴⁾, parece merecer uma análise diferenciada no que se refere aos eventuais prejuízos que lhe são causados por uma interrupção no seu suprimento de energia elétrica.

Sob a designação de consumidores comerciais podem ser incluídos um grande número de consumidores que exercem diferentes tipos de atividades, indo desde pequenas lojas e armazéns até supermercados e grandes centros comerciais.

Porém todos estes tipos de consumidores utilizam a energia elétrica como mais um insumo para a realização das suas atividades, sendo que o grau de dependência e a intensidade de utilização deste insumo por parte de tais consumidores dependem intimamente das características das suas atividades, que por sua vez variam segundo o tipo de consumidor comercial considerado.

Neste capítulo são apresentadas e analisadas algumas tentativas realizadas com o intuito de estimar os custos das interrupções para os consumidores comerciais.

5.2 - Análise das Metodologias para o Cálculo dos Custos das Interrupções para os Consumidores Comerciais

Na literatura especializada pode ser encontrado um conjunto de métodos orientados para a determinação dos custos das interrupções ou restrições de energia elétrica para os consumidores comerciais.

Numa primeira análise estes métodos podem ser classificados em três categorias:

- . Métodos que se utilizam da valorização da mão-de-obra ociosa.
- . Métodos que se baseiam na equivalência entre os custos das interrupções para os consumidores residenciais e comerciais.
- . Métodos que recorrem à pesquisa direta junto aos consumidores para o levantamento dos custos das interrupções.

Convém mencionar desde já que a maioria dos trabalhos discutidos posteriormente considera a classe dos consumidores comerciais em conjunto com outras classes de consumidores similares. Sempre que proposta, tal agregação será assinalada e analisadas as suas conveniências e implicações.

5.2.1 - Cálculo dos custos das interrupções para os consumidores comerciais através da valorização da mão-de-obra ociosa

Tal como proposto para os consumidores industriais, Sheppard⁽⁴⁷⁾ considera que o custo de uma interrupção no fornecimento de eletricidade para os consumidores comerciais pode ser obtido pela relação entre o total de salários pagos e o consumo de eletricidade desta classe de consumidores.

Assim sendo, o método baseia-se na pressuposição de que uma interrupção de energia elétrica acarreta uma ociosidade total da mão-de-obra empregada, o que, no setor comercial é, no mínimo, discutível, pois muitas das atividades costumeiras podem continuar a ser executadas, total ou parcialmente, durante o período da interrupção. Por outro lado, prejuízos adicionais, tais como danos em equipamentos, perdas de produtos perecíveis e redução nas vendas, que podem atingir alguns tipos de consumidores, são completamente ignorados.

A título de exemplo, convém registrar que a aplicação desta metodologia para o cálculo dos custos das interrupções para os consumidores comerciais da Grã-Bretanha, incluindo-se também outros consumidores, tais como hotéis e restaurantes, teatros e cinemas, hospitais, igrejas, escritórios e órgãos do governo, conduziu, segundo o autor, a um valor igual a 70 vezes a tarifa média do kWh fornecido ao comércio, no período entre 1965 e 1966. (47)

Assim, pela sua simplicidade, o custo das interrupções estimado segundo este método deve ser encarado, quando muito, como uma primeira estimativa de um valor que se deve tentar determinar de maneira mais ampla e realista, como bem reconhece o autor. (47)

5.2.2 - Cálculo dos custos das interrupções para os consumidores comerciais através da equivalência com os consumidores residenciais

Nestes métodos os custos das interrupções (restrições) para os consumidores comerciais são obtidos através de uma certa comparação com os custos referentes aos consumidores residenciais.

Nos itens seguintes, são apresentadas e analisadas as proposições que se enquadram neste tipo de metodologia.

5.2.2.1 - Jaramillo e Skoknic (45)

Em 1973, Jaramillo e Skoknic procuraram definir o custo de uma restrição de energia elétrica para o setor comercial, considerando separadamente os pequenos e grandes consumidores comerciais.

Para os pequenos comerciantes, responsáveis por 75% da demanda comercial nas horas de ponta e por 50-60% do consumo comercial total no Chile, os autores admitiram um custo similar aos consumidores residenciais, dado que a distribuição das cargas de iluminação, ar condicionado e aparelhos elétricos, entre outras e o consumo médio para estes dois tipos de consumidores foram considerados bastante semelhantes entre si (sic).

Para os grandes consumidores comerciais, os autores

consideraram que a parcela do consumo de energia destinada à iluminação de vitrines e grandes ambientes poderia ser reduzida sem grandes prejuízos para a sociedade, adotando para este caso um custo igual à tarifa de energia elétrica fornecida a estes consumidores. Para a parcela do consumo restante adotou-se um custo igual ao atribuído aos consumidores residenciais.

Assim, considerando as proporções das diversas cargas, iluminação, calefação, ar condicionado, força motriz e outras, no consumo dos pequenos e grandes consumidores comerciais, os autores acharam os seguintes custos (aproximados) de uma restrição de energia elétrica, em função da parcela do consumo comercial total a ser limitado:

| Porcentagem do consumo Comercial Total a ser Restringido | Custo da Restrição, em US\$/kWh |
|--|---------------------------------|
| até 10% | 0,03 (a) |
| acima de 10% | 0,25 (b) |

Tabela 5.1 - Custo de restrição para o setor comercial no Chile. Valores de 1972.⁽⁴⁵⁾

a) Tarifa de energia elétrica fornecida aos consumidores comerciais.

b) Custo de restrição para os consumidores residenciais (ver Capítulo III).

Ainda que os valores acima citados se refiram aos custos de uma restrição e não propriamente de uma interrupção inesperada no fornecimento de energia elétrica aos consumidores comerciais, o princípio utilizado de equiparação destes consumidores com os consumidores residenciais é, no mínimo, questionável.

Enquanto que para pequenas restrições de energia que atingem estes consumidores os prejuízos para a sociedade podem ser realmente muito pequenos, para interrupções inesperadas no fornecimento de eletricidade e para grandes restrições de energia, torna-se necessário avaliar tais prejuízos através de análises mais apropriadas e voltadas para as características próprias dos consumidores comerciais.

5.2.2.2 - Gutierrez⁽⁵⁵⁾

Gutierrez⁽⁵⁵⁾, ao analisar os custos das interrupções para os consumidores comerciais, assim como para outros tipos de

consumidores, exceto os residenciais e industriais, não reconhece, em princípio, a necessidade de realizar uma pesquisa direta junto a estes consumidores para a obtenção de tais custos.

Uma vez que são os membros de uma unidade residencial que usufruem dos serviços prestados por estes consumidores, os custos das interrupções para o setor comercial e para os outros consumidores poderiam ser estimados a partir do que os consumidores residenciais estariam dispostos a pagar para evitar tais cortes nos seus suprimentos de energia elétrica.

O autor reconhece que para o setor comercial, onde uma interrupção pode afetar o nível de vendas e deixar uma parcela da mão-de-obra ociosa, os prejuízos podem ser superiores àqueles provocados em uma residência, mas o erro resultante desta provável subestimação não se tornaria significativo se a participação deste setor no consumo total de eletricidade for pequena. Para os casos onde esta participação seja significativa, o autor propõe que a determinação dos custos das interrupções deve ser, então, realizada através de pesquisas diretas junto aos consumidores.

Esta simplificação proposta por Gutierrez foi usada no Brasil por Braga e Almeida⁽⁶⁵⁾ para a determinação dos custos das interrupções para os "outros" consumidores-comerciais, setor público, irrigação, entre outros - sendo que à classe comercial corresponderia a parcela mais importante do consumo de energia. Neste último trabalho foi utilizada a expressão:⁽⁶⁵⁾

$$C_{OUTROS} = C_{RESID} \cdot \frac{MWh_{OUTROS}}{MWh_{RESID}} \quad (5.1)$$

onde:

C_{OUTROS} , C_{RESID} = custos das interrupções para os "outros" consumidores e para a classe residencial, respectivamente.

MWh_{OUTROS} , MWh_{RESID} = consumo de eletricidade para "outros" consumidores e para a classe residencial, respectivamente.

Ainda que possa existir uma relação entre o consumo da classe residencial e os consumos da classe comercial e de ou

tros tipos de consumidores, o mesmo não pode ser dito com relação aos respectivos custos das interrupções.

Isto porque estes consumidores apresentam diferentes processos produtivos e os efeitos de uma interrupção em uma residência são bastante distintos daqueles que se manifestam nos demais consumidores. O erro cometido ao se adotar o procedimento proposto por Gutierrez⁽⁵⁵⁾ e por Braga e Almeida⁽⁶⁵⁾ pode ser, a priori, muito grande ou muito pequeno conforme o tipo de consumidor considerado.

5.2.3 - Cálculo dos custos das interrupções para os consumidores comerciais através de pesquisas diretas

Por este método, os custos das interrupções são determinados pela análise das respostas obtidas a questionários, criteriosos e cuidadosamente formulados, que são distribuídos entre os diversos consumidores comerciais.

Estes questionários devem procurar cobrir, na medida do possível, todos os fatores importantes que afetam os custos das interrupções dos consumidores comerciais, de maneira absolutamente análoga à que foi proposta para os consumidores industriais, conforme descrito no capítulo anterior.

Nos itens a seguir são apresentados e comentados os resultados de pesquisas realizadas junto a consumidores comerciais encontradas na literatura especializada.

5.2.3.1 - Pesquisa realizada na Suécia⁽¹⁵⁾

O questionário utilizado por esta pesquisa, realizada em 1969 junto aos consumidores comerciais, procurou identificar quais as influências que interrupções de diferentes durações, ocorridas em diferentes períodos durante o horário comercial, têm sobre a redução das atividades de tais consumidores e sobre os possíveis danos em produtos e mercadorias.

No que diz respeito à redução de atividades, o questionário também procurou determinar qual a possibilidade de recuperação, total ou parcial, das mesmas, logo após ou nos dias subsequentes à ocorrência de uma interrupção.

Os valores encontrados para as empresas médias e

grandes foram os seguintes (valores de 1969): ⁽¹⁵⁾

Lojas comerciais médias: 0,675 US\$/kWh

Lojas comerciais grandes: 0,868 US\$/kWh

5.2.3.2 - Pesquisa realizada pelo IEEE ⁽⁶⁶⁾

Em 1975 foram apresentados os resultados de uma pesquisa realizada nos EUA por um comitê do IEEE sobre os custos das interrupções para edifícios comerciais e também para edifícios de escritórios. O questionário usado foi obtido a partir de uma adaptação daquele utilizado, também por um comitê do IEEE ⁽⁵⁸⁾ para a determinação dos custos das interrupções relativos aos consumidores industriais.

Foram obtidos dados de 48 companhias cobrindo 55 edifícios comerciais distribuídos por todas as regiões dos EUA e funcionando em diferentes regimes de trabalho: 5, 6 e 7 dias por semana.

A título de comparação, é interessante registrar que os dados coletados permitem definir o consumidor comercial médio pesquisado pelas seguintes características físicas:

- . Edifício com 12 andares
- . Área aproximada de 37200m²
- . Demanda máxima de 3 MW
- . Consumo anual de 11973 MWh
- . Número de empregados igual a 1384

O questionário procurou identificar os prejuízos provocados por interrupções com durações iguais a 15 minutos, 1 hora e acima de 1 hora.

Para a avaliação de tais prejuízos, os consumidores foram orientados para que incluíssem: ⁽⁶⁶⁾

- . No caso de edifícios de escritórios, os salários pagos aos empregados afetados na execução de suas tarefas, os danos em equipamentos e quaisquer outros custos sofridos, incluindo-se os possíveis prejuízos surgidos quando instalações de computadores são afetados.
- . No caso de edifícios comerciais, o valor estimado das vendas perdidas menos os custos dos produtos não vendidos mais os custos de quaisquer outros danos sofridos.

Na Tabela 5.2, a seguir, estão indicados os valores médios calculados para os custos das interrupções, normalizados quanto à demanda máxima, em US\$/kW.h, tanto para o conjunto de edifícios pesquisados, como para os edifícios de escritórios considerados isoladamente.

| Tipos de Edifícios | Custos Médios das Interrupções, em US\$/kW.h |
|----------------------------------|--|
| Edifícios comerciais em geral | 7,21 |
| Somente edifícios de escritórios | 8,86 |

Tabela 5.2 - Custos médios das interrupções para edifícios comerciais nos EUA. Valores de 1975. (66)

Na Tabela 5.3, a seguir, estão indicados os valores máximos, mínimos e médios para os custos das interrupções, normalizados quanto à demanda máxima, obtidos para os edifícios de escritórios, considerando-se agora as três durações pesquisadas e a possível presença de computadores na instalação.

| Tipo de Edifícios de Escritórios | Custos das Interrupções, em US\$/kW.h | | | | | | | | |
|----------------------------------|---------------------------------------|------|-------|--------|------|-------|----------------|------|-------|
| | 15 minutos | | | 1 hora | | | mais de 1 hora | | |
| | Máx. | Min. | Média | Máx. | Min. | Média | Máx. | Min. | Média |
| Sem computadores | 10,70 | 1,50 | 5,84 | 13,33 | 0,91 | 5,30 | 100,0 | 1,97 | 36,66 |
| Com computadores | 22,22 | 1,88 | 8,89 | 24,93 | 1,88 | 8,30 | 67,66 | 0,16 | 9,81 |
| Total | 22,22 | 1,50 | 7,74 | 24,93 | 0,91 | 6,74 | 100,0 | 0,16 | 16,16 |

Tabela 5.3 - Custos das interrupções para edifícios de escritórios nos EUA. Valores de 1975. (66)

Estes resultados permitem constatar a grande variação entre os valores máximos e mínimos para os custos das interrupções para este tipo de consumidores, verificando-se também que os edifícios com computadores apresentam custos superiores àqueles referentes aos edifícios sem computadores para interrupções inferiores ou iguais a 1 hora. Para interrupções com mais de 1 hora de duração a situação inverte-se, cabendo ressaltar porém que, neste caso, o resultado baseia-se nas respostas de apenas três consumidores sem computadores.

No artigo original (66) são ainda apresentados os custos das interrupções referidos (normalizados) ao número de empregados (US\$/empregados.hora) e à área do edifício (US\$/1000 pés².

hora).

Como na pesquisa realizada com consumidores industriais⁽⁵⁸⁾, os autores procuraram determinar o tempo crítico para perda de serviço. Os valores obtidos para este parâmetro apresentam, também, uma grande dispersão conforme mostra a Tabela 5.4 a seguir.

| Tipo de Edifício | Porcentagem dos consumidores com tempo crítico para perda de serviço inferior ou igual à duração indicada (%) | | | | | | | | |
|-------------------------------|---|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-------------|
| | 1 ciclo | 2 ciclos | 8 ciclos | 1 seg. | 3 seg. | 5 min. | 30 min. | 1 hora | 12 horas |
| Edifícios comerciais em geral | 3 | 6 | 9 | 13 | 16 | 36 | 64 | 79 | 100 |
| Edifícios de escritório | 5 | 5 | 15 | 25 | 30 | 50 | 70 | 75 | 100 |

Tabela 5.4 - Tempo crítico para perda de serviço para edifícios comerciais nos EUA.⁽⁶⁶⁾

Pode-se observar pela tabela anterior que interrupções iguais ou superiores a 5 minutos afetam de maneira significativa uma parcela considerável dos consumidores pesquisados, enquanto que os edifícios de escritórios quando considerados separadamente mostram-se sensíveis a interrupções ainda mais curtas (da ordem de 1 segundo).

A pesquisa também revelou que, nos edifícios onde existem computadores, algumas precauções são tomadas com a finalidade de minimizar os possíveis prejuízos causados por interrupções de energia elétrica. Assim foi constatado que:

- . 65% dos edifícios com computadores possuem algum equipamento de geração auxiliar, porcentagem que cai para 40% para os edifícios que não possuem computadores.
- . Somente um edifício com computador era alimentado através de um único alimentador (4,3% do conjunto). A grande maioria (87%) é alimentada via redes do tipo "Network" ou através de mais de um alimentador. Para edifícios sem computadores estas porcentagens chegam a 37,5% e 53% respectivamente.

Uma possível limitação deve ser creditada à forma como os resultados foram apresentados: os valores dos custos das interrupções referidos aos edifícios comerciais de uma maneira

global não permitem que seja feita uma análise a um nível maior de desagregação, de tal modo que os diversos tipos de consumidores comerciais, tais como, por exemplo, supermercados, lojas de móveis e eletrodomésticos, entre outros, possam ser considerados individualmente.

5.2.3.3 - Pesquisa realizada no Canadá (Wojczynski, Billinton e Wacker⁽⁶²⁾; Billinton, Wacker e Subramanian⁽⁶⁷⁾)

Nestes dois trabalhos^(62,67) são apresentados os resultados de uma pesquisa realizada no Canadá em 1980 sobre custos das interrupções relativos aos consumidores comerciais e pequenas indústrias. Os resultados relativos a estes últimos já foram comentados no item 4.2.2.6 do capítulo anterior.

Foram obtidas respostas de 55 tipos de consumidores, indo desde armazéns, lojas de artigos pessoais, de venda de móveis e eletrodomésticos, até consumidores que podem ser incluídos na categoria de serviços como por exemplo, hotéis, motéis, restaurantes, e aqueles relacionados com serviços pessoais diversos. Estes consumidores foram divididos em 3 grupos: supermercados, mercearias e afins e comércio varejista e serviços gerais.

A metodologia usada para a obtenção dos custos das interrupções para os consumidores comerciais, idêntica à utilizada pela mesma pesquisa efetuada junto aos consumidores industriais, baseia-se nos custos indicados para interrupções relativas a um caso base: interrupções numa sexta-feira, às 10:00 horas da manhã, próximo ao final de janeiro. A partir destes valores foram obtidas as variações dos custos das interrupções com respeito ao mês do ano, dia da semana e ao período do dia.

Os consumidores comerciais foram orientados para que incluíssem nas suas estimativas os negócios ou vendas perdidas, salários pagos aos funcionários cujas funções são afetadas pelas interrupções, equipamentos e bens danificados, alimentos e produtos estragados e outros possíveis prejuízos, ressaltando-se que não deveriam ser incluídas as vendas ou negócios que pudessem ser recuperadas logo após o restabelecimento do fornecimento de energia.

Deve-se ressaltar aqui que, pela proposição dos autores, que considera ao mesmo tempo o valor das vendas perdidas e

os salários pagos aos funcionários ociosos, existe uma dupla contagem da mão-de-obra ociosa, uma vez que no valor das vendas perdidas está incluída uma parcela destinada ao pagamento de funcionários. Da mesma forma, e tal como proposto na pesquisa realizada pelo IEEE⁽⁶⁶⁾, deve-se deduzir dos valores das vendas não realizadas os gastos com a aquisição dos bens que, por não terem sido vendidos não devem ser incluídos nos custos das interrupções.

Para os três grupos de consumidores analisados os fatores mais citados na composição dos custos das interrupções foram, na ordem, "salários pagos aos funcionários afetados em suas atividades" e "perdas com vendas não realizadas". Para supermercados e afins esta ordem inverte-se para interrupções com duração igual ou superior a 1 hora e para as interrupções mais longas, de 4 e 8 horas de duração, "estragos em alimentos" constitui-se no fator mais citado.

O número de consumidores que citam como nulos os efeitos ou prejuízos decorrentes de uma interrupção chega a 71% do conjunto pesquisado para interrupções de 1 minuto de duração. Este número reduz-se a 30% e a 10% quando se consideram interrupções com durações iguais a 1 hora e 8 horas respectivamente.

Os custos das interrupções obtidos para o conjunto de consumidores em termos de \$/kW de demanda máxima e de \$/kWh anual consumido, referentes ao caso base, encontram-se relacionados na Tabela 5.5 a seguir.

| Duração da Interrupção | Custos das Interrupções | |
|------------------------|-------------------------|----------|
| | \$/kW | \$/kWh |
| 1 minuto | 0.28 | 0.000106 |
| 20 minutos | 2.05 | 0.000707 |
| 1 hora | 5.88 | 0.002046 |
| 4 horas | 21.51 | 0.007533 |
| 8 horas | 63.06 | 0.019523 |

Tabela 5.5 - Custos das interrupções para os consumidores comerciais no Canadá. Valores normalizados em relação à demanda máxima (\$/kW) e ao consumo anual de eletricidade (\$/kWh). Valores em dólares canadenses de 1980.⁽⁶²⁾

Tal como para os consumidores industriais, a maioria dos consumidores comerciais pesquisados (60%) podem reduzir os prejuízos provocados por uma interrupção quando a sua ocorrência

é avisada antecipadamente, chegando-se a uma redução de 60% nos possíveis prejuízos quando este aviso é dado com uma antecedência de 3 dias. A comunicação da provável duração de uma interrupção já em curso, permite que 43% dos consumidores tomem providências que podem reduzir os seus prejuízos, chegando-se a uma redução média igual a 49%. Estes valores, exceto o último, são inferiores àqueles correspondentes aos consumidores industriais.

Ao contrário dos consumidores industriais, os consumidores comerciais, quando colocados frente a um possível racionamento através de cortes totais no seu fornecimento de energia elétrica, indicaram preferir interrupções mais frequentes e de menores durações a interrupções menos frequentes porém de maiores durações. Este resultado é de certa forma esperado, uma vez que os efeitos nas vendas e negócios, danos em alimentos e equipamentos tendem a se manifestar com maior intensidade nos casos onde a falta de energia se prolongue por um tempo significativo.

Com relação à variação dos custos das interrupções em função do período de suas ocorrências, podem ser citados os seguintes resultados: (62,67)

. Dia da semana

Como era esperado, domingo mostrou-se o dia da semana em que tais custos são mais baixos, enquanto quinta, sexta e sábado são os dias onde os prejuízos provocados por uma interrupção são mais elevados.

. Período do dia

O período da noite e o final da tarde são os períodos onde uma interrupção provoca, respectivamente, os menores e maiores prejuízos.

. Período do ano

Novembro e dezembro foram os meses onde os custos das interrupções se mostraram mais elevados, enquanto janeiro e fevereiro apresentaram os menores valores para estes custos. Em nenhum mês, porém, as estimativas foram superiores a 25% do valor indicado para o mês base, janeiro, enquanto muito poucos consumidores, menos de 1% do conjunto, indicaram estimativas inferiores a 25% desse mesmo valor base.

Convém realçar que os resultados acima indicados tendem a refletir características próprias dos estabelecimentos comerciais no Canadá. Facilmente se prevê que em regiões com características climatológicas e socio-econômicas distintas possam ocorrer diferenças significativas em relação às variáveis analisadas.

Assim, como feito com os consumidores industriais, a pesquisa procurou identificar a presença ou não de equipamentos de emergência e os possíveis efeitos destes equipamentos nos custos das interrupções referentes aos consumidores comerciais.

A Tabela 5.6 a seguir classifica estes consumidores de acordo com o tipo de equipamento usado, relacionando também os valores médios da demanda máxima e do consumo anual de eletricidade correspondentes.

| Tipo de Equipamento de Emergência Usado | Porcentagem dos Consumidores (%) (a) | Demanda Máxima (kW) | Consumo Anual de Eletricidade (kWh) |
|---|--------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|
| Sem qualquer equipamento | 87,0 | 47,0 | 101761,0 |
| Sistemas de bateria | 10,0 | 86,0 | 284230,0 |
| Sistemas eletromecânicos | 4,0 | 314,0 | 991184,0 |
| Outros equipamentos | 1,0 | - (b) | - (b) |

Tabela 5.6 - Tipos de equipamentos de emergência usados e dados adicionais dos consumidores comerciais pesquisados no Canadá. (67)

a) A soma das percentagens não é igual a 100% devido à presença de consumidores que possuem mais de um equipamento instalado.

b) Dados não fornecidos na referência (67).

Foi observado que os custos das interrupções para os consumidores tendo equipamentos de emergência são significativamente menores (cerca de 3 vezes menores) do que os valores correspondentes aos consumidores que não possuem tais equipamentos. Verificou-se também que as diferenças encontradas entre os custos das interrupções para os consumidores com sistemas de baterias e sistemas eletromecânicos de emergência são muito pequenas. (67)

A pesquisa procurou também determinar a variação dos custos das interrupções segundo as estações do ano para três grupos de consumidores: sem equipamentos de emergência, com siste

mas de bateria e com sistemas eletromecânicos de emergência. Observeu-se porém, como visto anteriormente, que as diferenças entre os valores correspondentes às diversas estações foram muito pequenas, principalmente quando comparadas com as diferenças encontradas quando se considera a presença ou não de tais equipamentos. (67)

A Tabela 5.7 a seguir apresenta, a título de exemplo, os resultados referentes aos custos das interrupções em \$/kW, para o inverno, de acordo com o tipo de equipamento de emergência utilizado.

| Duração da Interrupção | Custos das Interrupções, em \$/kW | | |
|------------------------|---|---------------------------------------|---|
| | Consumidores sem equipamentos de emergência | Consumidores com sistemas de baterias | Consumidores com sistemas eletromecânicos |
| 1 minuto | 1,04 | 0,3 | 0,012 |
| 20 minutos | 5,91 | 1,49 | 1,48 |
| 1 hora | 15,65 | 5,86 | 6,85 |
| 4 horas | 57,69 | 19,87 | 20,24 |
| 8 horas | 148,93 | 49,19 | 44,02 |

Tabela 5.7 - Custos das interrupções para os consumidores comerciais pesquisados no Canadá, em \$/kW de demanda máxima, para o inverno, segundo o tipo de equipamento de emergência instalado. Valores em dólares canadenses de 1980. (67)

Pode-se observar, pela tabela anterior que, tal como já ressaltado anteriormente, a presença de equipamentos de emergência pode realmente afetar os custos diretos das interrupções de energia elétrica.

5.3 - Conclusões

Pelos métodos aqui apresentados e discutidos vê-se que, também para a classe comercial, a maneira mais adequada para a determinação dos custos das interrupções parece ser através da realização de uma pesquisa direta junto aos consumidores.

Isto porque o método da pesquisa direta permite que sejam analisadas mais detalhadamente as diferentes atividades de cada um dos diversos tipos de consumidores que compõem a classe comercial e também permite considerar todos os possíveis prejuízos relevantes sofridos por eles quando surgem cortes inesperados no seu suprimento de energia elétrica.

Tais prejuízos, no caso mais geral, podem ser atribuídos:

- . À redução nas vendas ou negócios durante a interrupção, uma vez que demonstrações de equipamentos eletro-eletrônicos não são possíveis e sistemas de iluminação de vitrines, de locais de demonstrações e do meio ambiente em geral ficam inoperantes.
- . Ao gasto com a mão-de-obra que se torna ociosa durante a interrupção. Pessoas que trabalham em escritório e áreas administrativas também poderão ser afetadas.
- . Aos possíveis prejuízos provocados pela paralisação de caixas registradoras, calculadoras e principalmente pela paralisação de computadores.
- . Aos danos em alimentos ou outros produtos mantidos sob refrigeração ou outras condições controladas de conservação.
- . Aos gastos com a operação e manutenção de equipamentos de emergência.
- . Aos inconvenientes provocados pela paralisação de elevadores e escadas rolantes e pelo aumento do risco de roubos e assaltos. Por serem de difícil avaliação econômica, tais inconvenientes não são, em geral, incluídos nos custos de interrupções.
- . A quaisquer outros fatores específicos a cada tipo de consumidor considerado.

Se pelo menos parte das atividades de venda puderem ser continuadas durante a interrupção, se a mão-de-obra ociosa puder ser utilizada mais intensamente após o restabelecimento do fornecimento de energia e se a rotina do trabalho em escritórios e áreas administrativas puder ser, ainda que temporariamente, alterada, os prejuízos correspondentes podem ser considerados pequenos.

Ressalta-se que cuidados adicionais devem ser tomados quando da contabilização dos prejuízos atribuídos à redução das vendas ou negócios e à mão-de-obra ociosa para que seja evitada dupla contagem.

Assim, a redução das vendas ou negócios deve ser valo

rizada pelo valor do lucro líquido cessante devido à interrupção, que é igual ao valor das vendas, ou negócios, não realizadas menos os gastos com a aquisição dos bens não vendidos e menos a parcela do lucro bruto destinado ao pagamento de funcionários. Por sua vez a mão-de-obra ociosa deve ser valorizada pelos homens-hora efetivamente afetados, após terem sido feitas as considerações descritas anteriormente.

A pesquisa direta também permite que os custos das interrupções sejam estudados quando se considera:

- . A frequência das interrupções.
- . A duração das interrupções, podendo-se também identificar o chamado tempo crítico (ou duração crítica) para perda de serviço.
- . Os diferentes períodos de ocorrência das interrupções tais como períodos do dia, dia da semana e mês do ano.

Além dos chamados custos diretos das interrupções, o método da pesquisa direta pode permitir que sejam identificados os chamados custos indiretos, relacionados com a modificação dos processos produtivos e com a decisão de aquisição de equipamentos de emergência, como visto nos capítulos anteriores. Os resultados obtidos pela pesquisa realizada no Canadá^(62,67) demonstram a importância da consideração de tais equipamentos nos custos das interrupções.

As proposições feitas por Jaramillo e Skoknic⁽⁴⁵⁾ e Gutierrez⁽⁵⁵⁾, por não considerarem os fatores acima mencionados e pelas próprias justificativas econômicas adotadas, parecem não se mostrar adequadas ao propósito de se avaliar os custos das interrupções para os consumidores comerciais.

Entretanto, como dito anteriormente, a proposição feita por Sheppard⁽⁴⁷⁾ pode ser tomada como uma primeira estimativa dos custos das interrupções por assumir, na ausência de maiores dados, uma ociosidade total da mão-de-obra durante uma interrupção e por desprezar, entre outros fatores, as possíveis reduções nas vendas ou negócios e os possíveis danos em equipamentos e produtos alimentícios.

Finalmente, convém realçar que, nas pesquisas realizadas nos EUA⁽⁶⁶⁾ e Canadá^(62,67), consumidores que podem ser

classificados no setor serviços foram considerados como se fos sem consumidores comerciais propriamente ditos. Pela similaridade das atividades desenvolvidas por estes dois tipos de consumidores, tal procedimento não invalida os resultados apresentados. Ressalva-se porém que, nestes casos, os resultados, ao se referirem ao conjunto de consumidores comerciais, referem-se, na verdade, ao conjunto constituído pelos consumidores comerciais e pelos consumidores do setor serviços.

No entanto, sempre que possível, deve-se procurar utilizar questionários especialmente orientados para cada um destes dois tipos de consumidores, de modo a que os diferentes fatores que possam contribuir para os respectivos custos das interrupções sejam tratados adequadamente.

CAPÍTULO VI

CÁLCULO DOS CUSTOS DAS INTERRUPÇÕES PARA OUTROS CONSUMIDORES ATRAVÉS DE MÉTODOS ESPECÍFICOS

6.1 - Introdução

A grande maioria dos consumidores de um sistema de distribuição enquadra-se numa das três categorias estudadas anteriormente.

No entanto, alguns consumidores ou cargas especiais, ainda que constituindo uma porcentagem diminuta da potência e energia total consumida, merecem, quer pela importância dos processos produtivos envolvidos quer pela relevância dos serviços prestados, uma atenção especial.

Tais consumidores, por possuírem processos produtivos ou por prestarem serviços bastante diferenciados entre si, e por se caracterizarem por diferentes sensibilidades em relação a cortes de energia elétrica, devem ser alvo de estudos orientados no sentido de determinar os custos das interrupções correspondentes, levando em consideração as particularidades específicas de cada caso.

Os itens subsequentes, além de apresentarem algumas considerações relevantes sobre os possíveis efeitos e prejuízos que uma interrupção de energia elétrica provoca em alguns destes consumidores, descrevem também as principais metodologias que vêm sendo propostas para quantificar tais prejuízos.

6.2 - Consumidores Rurais

Para este tipo de consumidores, podem-se identificar dois ramos principais de atividades, executadas em conjunto ou separadamente: cultivo de grãos, hortaliças e outros e a criação de animais. (15)

No caso de cereais ou outros tipos de produtos agrícolas que devem ser mantidos em silos, armazéns ou secadores, onde existe um certo controle das condições de armazenamento, tais como umidade e temperatura por exemplo, uma interrupção de energia elétrica poderá provocar prejuízos. De um modo geral estes possíveis prejuízos estarão associados a interrupções de média e longa durações, sendo que mesmo nestes casos a perda corresponderia, exceto em situações mais graves, a uma certa redução da qualidade do produto armazenado e do seu correspondente valor de venda. Equipamentos elétricos, destinados ao beneficiamento e à moagem de produtos e aqueles utilizados em irrigação, também serão afetados por um corte no fornecimento de eletricidade e, como anteriormente, os prejuízos resultantes também poderão ser considerados muito pequenos. ⁽¹⁵⁾

Para a criação de animais, a energia elétrica é necessária, entre outras atividades, na ordenha mecânica, na incubação e na postura de ovos, na conservação e manipulação do leite, em sistemas de ventilação, de transporte de ração e de fornecimento de água aos animais, no aquecimento e nas necessidades gerais de limpeza e conservação do local de confinamento de animais.

Algumas destas atividades, tais como a ordenha de vacas e fornecimento de água e ração aos animais, poderão ser realizadas durante o período de interrupção de energia elétrica pelo trabalho adicional dos empregados, enquanto outras, como por exemplo, a conservação de laticínios e aquecimento dos locais de confinamento de animais, somente serão afetadas a partir de um certo tempo crítico que, nestes casos, pode ser da ordem de algumas horas.

No trabalho realizado na Suécia ⁽¹⁵⁾, os custos das interrupções para os consumidores rurais foram obtidos considerando-se uma fazenda média típica (área de 17 hectares, com pequena criação de animais) e fazendo-se uma estimativa de sua produção anual e das atividades principais por ela desenvolvidas e de seu consumo médio anual de energia elétrica, tendo sido abandonada a possibilidade de utilizar os resultados de uma pesquisa direta para o levantamento de tais valores.

Foram consideradas para a formação dos custos das in

interrupções as seguintes contribuições: custo do trabalho na ordenha manual e no cuidado com outros animais, perda de alguma produção de leite, ovos e de animais e os custos relativos às interferências nas atividades domésticas.

Como nos casos dos consumidores residenciais, estas contribuições foram distribuídas pelas diversas horas do dia e a partir dos valores estipulados pela comissão para cada uma destas parcelas foram determinados os prejuízos máximos que interrupções no fornecimento de eletricidade de diversas durações poderão provocar nos consumidores rurais.

A Tabela 6.1 a seguir apresenta os valores, em US\$ de 1969, obtidos pelo trabalho para os custos máximos das interrupções para a fazenda média considerada:

| Interrupções que se incluíam no intervalo | Custo fixo no início do intervalo (US\$) | Custo variável dentro do intervalo (US\$/h) |
|---|--|---|
| 0 - 1h | 0 | 1,158 |
| 1 - 2h | 1,158 | 1,158 |
| 2 - 8h | 2,316 | 1,061 |
| 8 - 24h | 8,685 | 0,579 |
| 24 - 48h | 17,949 | 1,544 |

Tabela 6.1 - Custos máximos das interrupções para consumidores rurais da Suécia, para uma fazenda média típica. Valores de 1969. (15)

Para uma demanda média da fazenda média típica igual a 1,2 KW, é possível obter os valores da Tabela 6.2 a seguir.

| Interrupções que se incluíam no intervalo | Custo fixo no início do intervalo (US\$/kW) | Custo variável dentro do intervalo (US\$/kW.h) |
|---|---|--|
| 0 - 1h | 0 | 0,965 |
| 1 - 2h | 0,965 | 0,965 |
| 2 - 8h | 1,930 | 0,884 |
| 8 - 24h | 7,237 | 0,482 |
| 24 - 48h | 14,957 | 1,287 |

Tabela 6.2 - Custos máximos das interrupções para os consumidores rurais da Suécia, para uma fazenda média típica, normalizados segundo a demanda média de ponta destes consumidores. Valores de 1969. (15)

Como o sistema de alimentação que atende as residências do proprietário e de empregados que moram dentro da fazenda

é, em geral, o mesmo que atende às demais instalações, o custo total das interrupções deve realmente incluir a contribuição da sua parcela residencial, ressaltando-se que possíveis rendas relacionadas com o auto-consumo, devem ser incluídas quando se calcula a taxa salarial líquida média, que mediria o custo da perda do lazer tal como descrito no item 3.2.1.4.

As pequenas fazendas muitas vezes localizadas de modo disperso e com pouca carga instalada estão, na maioria das vezes, sujeitas a um nível de confiabilidade bastante inferior aos consumidores situados em centros urbanos, o que pode levá-los a optarem por uma rotina ou técnica de trabalho e/ou aquisições de equipamentos que sejam menos sensíveis às falhas de energia elétrica. No caso de grandes fazendas ou agro-indústrias, pode haver a necessidade de instalação de equipamentos auxiliares ou de emergência. Em ambos os casos isto leva a necessidade da consideração de possíveis custos indiretos das interrupções para esta classe de consumidores. ⁽³⁾

6.3 - Hospitais e Similares

A tendência atualmente observada é de que equipamentos eletro-eletrônicos se tornem cada vez mais indispensáveis aos serviços prestados por hospitais, clínicas de saúde e similares, no suporte, segurança e tratamento de pacientes, tais como os equipamentos de circulação artificial de sangue, de respiração mecânica, de reestímulo (choques elétricos) e controle de batimentos cardíacos.

Um corte no fornecimento de energia elétrica pode provocar perdas de medicamentos e sangue armazenados, podendo tornar ociosos equipamentos ou instrumentos elétricos ou aparelhos que necessitem de eletricidade para serem usados (no caso de iluminação do local de serviço, por exemplo).

Se os serviços prestados por tais equipamentos não puderem ser realizados ou recuperados após o restabelecimento da energia elétrica, uma estimativa mínima para este prejuízo seria obtida através do valor anualizado destes equipamentos e do número de horas de uso previsto durante o período considerado, devendo-se considerar também que estes possíveis prejuízos possam depender do momento em que a interrupção ocorra e também da

sua duração (a perda de iluminação é muito mais crítica durante o período noturno do que no período da tarde, por exemplo).

A eficiência do trabalho também poderia ser afetada principalmente durante o período das 18 às 6:00 h. Setores auxiliares do hospital, tais como cozinhas, lavanderias, sistemas de ar condicionado por exemplo, também serão afetados, podendo-se incluir os prejuízos associados às atividades correspondentes nos valores dos custos das interrupções procurados.

Existe a possibilidade de que uma interrupção possa vir a colocar vidas humanas sob risco. Uma possível avaliação monetária (sem considerações de ordem pessoal ou psicológica) do "custo de uma vida" torna-se uma tarefa bastante delicada, sendo que dos métodos mais conhecidos podem ser citados aqueles que consideram a contribuição estimada da pessoa para a produção nacional durante o "resto de sua vida útil" ou o valor da vida de acordo com as taxas e os cálculos das companhias de seguros.^(68, 69) Existiria também a possibilidade de situações intermediárias, tais como lesões permanentes no paciente, que de algum modo poderiam ser consideradas.

No entanto, nos locais ou situações onde existe risco de vida humana devido a uma falta de energia elétrica, tais como salas de operação ou centros de tratamento intensivo, em geral são instalados equipamentos que atuam como fontes de energia de emergência (sistemas de baterias, por exemplo), seguindo recomendações ou regulamentos legais existentes, o que contribui para reduzir em muito a possibilidade de danos à vida humana.⁽⁷⁰⁾

Como a decisão de se instalar tais equipamentos assim como a definição de suas características principais podem ser baseadas não somente por tais regulamentos legais, mas também a partir de considerações a respeito da qualidade de fornecimento de eletricidade pela empresa concessionária, pode ser necessário incluir nos custos das interrupções uma parcela correspondente aos custos indiretos representados por tais gastos adicionais. Para tanto é necessário que se possa separar adequadamente a parcela de investimentos realizados para satisfação dos requerimentos legais e a parcela que pode ser atribuída a uma estimativa futura da confiabilidade.^(3)

Munasinghe e por técnicos da COPEL⁽³⁾, foram estudados 2 hospitais, com 80 e 200 leitos respectivamente, para estimar os custos de oportunidade dos fatores produtivos que se tornariam ociosos durante interrupções de energia elétrica, tais como equipamentos elétricos e produtos intermediários, sangue e medicamentos, por exemplo, que se poderiam estragar durante a duração de tais interrupções.

O custo médio estimado das interrupções foi igual a Cr\$0,67 (ou US\$0,055) por leito por hora de interrupção (valores de 1976), devido ao trabalho e capital que se tornavam ociosos durante o período da noite, das 19 às 6:00h aproximadamente. Durante as demais horas do dia havia a possibilidade de se recuperar os serviços de funcionários e de equipamentos que são afetados por tais ocorrências. Somente as salas de operação e as unidades de tratamento intensivo possuíam baterias como equipamento de emergência, de custos relativamente baixos, uma vez que a confiabilidade do fornecimento de energia elétrica era considerada adequada.⁽³⁾

6.4 - Iluminação Pública

O sistema de iluminação pública é parcial ou completamente atingido por interrupções que ocorram no momento em que este serviço é necessário, resultando em redução na segurança do tráfego de automóveis e de pedestres, podendo ser responsável, em casos mais extremos, pelo aumento no risco de roubos, assaltos e crimes.

Uma estimativa mínima para os custos das interrupções para este tipo de carga pode ser obtida quando se considera que a sociedade tenha investido no sistema de iluminação até o ponto onde seu custo marginal seja aproximadamente igual aos benefícios que este sistema venha a gerar para esta mesma sociedade.⁽³⁾ Como visto anteriormente, este valor é uma estimativa mínima, porque a perda do bem estar provocada por uma interrupção pode não corresponder a este valor marginal, devendo ser considerada, nestes casos, a presença de um certo "excedente do consumidor".

No estudo realizado em Cascavel por Munasinghe e técnicos da COPEL⁽³⁾, foram estimados os custos das interrupções para uma dada carga de iluminação a partir do valor correspondente aos equipamentos utilizados, anualizado apropriadamente para

uma vida útil de 30 anos, dos gastos anuais com a manutenção de tais equipamentos e considerando um determinado número de horas de operação diárias. Foi obtido, para este caso, um valor igual a 0,43 Cr\$/kWh não fornecido (ou 0,035 US\$/kWh) (valor de 1976).

Outros prejuízos, tais como aqueles relativos a acidentes de trânsito e redução na segurança, também podem ser associados a tais interrupções.

O valor da perda de tempo das pessoas no trânsito provocada pelo não funcionamento de semáforos durante a ocorrência de uma falta de energia pode ser incluído, quando disponível, nos custos das interrupções. O valor de cada hora que um trabalhador venha a perder no trânsito pode ser estimado através de uma abordagem semelhante à utilizada para calcular o valor de cada hora de lazer, tal como descrito no Capítulo III.⁽⁷⁾

6.5 - Repartições Públicas e Similares (Prefeituras, Órgãos de Serviços e Administração)

Nestes órgãos é provável que os custos das interrupções sejam muito pequenos uma vez que existe, na maioria dos casos, uma flexibilidade no período normal de trabalho de modo que o serviço paralisado, talvez parcialmente, durante uma interrupção possa ser recuperado nas horas seguintes à eliminação da mesma, devendo-se também considerar os possíveis inconvenientes provocados pela inoperância de aparelhos elétricos usados na rotina de trabalho.

6.6 - Escolas e Universidades

Nas atividades de ensino, os prejuízos causados por uma interrupção podem ser considerados mínimos, uma vez que há suficiente flexibilidade na carga horária, havendo a possibilidade de que as aulas sejam continuadas com um "inconveniente relativo", exceto para falhas que ocorram durante o período noturno.

Instalações tais como lanchonetes, cozinhas, centros de processamento de dados e serviços administrativos podem ser analisados do mesmo modo que outros consumidores de características similares.

Poderão ser incluídos também possíveis prejuízos provocados dentro de laboratórios e áreas de pesquisa devidos a danos em materiais e equipamentos.

6.7 - Instalações Portuárias e Serviços de Transporte

O trabalho realizado na Suécia⁽¹⁵⁾ faz uma estimativa dos custos das interrupções para estes dois tipos de consumidores a partir das respostas obtidas a questionários especificamente desenvolvidos para tal finalidade.

Para as instalações portuárias foram pesquisadas a extensão em que uma interrupção afeta as operações de embarque, desembarque e de movimentação de materiais, qual a mão-de-obra que se torna ociosa durante o período de interrupção, quais são os danos em mercadorias mantidas sob refrigeração ou congelamento e as despesas adicionais com a estadia extra das embarcações, considerando uma ocupação média das instalações.

Para o setor de transporte foram determinados a perda de receita e o gasto adicional com o pagamento de horas extras provocados por uma interrupção de energia, não sendo, no entanto, considerados os custos relativos ao tempo de espera dos passageiros devido aos atrasos verificados (ver item 6.4).

Para estes dois tipos de consumidores foram obtidos para os custos das interrupções valores iguais a 0,096 US\$/kWh e 0,27 US\$/kWh, respectivamente (valores de 1969).⁽¹⁵⁾

6.8 - Conclusões

Pelo que foi aqui exposto, fica realçada a necessidade de serem realizados estudos especialmente orientados quando se deseja determinar os custos das interrupções relativos aos diferentes tipos de consumidores que não estejam incluídos numa das três grandes categorias já estudadas anteriormente.

Dada a diversidade das atividades desenvolvidas por tais consumidores, parece claro que existe uma grande dificuldade em definir, a priori, um procedimento único que possa ser usado na determinação de tais custos:

. A identificação dos diferentes componentes dos custos das

interrupções deverá levar em conta a complexidade das atividades envolvidas e o caráter, de certo modo subjetivo, da avaliação dos prejuízos, assim como a falta de experiência dos próprios consumidores em quantificá-los adequadamente.

. Pelas características das atividades exercidas por estes consumidores, os custos das interrupções devem ser levantados tendo em consideração:

- os diferentes períodos de ocorrência das interrupções: horas do dia, dias da semana e meses do ano;
- a presença ou não de equipamentos de emergência e suas influências na redução dos possíveis prejuízos;
- o tempo crítico para perda de serviço;
- a frequência e a duração das interrupções; e
- outros fatores que possam ser identificados como importantes para cada consumidor em particular.

A realização de pesquisas diretas junto aos consumidores pode representar uma maneira bastante eficaz no levantamento de tais custos. Porém, em alguns casos, tal como, por exemplo, no caso de interrupções no fornecimento de energia elétrica aos serviços de transporte e a cargas de iluminação pública, torna-se necessário uma análise adicional por parte do planejador para que sejam incluídos todos os aspectos econômicos envolvidos.

A falta de maiores estudos voltados para este amplo conjunto de consumidores tem limitado, até o momento, a possibilidade de uma análise mais aprofundada e crítica dos métodos já empregados ou sugeridos no cálculo dos custos das interrupções correspondentes. Espera-se, porém, que na medida em que novas investigações sejam realizadas, melhores sejam as estimativas e as metodologias disponíveis.

Cabe ressaltar, finalmente, que, embora tais consumidores possam representar individualmente uma pequena parcela da demanda e da energia total consumida pelos sistemas de distribuição, pode ocorrer que em determinados estudos de planejamento o conhecimento mais preciso dos custos das interrupções seja de fundamental importância como, por exemplo, na definição da qualidade do serviço a ser oferecido aos consumidores rurais.

CAPÍTULO VII

APLICAÇÃO A UM MODELO DE PLANEJAMENTO AGREGADO

7.1 - Introdução

Nos capítulos anteriores foram discutidas diversas metodologias voltadas para a determinação dos custos das interrupções de energia elétrica.

Este capítulo tem por finalidade propor aplicações do uso de tais custos em estudos de planejamento de sistemas de distribuição de energia elétrica, recorrendo a um modelo de planejamento agregado utilizado por diversas concessionárias no Brasil. (34,72)

7.2 - Descrição do Modelo de Planejamento Considerado e Modificações Propostas

Os modelos de planejamento agregado são aplicáveis na fase de planejamento estratégico dos sistemas quando se procura, de forma global, justificar investimentos indispensáveis à evolução do sistema.

A metodologia de planejamento agregado considerada neste capítulo é a que se encontra proposta na Nota Técnica 02 do Departamento de Planejamento e Engenharia da Distribuição (DEDI) da ELETROBRÁS⁽³⁴⁾, a qual tem sido usada por muitas empresas concessionárias na formulação de programas de metas físicas e investimentos em sistemas de distribuição.

Ressaltando-se a sua simplicidade, este modelo, que procura analisar o sistema dentro de um horizonte de 5 a 10 anos (médio a longo prazo), tem as seguintes características básicas: (34)

- . É aplicável à área de influência de uma subestação de distribuição, denominada "área elétrica".
- . Prescinde de aspectos relativos à topologia real da rede de distribuição.

- . Utiliza para análise da rede primária e secundária modelos simplificados de circuito elétrico, sobre os quais são avaliados os parâmetros operacionais: o carregamento da rede (fator médio de utilização) e as quedas de tensão médias.
- . As metas físicas que constituem o plano de obras são projetadas tendo como elementos balizadores a otimização (sic) destes dois parâmetros operacionais, no horizonte de planejamento.
- . O Plano de Investimentos é obtido a partir de circuitos modulares para orçamento, aplicados sobre as metas físicas de finidas.

Este modelo, por sua vez, apresenta algumas restrições, a saber: (34)

- . Não consideração de indicadores operacionais de confiabilidade (DEC/FEC) na formulação do plano de obras.
- . Não consideração das perdas técnicas da Distribuição, na formulação de alternativas para exame de viabilidade técnico-econômica.
- . Não consideração de substituição de equipamentos ao fim de sua vida útil.
- . Consideração dos critérios de projeto existentes na empresa como indicativos do caminho para obtenção da alternativa de menor custo.

Algumas das restrições acima têm sido objeto de estudos desenvolvidos pelo DEDI-ELETROBRÁS, Escola Federal de Engenharia de Itajubá (EFEI) e empresas concessionárias. (72-75) Neste capítulo procurar-se-á eliminar a primeira destas restrições, ou seja, aquela que diz respeito à não consideração de indicadores de confiabilidade, que são de fundamental importância no cálculo dos custos das interrupções associadas a um dado sistema de distribuição existente e à sua evolução futura.

Embora o modelo descrito na referência (34) seja aplicado na análise tanto da rede primária (tronco dos alimentadores e ramais primários) quanto da rede secundária e transformadores de distribuição, nos exemplos de aplicação aqui desenvolvidos somente a rede primária será considerada.

7.2.1 - Descrição do modelo adotado para a rede primária e subestação de distribuição

O modelo adotado para a rede primária considera a existência de uma subestação cuja área de atendimento é aproximada pela área de um polígono regular com tantos lados quantos forem os alimentadores que emanam da subestação que, por sua vez, se localiza no centro geométrico do polígono. A Figura 7.1 abaixo mostra o exemplo de uma SE com 6 alimentadores.

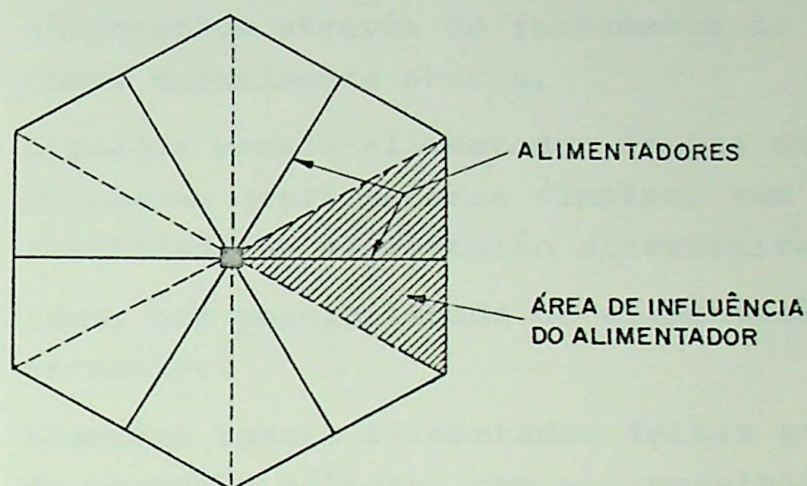


Figura 7.1 - Área de influência de uma subestação de distribuição com 6 alimentadores.

O modelo considera ainda que a carga da SE encontra-se uniformemente distribuída na área. Consequentemente todos os alimentadores suprem a mesma carga.

Para efeito do cálculo dos indicadores de confiabilidade para este modelo, foram feitas as seguintes considerações adicionais: (74,75)

- . Os troncos dos alimentadores encontram-se seccionados, através de chaves seccionadoras simples, em N seções.
- . No caso mais geral, não existe restrição quanto ao número de ramais de cada seção, podendo as ligações ramais-tronco serem feitas de três formas distintas, a saber:
 - a) Derivação através de chaves-fusíveis.
 - b) Derivação através de chaves seccionadoras simples.
 - c) Derivação através de ligações sólidas.
- . Admite-se a possibilidade da existência de uma alimentação alternativa, acionada durante os períodos de emergência ou

de falhas no sistema, através do fechamento de uma chave normalmente aberta.

Com as duas últimas considerações feitas acima, torna-se então possível estabelecer 6 configurações diferentes para o sistema:

- . Configuração 1 - Ligações ramais-alimentador feitas através de chaves-fusíveis, sem a possibilidade de alimentação alternativa.
- . Configuração 2 - Idem, mas com possibilidade de alimentação alternativa através do fechamento de uma chave normalmente aberta.
- . Configuração 3 - Ligações ramais-alimentador feitas através de chaves seccionadoras simples, sem a possibilidade de alimentação alternativa.
- . Configuração 4 - Idem, com possibilidade de alimentação alternativa.
- . Configuração 5 - Ligações ramais-alimentador feitas através de conexões sólidas, sem a possibilidade de alimentação alternativa.
- . Configuração 6 - Idem, mas com possibilidade de alimentação alternativa.

A Figura 7.2 descreve, em detalhe, o caso geral da configuração adotada para o alimentador.

7.2.2 - Cálculo dos indicadores de confiabilidade do sistema

Para a execução de análises sobre a confiabilidade do fornecimento de energia elétrica aos diversos consumidores atendidos por um alimentador da subestação, torna-se necessário estabelecer o número e a duração das falhas provocadas pelos diferentes elementos ou equipamentos componentes do sistema tais como tronco, ramais, chaves seccionadoras, disjuntores e transformadores de distribuição, entre outros.

No estudo que aqui será feito serão consideradas apenas as falhas ocorridas no sistema primário: tronco de alimentador e ramais primários. A contribuição das falhas dos demais elementos não serão aqui incluídas, seja por serem consideradas pou

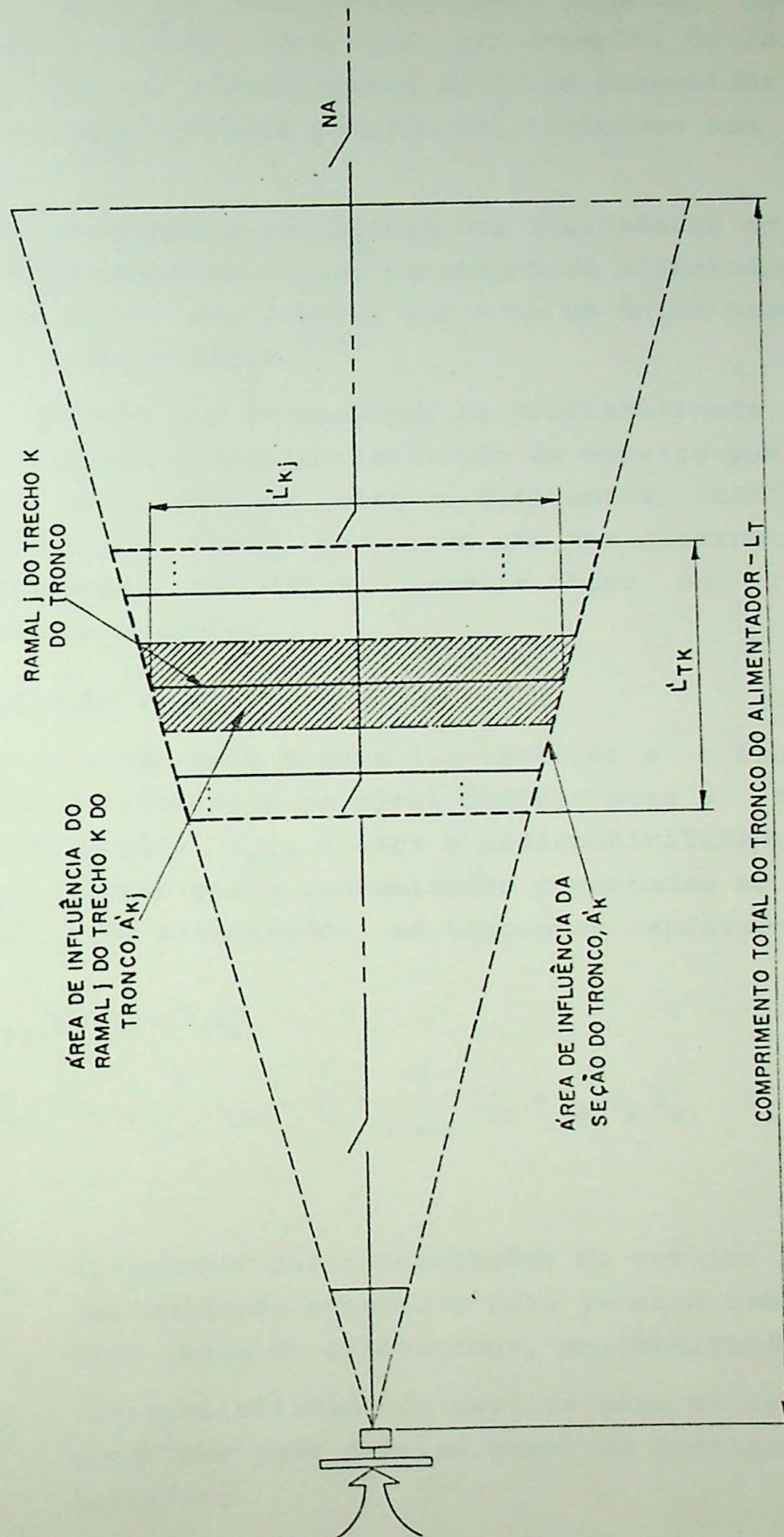


Figura 7.2 - Configuração do alimentador para efeito do cálculo de indicadores de confiabilidade.

co frequentes, seja por contribuírem pouco para os indicadores de confiabilidade globais (é o caso, por exemplo, de falhas nos ramais de serviço que afetam apenas um único consumidor). Se necessário, tais contribuições poderão ser incluídas sem grandes inconvenientes. (74)

Foram adotados no cálculo dos indicadores de confiabilidade um tempo médio de reparo no tronco do alimentador, um tempo médio de reparo dos ramais, bem como um único tempo médio de manobra na rede primária. (74)

O cálculo dos indicadores de confiabilidade, frequência das interrupções e indisponibilidade de serviço para os diversos ramais, deve levar em conta as diferentes configurações do sistema analisado. Assim, para cada uma das alternativas descritas anteriormente, tal cálculo permite obter os resultados que se apresentam a seguir.

A) Configuração 1

Observando-se a Figura 7.2 anterior e o esquema de proteção do sistema, é possível deduzir para a frequência das interrupções, λ_{kj} , e para a indisponibilidade de serviço, U_{kj} , vistas pelos consumidores conectados no ramal j da seção k do alimentador, as seguintes expressões: (74,75)

$$\lambda_{kj} = \lambda_T L_T + \lambda_R L'_{kj} \quad (7.1)$$

$$U_{kj} = \lambda_T r_T \sum_{i=1}^k L'_{Ti} + \lambda_T s \sum_{i=k+1}^N L'_{Ti} + \lambda_R r_R L'_{kj} \quad (7.2)$$

onde:

λ_{kj} - frequência das interrupções do serviço para os consumidores atendidos pelo j -ésimo ramal da k -ésima seção do alimentador, em interrupções/ano

U_{ij} - indisponibilidade do serviço para os consumidores atendidos pelo j -ésimo ramal da k -ésima seção, em horas/ano

λ_T - taxa de falha do tronco do alimentador, em falhas/km.ano

λ_R - taxa de falha dos ramais, em falhas/km.ano

r_T - tempo médio de reparo do tronco do alimentador, em horas

r_R - tempo médio de reparo dos ramais, em horas

s - tempo médio de manobra na rede primária, em horas

L_T - comprimento total do tronco do alimentador, em km

L'_{Ti} - comprimento da i -ésima seção do tronco do alimentador, em km

L'_{kj} - comprimento do j -ésimo ramal da k -ésima seção, em km

N - número de seções em que se divide o tronco do alimentador

B) Configuração 2

Para este caso, as expressões para λ_{kj} e U_{kj} podem ser escritas como:

$$\lambda_{kj} = \lambda_T L_T + \lambda_R L'_{kj} \quad (7.3)$$

$$U_{kj} = \lambda_T r_T L_T + \lambda_T s \sum_{i \neq k}^N L'_{Ti} + \lambda_R r_R L'_{kj} \quad (7.4)$$

C) Configuração 3

As expressões para λ_{kj} e U_{kj} , escrevem-se como:

$$\lambda_{kj} = \lambda_T L_T + \lambda_R \sum_{i=1}^N \sum_{m=1}^{N_{Ri}} L'_{im} \quad (7.5)$$

$$U_{kj} = \lambda_T r_T \sum_{i=1}^k L'_{Ti} + \lambda_T s \sum_{i=k+1}^N L'_{Ti} + \lambda_R r_R L'_{kj} + \lambda_R s \left(\sum_{i \neq j}^{N_{Rk}} L'_{ki} + \sum_{i \neq k}^N \sum_{m=1}^{N_{Ri}} L'_{im} \right) \quad (7.6)$$

onde N_{Ri} é o número de ramais existentes na i -ésima seção.

D) Configuração 4

As expressões para λ_{kj} e U_{kj} escrevem-se, para este caso, como:

$$\lambda_{kj} = \lambda_T L_T + \lambda_R \sum_{i=1}^N \sum_{m=1}^{N_{Ri}} L'_{im} \quad (7.7)$$

$$U_{kj} = \lambda_T r_T L'_{Tk} + \lambda_T s \sum_{i \neq k}^N L'_{Ti} + \lambda_R r_R L'_{kj} + \\ + \lambda_R s \left(\sum_{i \neq j}^{N_{Rk}} L'_{ki} + \sum_{i \neq k}^N \sum_{m=1}^{N_{Ri}} L'_{im} \right) \quad (7.8)$$

E) Configuração 5

Para este caso, pode-se escrever:

$$\lambda_{kj} = \lambda_T L_T + \lambda_R \sum_{i=1}^N \sum_{m=1}^{N_{Ri}} L'_{im} \quad (7.9)$$

$$U_{kj} = \lambda_T r_T \sum_{i=1}^k L'_{Ti} + \lambda_T s \sum_{i=k+1}^N L'_{Ti} + \lambda_R r_R \sum_{i=1}^k \sum_{m=1}^{N_{Ri}} L'_{im} + \\ + \lambda_R s \sum_{i=k+1}^N \sum_{m=1}^{N_{Ri}} L'_{im} \quad (7.10)$$

F) Configuração 6

Finalmente, para este caso as expressões λ_{kj} e U_{kj} são:

$$\lambda_{kj} = \lambda_T L_T + \lambda_R \sum_{i=1}^N \sum_{m=1}^{N_{Ri}} L'_{im} \quad (7.11)$$

$$U_{kj} = \lambda_T r_T L'_{Tk} + \lambda_T s \sum_{i \neq k}^N L'_{Ti} + \lambda_R r_R \sum_{i=1}^{N_{Rk}} L'_{ki} + \\ + \lambda_R s \sum_{i \neq k}^N \sum_{m=1}^{N_{Ri}} L'_{im} \quad (7.12)$$

Considerando agora a situação mais simples onde exista apenas um ramo por seção do alimentador, as equações anteriores simplificam-se para:

. Configuração 1

$$\lambda_i = \lambda_T L_T + \lambda_R L_{Ri} \quad (7.13)$$

$$U_i = \lambda_T r_T \sum_{k=1}^i L'_{Tk} + \lambda_T s \sum_{k=i+1}^N L'_{Tk} + \lambda_R r_R L_{Ri} \quad (7.14)$$

onde L_{Ri} é o comprimento do ramal da i -ésima seção do alimentador.

. Configuração 2

$$\lambda_i = \lambda_T L_T + \lambda_R L_{Ri} \quad (7.15)$$

$$U_i = \lambda_T r_T L'_{Ti} + \lambda_T s \sum_{k \neq i}^N L'_{Tk} + \lambda_R r_R L_{Ri} \quad (7.16)$$

. Configuração 3

$$\lambda_i = \lambda_T L_T + \lambda_R \sum_{k=1}^N L_{Rk} \quad (7.17)$$

$$U_i = \lambda_T r_T \sum_{k=1}^i L'_{Tk} + \lambda_T s \sum_{k=i+1}^N L'_{Tk} + \lambda_R r_R L_{Ri} + \\ + \lambda_R s \sum_{k \neq i}^N L_{Rk} \quad (7.18)$$

. Configuração 4

$$\lambda_i = \lambda_T L_T + \lambda_R \sum_{k=1}^N L_{Rk} \quad (7.19)$$

$$U_i = \lambda_T r_T L'_{Ti} + \lambda_T s \sum_{k \neq i}^N L'_{Tk} + \lambda_R r_R L_{Ri} + \lambda_R s \sum_{k \neq i}^N L_{Rk} \quad (7.20)$$

. Configuração 5

$$\lambda_i = \lambda_T L_T + \lambda_R \sum_{k=1}^N L_{Rk} \quad (7.21)$$

$$U_i = \lambda_T r_T \sum_{k=1}^i L'_{Tk} + \lambda_T s \sum_{k=i+1}^N L'_{Tk} + \lambda_R r_R \sum_{k=1}^i L_{Rk} + \\ + \lambda_R s \sum_{k=i+1}^N L_{Rk} \quad (7.22)$$

. Configuração 6

$$\lambda_i = \lambda_T L_T + \lambda_R \sum_{k=1}^N L_{Rk} \quad (7.23)$$

$$U_i = \lambda_T r_T L'_{Ti} + \lambda_T s \sum_{k \neq i}^N L'_{Tk} + \lambda_R r_R L_{Ri} + \lambda_R s \sum_{k \neq i}^N L_{Rk} \quad (7.24)$$

Os Quadros 7.1 e 7.2 mostram as contribuições de cada um dos trechos e ramais para os índices λ_i e U_i para as configurações 1 e 2 quando se considera um alimentador com 5 seções e um ramal por seção, justificando as expressões indicadas nas equações (7.13) a (7.16) respectivamente. Para as demais configurações o procedimento é análogo.

Observando-se as equações (7.13) a (7.24) pode-se verificar que:

- . A frequência de falha para um dado ramal é igual para as configurações 3, 4, 5 e 6.
- . As configurações 4 e 6 também apresentam, para um dado ramal, a mesma indisponibilidade. Desta forma, pode-se afirmar que, na situação onde existe apenas um ramal por seção, estas configurações são idênticas sob o ponto de vista de confiabilidade.

7.2.3 - Cálculo dos índices FEC e DEC para o sistema

Dois índices bastante utilizados para descrever o comportamento passado de um dado sistema de distribuição, considerando o critério de perda de continuidade de serviço, são aqueles estabelecidos na portaria 046/78 do DNAEE⁽⁶⁾ conhecidos como FEC - Frequência Equivalente de Interrupção por Consumidor e DEC - Duração Equivalente de Interrupção por Consumidor.

Esta mesma Portaria permite que as empresas concessionárias calculem estes índices, de maneira alternativa, através de uma correlação entre o número de consumidores e a quantidade total de kVA instalado do agrupamento ou conjunto de consumidores considerado.

Para este último caso, as equações que permitem calcular estes índices escrevem-se como:

| Ramal ou Seção do Tronco Afetado | Seção 1 | | | Seção 2 | | | Seção 3 | | | Seção 4 | | | Seção 5 | | |
|---|------------------|-------|------------------------|------------------|-------|------------------------|------------------|-------|------------------------|------------------|-------|------------------------|------------------|-------|------------------------|
| | λ_1 | r_1 | U_1 | λ_2 | r_2 | U_2 | λ_3 | r_3 | U_3 | λ_4 | r_4 | U_4 | λ_5 | r_5 | U_5 |
| Ramal 1 | $\lambda_R^L R1$ | r_R | $r_R^{\lambda_R^L R1}$ | | | | | | | | | | | | |
| Ramal 2 | | | | $\lambda_R^L R2$ | r_R | $r_R^{\lambda_R^L R2}$ | | | | | | | | | |
| Ramal 3 | | | | | | | $\lambda_R^L R3$ | r_R | $r_R^{\lambda_R^L R3}$ | | | | | | |
| Ramal 4 | | | | | | | | | | $\lambda_R^L R4$ | r_R | $r_R^{\lambda_R^L R4}$ | | | |
| Ramal 5 | | | | | | | | | | | | | $\lambda_R^L R5$ | r_R | $r_R^{\lambda_R^L R5}$ |
| Seção 1 | $\lambda_T^L T1$ | r_T | $r_T^{\lambda_T^L T1}$ | $\lambda_T^L T1$ | r_T | $r_T^{\lambda_T^L T1}$ | $\lambda_T^L T1$ | r_T | $r_T^{\lambda_T^L T1}$ | $\lambda_T^L T1$ | r_T | $r_T^{\lambda_T^L T1}$ | $\lambda_T^L T1$ | r_T | $r_T^{\lambda_T^L T1}$ |
| Seção 2 | $\lambda_T^L T2$ | s' | $s^{\lambda_T^L T2}$ | $\lambda_T^L T2$ | r_T | $r_T^{\lambda_T^L T2}$ | $\lambda_T^L T2$ | r_T | $r_T^{\lambda_T^L T2}$ | $\lambda_T^L T2$ | r_T | $r_T^{\lambda_T^L T2}$ | $\lambda_T^L T2$ | r_T | $r_T^{\lambda_T^L T2}$ |
| Seção 3 | $\lambda_T^L T3$ | s | $s^{\lambda_T^L T3}$ | $\lambda_T^L T3$ | s | $s^{\lambda_T^L T3}$ | $\lambda_T^L T3$ | r_T | $r_T^{\lambda_T^L T3}$ | $\lambda_T^L T3$ | r_T | $r_T^{\lambda_T^L T3}$ | $\lambda_T^L T3$ | r_T | $r_T^{\lambda_T^L T3}$ |
| Seção 4 | $\lambda_T^L T4$ | s | $s^{\lambda_T^L T4}$ | $\lambda_T^L T4$ | s | $s^{\lambda_T^L T4}$ | $\lambda_T^L T4$ | s | $s^{\lambda_T^L T4}$ | $\lambda_T^L T4$ | r_T | $r_T^{\lambda_T^L T4}$ | $\lambda_T^L T4$ | r_T | $r_T^{\lambda_T^L T4}$ |
| Seção 5 | $\lambda_T^L T5$ | s | $s^{\lambda_T^L T5}$ | $\lambda_T^L T5$ | s | $s^{\lambda_T^L T5}$ | $\lambda_T^L T5$ | s | $s^{\lambda_T^L T5}$ | $\lambda_T^L T5$ | s | $s^{\lambda_T^L T5}$ | $\lambda_T^L T5$ | r_T | $r_T^{\lambda_T^L T5}$ |

Quadro 7.1 - Contribuições dos diversos ramais e seções do tronco para os valores de λ_i e U_i de um alimentador dividido em 5 seções e possuindo 1 ramal por seção. Configuração 1.

| Ramal ou Seção do Tronco Afetado | Seção 1 | | | Seção 2 | | | Seção 3 | | | Seção 4 | | | Seção 5 | | |
|---|--------------------|-------|------------------------|--------------------|-------|------------------------|--------------------|-------|------------------------|--------------------|-------|------------------------|--------------------|-------|------------------------|
| | λ_1 | r_1 | U_1 | λ_2 | r_2 | U_2 | λ_3 | r_3 | U_3 | λ_4 | r_4 | U_4 | λ_5 | r_5 | U_5 |
| Ramal 1 | $\lambda_R^{L}R1$ | r_R | $r_R \lambda_R^{L}R1$ | | | | | | | | | | | | |
| Ramal 2 | | | | $\lambda_R^{L}R2$ | r_R | $r_R \lambda_R^{L}R2$ | | | | | | | | | |
| Ramal 3 | | | | | | | $\lambda_R^{L}R3$ | r_R | $r_R \lambda_R^{L}R3$ | | | | | | |
| Ramal 4 | | | | | | | | | | $\lambda_R^{L}R4$ | r_R | $r_R \lambda_R^{L}R4$ | | | |
| Ramal 5 | | | | | | | | | | | | | $\lambda_R^{L}R5$ | r_R | $r_R \lambda_R^{L}R5$ |
| Seção 1 | $\lambda_T^{L'}T1$ | r_T | $r_T \lambda_T^{L'}T1$ | $\lambda_T^{L'}T1$ | s | $s \lambda_T^{L'}T1$ | $\lambda_T^{L'}T1$ | s | $s \lambda_T^{L'}T1$ | $\lambda_T^{L'}T1$ | s | $s \lambda_T^{L'}T1$ | $\lambda_T^{L'}T1$ | s | $s \lambda_T^{L'}T1$ |
| Seção 2 | $\lambda_T^{L'}T2$ | s | $s \lambda_T^{L'}T2$ | $\lambda_T^{L'}T2$ | r_T | $r_T \lambda_T^{L'}T2$ | $\lambda_T^{L'}T2$ | s | $s \lambda_T^{L'}T2$ | $\lambda_T^{L'}T2$ | s | $s \lambda_T^{L'}T2$ | $\lambda_T^{L'}T2$ | s | $s \lambda_T^{L'}T2$ |
| Seção 3 | $\lambda_T^{L'}T3$ | s | $s \lambda_T^{L'}T3$ | $\lambda_T^{L'}T3$ | s | $s \lambda_T^{L'}T3$ | $\lambda_T^{L'}T3$ | r_T | $r_T \lambda_T^{L'}T3$ | $\lambda_T^{L'}T3$ | s | $s \lambda_T^{L'}T3$ | $\lambda_T^{L'}T3$ | s | $s \lambda_T^{L'}T3$ |
| Seção 4 | $\lambda_T^{L'}T4$ | s | $s \lambda_T^{L'}T4$ | $\lambda_T^{L'}T4$ | s | $s \lambda_T^{L'}T4$ | $\lambda_T^{L'}T4$ | s | $s \lambda_T^{L'}T4$ | $\lambda_T^{L'}T4$ | r_T | $r_T \lambda_T^{L'}T4$ | $\lambda_T^{L'}T4$ | s | $s \lambda_T^{L'}T4$ |
| Seção 5 | $\lambda_T^{L'}T5$ | s | $s \lambda_T^{L'}T5$ | $\lambda_T^{L'}T5$ | s | $s \lambda_T^{L'}T5$ | $\lambda_T^{L'}T5$ | s | $s \lambda_T^{L'}T5$ | $\lambda_T^{L'}T5$ | s | $s \lambda_T^{L'}T5$ | $\lambda_T^{L'}T5$ | r_T | $r_T \lambda_T^{L'}T5$ |

Quadro 7.2 - Contribuição dos diversos ramais e seções para os valores de λ_i e U_i de um alimentador dividido em 5 seções e possuindo um ramal por seção. Configuração 2.

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^n KVA(i)}{KVA_s} \quad (\text{interrupções/KVA instalado.ano}) \quad (7.25)$$

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^n KVA(i) \cdot t(i)}{KVA_s} \quad (\text{horas/KVA instalado.ano}) \quad (7.26)$$

onde:

n - número de interrupções ocorridas no período (ano) considerado

$KVA(i)$ - potência instalada que foi interrompida pela i -ésima interrupção, em KVA

KVA_s - potência instalada total, em KVA

$t(i)$ - duração total da i -ésima interrupção, em horas

Estes índices, referentes ao comportamento futuro de um dado sistema de distribuição, podem ser calculados, no caso mais geral, a partir das fórmulas abaixo: (74,75)

$$FEC = \frac{\sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^{N_{Rk}} \lambda_{kj} D_{kj}^*}{\sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^{N_{Rk}} D_{kj}^*} \quad (\text{interrupções/KVA.ano}) \quad (7.27)$$

$$DEC = \frac{\sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^{N_{Rk}} U_{kj} D_{kj}^*}{\sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^{N_{Rk}} D_{kj}^*} \quad (\text{horas/KVA.ano}) \quad (7.28)$$

onde:

λ_{kj} e U_{kj} - valores obtidos segundo as equações (7.1) a (7.12)

D_{kj}^* - demanda máxima do j -ésimo ramal da k -ésima seção do tronco do alimentador, em KVA

Cabe ser ressaltado aqui, porém, que os índices definidos nas equações (7.27) e (7.28) apresentam unidades diferentes daquelas indicadas em (7.25) e (7.26), respectivamente. Esta alteração tem por única finalidade permitir o cálculo destes índices

dices (FEC e DEC) de forma compatível com a modelagem e os dados utilizados no desenvolvimento dos exemplos indicados no item a seguir.

Para a situação mais simples, onde existe apenas um ramal por seção, as expressões (7.27) e (7.28) transformam-se em:

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^N \lambda_i D_i^*}{\sum_{i=1}^N D_i^*} \quad (\text{interrupções/KVA.ano}) \quad (7.29)$$

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^N U_i D_i^*}{\sum_{i=1}^N D_i^*} \quad (\text{horas/KVA.ano}) \quad (7.30)$$

com λ_i e U_i calculados através das equações (7.13) a (7.24) e sendo D_i^* a demanda máxima, em KVA, do i-ésimo ramal.

7.3 - Aplicação do Cálculo dos Custos das Interrupções ao Modelo de Planejamento Agregado

Neste item serão apresentadas duas aplicações dos custos das interrupções no planejamento de sistemas de distribuição de energia elétrica.

O primeiro visa definir dentre as seis configurações consideradas anteriormente aquela de custo global mínimo para o atendimento de um sistema aéreo de distribuição, a partir do modelo de planejamento agregado descrito na referência (34).

O segundo estudo procura definir o número ótimo de alimentadores para o atendimento da carga de uma subestação, através da consideração dos investimentos necessários à implantação das diversas alternativas analisadas e dos correspondentes custos das interrupções.

Para o cálculo dos custos esperados das interrupções nestes dois exemplos, torna-se necessário dispor de dados sobre o sistema (subestação) ao longo do horizonte de planejamento considerado, sobre o desempenho estatístico dos componentes e sobre as funções custos das interrupções relativas aos diversos consu

midores atendidos pela subestação.

7.3.1 - Dados da subestação

A subestação considerada, em 69/13.8KV, atende uma área de 134 km², possui 7 alimentadores constituídos por condutores 336,4 MCM no tronco e 1/0 AWG nos ramais. (34)

Pressupõe-se que cada tronco de alimentador se encontra seccionado por chaves simples em 5 seções de igual comprimento, possuindo cada uma destas seções um único ramal derivado. A Figura 7.3, a seguir, apresenta o esquema para um dado alimentador da SE estudada.

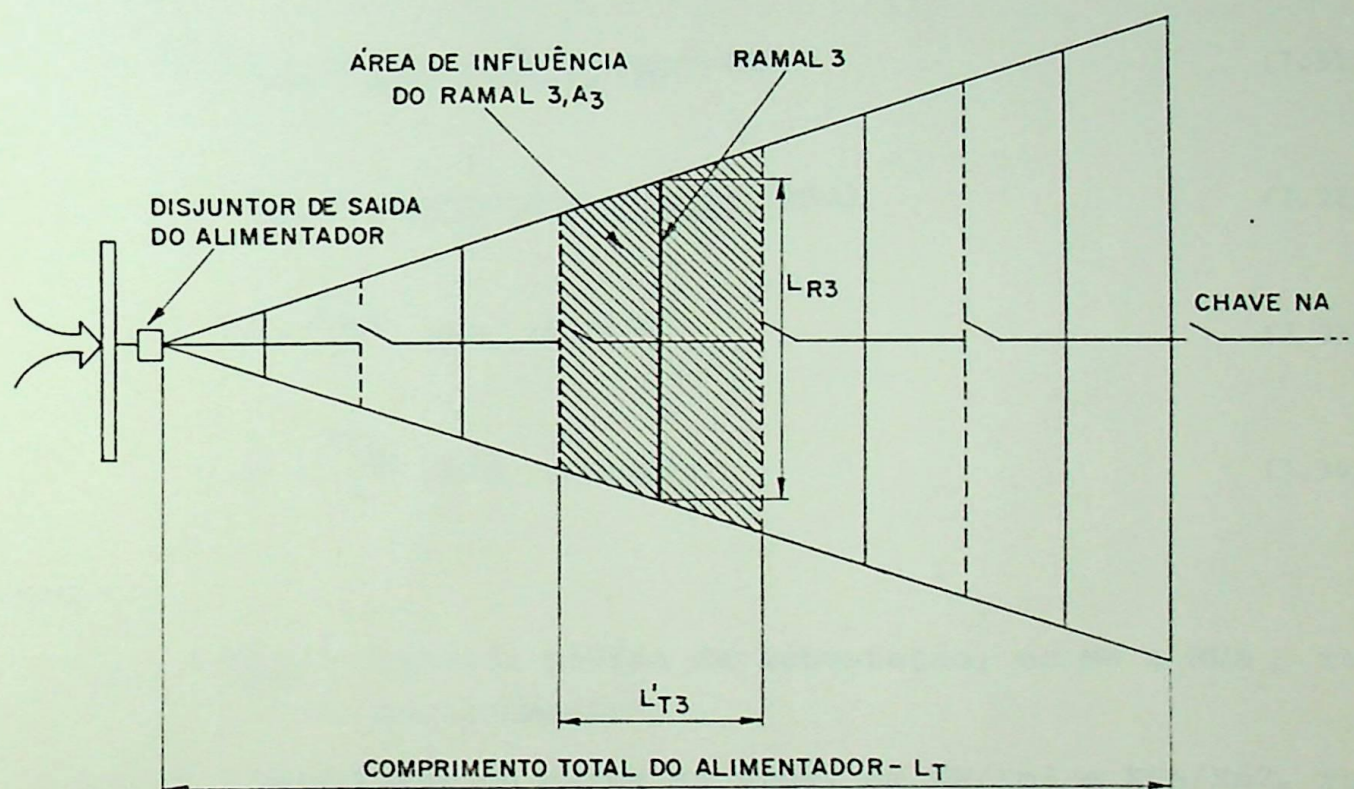


Figura 7.3 - Configuração de um alimentador da subestação estudada

Considera-se também que dentro do horizonte de planejamento, 5 anos, não há crescimento da área atendida, mas apenas crescimento da densidade de carga que é suposta uniforme na área.

Os principais dados da subestação, para efeito destes exemplos, estão resumidos na Tabela 7.1. Com estes dados podem ser calculadas a demanda máxima, em MW ou MVA, e a densidade média de carga, em KW/Km² ou KVA/Km².

| DADO \ ANO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| Energia até ao nível primário (E-MWh) | 123137,0 | 137321,0 | 160405,0 | 215687,0 | 260258,0 |
| Fator de carga do primário (FC) | 0,534 | 0,543 | 0,551 | 0,616 | 0,609 |
| Fator de potência do primário (FP) | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Índice de perdas até o primário (I_p -%) | 10,5 | 11,7 | 10,9 | 10,7 | 11,1 |

Tabela 7.1 - Dados da subestação considerada nos dois exemplos de aplicação estudados.

Assim:

$$D_{\text{máx}} = \frac{E}{8760 \cdot FC \cdot (1 - I_p/100)} \quad (\text{MW}) \quad (7.31)$$

$$D_{\text{máx}}^* = \frac{E}{8760 \cdot FC \cdot FP \cdot (1 - I_p/100)} \quad (\text{MVA}) \quad (7.32)$$

$$d = \frac{D_{\text{máx}}}{A} \cdot 1000 \quad (\text{KW/Km}^2) \quad (7.33)$$

$$d^* = \frac{D_{\text{máx}}^*}{A} \cdot 1000 \quad (\text{KVA/Km}^2) \quad (7.34)$$

onde:

$D_{\text{máx}}$ e $D_{\text{máx}}^*$ - demanda máxima da subestação, em MW e MVA, respectivamente

d e d^* - densidade de carga na área, em KW/Km² e KVA/Km², respectivamente

E - energia consumida até o nível do primário, em MWh

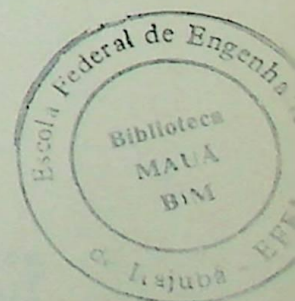
FC - fator de carga do primário

FP - fator de potência do primário

I_p - índice de perdas até o primário, em %

A - área de influência da SE, em Km²

O comprimento do tronco dos alimentadores pode ser calculado como: (34)



$$L_T = \sqrt{\frac{A}{n \cdot \operatorname{tg} \theta}} \quad (\text{Km}) \quad (7.35)$$

onde n é o número de alimentadores da SE e $\theta = \frac{180^\circ}{n}$.

Para o caso aqui considerado $n=7$ e assim:

$$\theta = \frac{180^\circ}{7} = 25,714^\circ$$

$$L_T = \sqrt{\frac{134}{7 \cdot \operatorname{tg}(25,714^\circ)}} = 6,305 \text{ Km}$$

Considerando que o tronco do alimentador é seccionado em trechos iguais, os comprimentos das seções do tronco, L_{Ti} , os comprimentos dos ramais, L_{Ri} , e as áreas de atendimento de cada ramal, A_i , podem ser calculados a partir da Figura 7.2 anterior como: (74)

$$L'_{Ti} = \frac{L_T}{N} \quad (7.36)$$

$$L_{Ri} = (2i-1)L'_{Ti} \operatorname{tg} \theta \quad (7.37)$$

$$A_i = (2i-1)L_{Ti}'^2 \operatorname{tg} \theta \quad (7.38)$$

Considerando um dado alimentador da subestação, é possível então calcular os valores indicados na Tabela 7.2.

| Seção | L'_{Ti} (Km) | L_{Ri} (Km) | A_i (Km ²) |
|-------|----------------|---------------|--------------------------|
| 1 | 1,261 | 0,607 | 0,766 |
| 2 | 1,261 | 1,822 | 2,297 |
| 3 | 1,261 | 3,036 | 3,829 |
| 4 | 1,261 | 4,251 | 5,360 |
| 5 | 1,261 | 5,465 | 6,891 |

Tabela 7.2 - Comprimento e área de influência dos ramais e comprimento das diversas seções do tronco de um alimentador da SE exemplo.

Considerando a densidade de carga constante para toda a área de atendimento, a demanda máxima, em KW, de responsabilidade

dade de cada ramal, D_i , pode ser calculada como:

$$D_i = d.A_i \quad (\text{KW}) \quad (7.39)$$

A Tabela 7.3 a seguir indica os valores das demandas máximas para os ramais, para um alimentador e para a SE como um todo, ao longo dos diversos anos contidos no horizonte de planejamento. Estes valores foram obtidos a partir dos valores das Tabelas 7.1 e 7.2 e das equações (7.31) a (7.34) e (7.39).

| RAMAL | | ANO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------|-----|-----|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | KW | | 168,07 | 186,82 | 213,13 | 255,77 | 313,58 |
| | KVA | | 186,74 | 207,58 | 236,81 | 284,19 | 348,42 |
| 2 | KW | | 504,20 | 560,47 | 639,40 | 767,31 | 940,72 |
| | KVA | | 560,22 | 622,75 | 710,44 | 852,57 | 1045,25 |
| 3 | KW | | 840,33 | 934,12 | 1065,65 | 1278,85 | 1567,88 |
| | KVA | | 933,70 | 1037,91 | 1184,06 | 1420,94 | 1742,09 |
| 4 | KW | | 1176,47 | 1307,77 | 1491,91 | 1790,39 | 2195,03 |
| | KVA | | 1307,19 | 1453,08 | 1657,68 | 1989,32 | 2438,92 |
| 5 | KW | | 1512,60 | 1681,42 | 1918,18 | 2301,93 | 2822,18 |
| | KVA | | 1680,67 | 1868,25 | 2131,31 | 2557,70 | 3135,76 |
| Alimentador | MW | | 4,202 | 4,671 | 5,328 | 6,394 | 7,839 |
| | MVA | | 4,669 | 5,190 | 5,920 | 7,105 | 8,710 |
| Subestação | MW | | 29,412 | 32,694 | 37,298 | 44,760 | 54,876 |
| | MVA | | 32,680 | 36,327 | 41,442 | 49,733 | 60,973 |

Tabela 7.3 - Demandas máximas dos ramais, dos alimentadores e da subestação, em KW e KVA, ao longo do horizonte de planejamento.

7.3.2 - Dados de confiabilidade

Nos cálculos dos indicadores de confiabilidade, tal como descrito no item 7.2.2, foram adotados os seguintes valores:

- . Taxa de falha do tronco do alimentador

$$\lambda_T = 1,0 \text{ falha/Km.ano}$$

- . Taxa de falha dos ramais

$$\lambda_R = 1,5 \text{ falhas/Km.ano}$$

- . Tempo médio de reparo do tronco

$$r_T = 3,0 \text{ horas}$$

- . Tempo médio de reparo dos ramais

$$r_R = 2,5 \text{ horas}$$

- . Tempo médio de manobra na rede primária

$$s = 0,5 \text{ horas}$$

7.3.3 - Funções custos das interrupções

Como visto nos capítulos anteriores, os prejuízos provocados pelas interrupções de energia elétrica aos diversos tipos de consumidores dependem de muitas variáveis. Dentre as mais importantes podem ser citadas a duração da interrupção e o momento de sua ocorrência.

A consideração destas variáveis na determinação dos prejuízos permite que sejam estabelecidas algumas funções, aqui chamadas de funções custos das interrupções, para os diferentes tipos de consumidores atendidos pelo sistema de distribuição estudado. Neste sistema supor-se-á que a subestação atenderá, entre outros tipos de consumidores, consumidores residenciais, industriais, comerciais e rurais.

As diferentes funções custos das interrupções serão representadas por tabelas onde a influência da duração da interrupção e do momento de sua ocorrência possa ser convenientemente ressaltada.

7.3.3.1 - Consumidores residenciais

Admite-se que estes consumidores só estarão sujeitos a prejuízos provocados por falhas durante o período noturno das 18:00 às 24:00h em todos os dias da semana. Supondo para os consumidores residenciais da área um salário líquido mensal igual a US\$176,00 e considerando-se um período semanal de trabalho igual a 44 horas, adotou-se, segundo a proposição de Munasinghe⁽³⁾, um valor aproximado para o custo horário de uma interrupção igual a 1,0 US\$/h. Pressupondo uma demanda máxima para cada consumidor residencial igual a 1,2KW, resulta então um custo igual a 0,833 US\$/KW.h.

7.3.3.2 - Consumidores industriais

Considerou-se a presença de dois grupos de consumidores industriais: o Grupo Industrial I, cujos componentes operam durante o dia inteiro, e o Grupo Industrial II, cujos componentes operam somente no período das 8:00 às 18:00h. Na falta de valores mais representativos a nível de Brasil, adotou-se, para os custos das interrupções dos dois grupos de consumidores industriais indicados acima, os custos, expressos em US\$/KW, propostos na referência (76).

7.3.3.3 - Consumidores comerciais

Considerou-se que os consumidores comerciais operam somente durante o período das 8:00 às 18:00h, admitindo-se um custo nulo fora deste período. Pelos motivos indicados no item anterior, foram adotados para esta classe de consumidores os custos das interrupções, em US\$/KW, propostos na referência (76).

7.3.3.4 - Consumidores rurais

Foram adotados, para este tipo de consumidores, os valores constantes na referência (76), admitindo-se que os custos das interrupções sejam iguais nos diferentes períodos do dia considerados.

7.3.3.5 - Outros consumidores

Finalmente, considerou-se, também por simplicidade, que os consumidores não incluídos nas classes anteriores têm um comportamento idêntico, quanto aos prejuízos sofridos, aos consumidores comerciais, possuindo portanto os mesmos custos das interrupções.

A Tabela 7.4 a seguir mostra os valores adotados para os custos das interrupções referentes aos diversos consumidores, nos diferentes períodos do dia considerados.

7.3.4 - Custos médios das interrupções por tipo de consumidor

A ocorrência de uma interrupção de energia elétrica é, por si só, um fato aleatório. Porém, para efeito da contabilização dos custos das interrupções, o momento em que a mesma ocorre é de grande importância, como já ressaltado anteriormente.

| Período Classe de Consumidores | | Custos das Interrupções, em US\$/KW | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--|-------------------------------------|-------|-------|--------|--------|--|-----------------|-------|-------|--------|--------|--|----------------|-------|-------|--------|--------|--|
| | | 8:00 às 18:00h | | | | | | 18:00 às 24:00h | | | | | | 24:00 às 8:00h | | | | | |
| | | 1min | 20min | 1h | 4h | 8h | | 1min | 20min | 1h | 4h | 8h | | 1min | 20min | 1h | 4h | 8h | |
| Residencial | | - | - | - | - | - | | 0,0139 | 0,278 | 0,833 | 3,333 | 6,666 | | - | - | - | - | - | |
| Industrial I | | 1,47 | 3,52 | 5,68 | 12,91 | 18,97 | | 1,47 | 3,52 | 5,68 | 12,91 | 18,97 | | 1,47 | 3,52 | 5,68 | 12,91 | 18,97 | |
| Industrial II | | 0,72 | 3,38 | 5,27 | 19,66 | 29,37 | | - | - | - | - | - | | - | - | - | - | - | |
| Comercial e Outros | | 0,86 | 5,29 | 16,54 | 58,66 | 148,00 | | - | - | - | - | - | | - | - | - | - | - | |
| Rural | | 0,03 | 2,80 | 14,00 | 116,80 | 326,80 | | 0,03 | 2,80 | 14,00 | 116,80 | 326,80 | | 0,03 | 2,80 | 14,00 | 116,80 | 326,80 | |

Tabela 7.4 - Custos das interrupções para os diferentes consumidores atendidos pelo sistema exemplo, segundo o período do dia.

Considerando a probabilidade de uma dada interrupção ocorrer em um dos diferentes períodos do dia aqui examinados, pode-se escrever, agora, para o valor esperado para o custo de uma interrupção de duração d_i , a seguinte expressão:⁽⁷⁷⁾

$$E[C_j(d_i)] = \sum_{k=1}^3 C_{jk}(d_i) \cdot P\{C_j(d_i) = C_{jk}(d_i)\} \quad (7.40)$$

onde:

$k=1,2,3$ para os períodos das 8:00 às 18:00h, 18:00 às 24:00h e 24:00 às 8:00h, respectivamente

$C_j(d_i)$ - variável aleatória custo das interrupções de duração d_i para os consumidores da classe j

$C_{jk}(d_i)$ - custo das interrupções de duração d_i para os consumidores da classe j , durante o período k do dia (ver Tabela 7.4)

Nos exemplos aqui estudados, e de acordo com os resultados obtidos por Munasinghe no estudo por ele realizado em Casavel⁽³⁾, foram feitas as seguintes suposições:

- . 50% das falhas ocorrem no período das 8:00 às 18:00h
- . 30% das falhas ocorrem no período das 18:00 às 24:00h
- . 20% das falhas ocorrem no período das 24:00 às 8:00h

Utilizando os valores acima e a expressão (7.40) pode-se escrever:

$$E[C_j(d_i)] = C_{j1}(d_i) \cdot 0,5 + C_{j2}(d_i) \cdot 0,3 + C_{j3}(d_i) \cdot 0,2 \quad (7.41)$$

A partir dos custos indicados na Tabela 7.4 é possível obter os valores médios indicados na Tabela 7.5.

| Classe de Consumidores | Custos das interrupções, em US\$/KW | | | | |
|------------------------|-------------------------------------|--------|--------|---------|---------|
| | 1min | 20min | 1h | 4h | 8h |
| Residencial | 0,0042 | 0,0834 | 0,250 | 1,000 | 2,000 |
| Industrial I | 1,470 | 3,520 | 5,680 | 12,910 | 18,970 |
| Industrial II | 0,360 | 1,690 | 2,635 | 9,830 | 14,685 |
| Comercial e Outros | 0,430 | 2,645 | 8,270 | 29,330 | 74,000 |
| Rural | 0,030 | 2,800 | 14,000 | 116,800 | 326,800 |

Tabela 7.5 - Custos médios das interrupções para os diferentes consumidores atendidos pelo sistema exemplo.

7.3.5 - Função equivalente dos custos das interrupções

Tal como descrito nos capítulos anteriores, os custos das interrupções, para as diferentes classes de consumidores, são usualmente expressos em US\$/KW (de demanda máxima). Este foi o procedimento adotado no cálculo dos valores indicados nas Tabelas 7.4 e 7.5. Portanto, torna-se necessário que sejam conhecidas as demandas máximas dos diferentes grupos de consumidores atendidos pelo sistema de distribuição.

No modelo simplificado descrito na referência (34) aqui estudado, tais valores não se encontram diretamente disponíveis. Assim, para a determinação dos valores de demanda máxima de maneira desagregada, admite-se que possa ser conhecida a participação de cada tipo de consumidor no consumo total de energia elétrica e os seus respectivos fatores de carga.

Para os dois exemplos de aplicação que serão estudados mais adiante, foram adotados os valores indicados na Tabela 7.6, supostos constantes ao longo do horizonte de planejamento considerado, muito embora tal suposição não seja indispensável aos cálculos que se seguem.

| Classe de Consumidores | Participação percentual no consumo total de energia elétrica - p_j (%) | Fator de carga - FC_j |
|------------------------|--|-------------------------|
| Residencial | 27,0 | 0,37 |
| Industrial I | 23,0 | 0,54 |
| Industrial II | 16,0 | 0,30 |
| Comercial e Outros | 25,0 | 0,35 |
| Rural | 9,0 | 0,36 |

Tabela 7.6 - Participação das diferentes classes de consumidores no consumo de energia elétrica e fatores de carga correspondentes.

Para o cálculo das demandas máximas correspondentes a cada classe de consumidores, tal como indicadas na Tabela 7.7 a seguir, foram utilizados os valores da Tabela 7.6 e a equação abaixo:

$$D_{cj} = \frac{E \cdot \frac{p_j}{100}}{8760 \cdot FC_j} \quad (7.42)$$

onde

- D_{cj} - demanda máxima para a classe j de consumidores, em MW
 p_j - participação da classe j no consumo de energia, em (%)
 FC_j - fator de carga da classe j de consumidores

| Classe de Consumidores | Demanda máxima, em MW | | | | |
|------------------------|-----------------------|--------|--------|--------|--------|
| | Ano 1 | Ano 2 | Ano 3 | Ano 4 | Ano 5 |
| Residencial | 10,258 | 11,439 | 13,362 | 17,967 | 21,680 |
| Industrial I | 5,987 | 6,677 | 7,799 | 10,487 | 12,654 |
| Industrial II | 7,497 | 8,360 | 9,766 | 13,132 | 15,845 |
| Comercial e Outros | 10,040 | 11,197 | 13,079 | 17,587 | 21,221 |
| Rural | 3,514 | 3,919 | 4,578 | 6,155 | 7,427 |

Tabela 7.7 - Demanda máxima dos diferentes grupos de consumidores atendidos pela subestação.

Comparando-se as demandas totais para a subestação, indicadas nas Tabelas 7.3 e 7.7, verifica-se que as mesmas são diferentes. Os valores da segunda tabela são superiores aos da primeira. Isto pode ser facilmente explicado, uma vez que os cálculos apresentados na Tabela 7.3 consideram, ainda que implicitamente, uma diversidade entre as demandas máximas relativas a cada classe de consumidores e a demanda máxima do sistema, esta última calculada através da equação (7.31).

Com relação à determinação da demanda máxima para as diferentes classes de consumidores, cabe ressaltar, por último, uma simplificação aqui adotada: foi considerado que as demandas máximas dos diversos consumidores pertencentes a uma dada classe ocorrem no mesmo instante, ou seja, foi admitido um fator de diversidade entre estes consumidores igual a 1.

Considerando agora que todos os ramais do alimentador apresentam uma composição de carga igual à indicada na Tabela 7.6, é possível deduzir e trabalhar com uma única função equivalente dos custos das interrupções que represente, de forma adequada, todos os consumidores atendidos pelo alimentador. Esta função pode ser convenientemente expressa em US\$/KW de demanda máxima do alimentador (ou ramal).

Esta nova função custo das interrupções, também chamada função dos prejuízos dos consumidores^(54,63,67), que calcu

la os valores dos prejuízos provocados por falhas de diferentes durações, pode ser obtida, neste caso, através da seguinte fórmula:

$$C_s(d_i) = \frac{\sum_{j=1}^N C_j(d_i) \cdot D'_{cj}}{D'_{m\acute{a}x}} \quad (7.43)$$

onde

D'_{cj} - demanda máxima referente à classe j de consumidores atendida pelo alimentador, em KW, onde neste estudo,

$$D'_{cj} = \frac{D_{cj}}{n}$$

$D'_{m\acute{a}x}$ - demanda máxima do alimentador, em KW, onde neste estudo, $D'_{m\acute{a}x} = \frac{D_{m\acute{a}x}}{n}$

$C_s(d_i)$ - custo de uma interrupção de duração d_i para o conjunto de consumidores atendidos pelo alimentador, em US\$/KW de demanda máxima

N - número de seções (e ramais) de cada alimentador

A aplicação da equação (7.43) permite calcular os valores indicados na Tabela 7.8 a seguir.

| Duração da Interrupção | Custos das interrupções, em US\$/KW de demanda máxima do alimentador | | | | |
|------------------------|--|--------|--------|--------|--------|
| | Ano 1 | Ano 2 | Ano 3 | Ano 4 | Ano 5 |
| 1min | 0,543 | 0,545 | 0,558 | 0,625 | 0,615 |
| 20min | 2,414 | 2,422 | 2,480 | 2,778 | 2,734 |
| 1h | 6,411 | 6,432 | 6,586 | 7,379 | 7,262 |
| 4h | 29,451 | 29,545 | 30,252 | 33,897 | 33,362 |
| 8h | 72,611 | 72,845 | 74,588 | 83,574 | 82,254 |

Tabela 7.8 - Função equivalente dos custos médios das interrupções, em US\$/KW de demanda máxima do alimentador.

Observa-se nesta tabela que os custos das interrupções variam ao longo do horizonte de planejamento, devendo tal variação ser creditada às modificações do fator de carga e do índice de perdas do sistema durante este mesmo período.

Nas situações onde não se possa admitir uma homogeneidade da distribuição dos consumidores nos diversos ramais do alimentador, ou entre os diversos alimentadores, torna-se necessária

rio que seja calculada uma função equivalente dos custos das interrupções para cada um dos ramais, ou alimentadores, de modo análogo ao efetuado pela equação (7.43).

7.3.6 - Cálculo dos custos totais das interrupções por alimentador

De posse de todos os valores calculados nos itens anteriores e dos indicadores de confiabilidade calculados no item 7.2.2, os custos totais das interrupções para um alimentador, para qualquer uma das seis configurações aqui analisadas, poderão ser facilmente obtidos, conforme se mostra a seguir:

. Caso 1

Os custos totais das interrupções, CT, em US\$, para um dado ano, calcula-se, com o auxílio das equações (7.13) e (7.14), como:

$$CT = \sum_{i=1}^N \{ [\lambda_T (\sum_{k=1}^i L'_{Tk}) C_s(r_T) + \lambda_T (\sum_{k=i+1}^N L'_{Tk}) C_s(s) + \lambda_R L_{Ri} C_s(r_R)] D_i \} \quad (7.44)$$

onde

$C_s(r_T)$, $C_s(r_R)$ e $C_s(s)$ - custo de uma interrupção, em US\$/KW, de duração igual a r_T , r_R e s , respectivamente

D_i - demanda máxima do i-ésimo ramal, em KW

. Caso 2

Da mesma forma, através das equações (7.15) e (7.16), escreve-se:

$$CT = \sum_{i=1}^N \{ [\lambda_T L'_{Ti} C_s(r_T) + \lambda_T (\sum_{i \neq k}^N L'_{Tk}) C_s(s) + \lambda_R L_{Ri} C_s(r_R)] D_i \} \quad (7.45)$$

. Caso 3

A partir das equações (7.17) e (7.18) escreve-se:

$$\begin{aligned}
 CT = \sum_{i=1}^N \{ & [\lambda_T (\sum_{k=1}^i L'_{Tk}) C_s(r_T) + \lambda_T (\sum_{k=i+1}^N L'_{Tk}) C_s(s) + \\
 & + \lambda_R L_{Ri} C_s(r_R) + \lambda_R (\sum_{k \neq i}^N L_{Rk}) C_s(s)] D_i \}
 \end{aligned} \quad (7.46)$$

. Caso 4 e Caso 6

Como visto no item 7.2.2, estes dois casos são idênticos sob o ponto de vista dos indicadores de confiabilidade e como tal apresentam os mesmos custos totais das interrupções:

$$\begin{aligned}
 CT = \sum_{i=1}^N \{ & [\lambda_T L'_{Ti} C_s(r_T) + \lambda_T (\sum_{i \neq i}^N L'_{Tk}) C_s(s) + \lambda_R L_{Ri} C_s(r_R) + \\
 & + \lambda_R (\sum_{k \neq i}^N L_{Rk}) C_s(s)] D_i \}
 \end{aligned} \quad (7.47)$$

. Caso 5

$$\begin{aligned}
 CT = \sum_{i=1}^N \{ & [\lambda_T (\sum_{k=1}^i L'_{Tk}) C_s(r_T) + \lambda_T (\sum_{k=i+1}^N L'_{Tk}) C_s(s) + \\
 & + \lambda_R (\sum_{k=1}^i L_{Rk}) C_s(r_R) + \lambda_R (\sum_{k=i+1}^N L_{Rk}) C_s(s)] D_i \}
 \end{aligned} \quad (7.48)$$

Nos casos em que r_T , r_R e s não coincidam com as durações indicadas na Tabela 7.8, os valores correspondentes de $C_s(r_T)$, $C_s(r_R)$ e $C_s(s)$ são obtidos por meio de interpolação linear entre os valores constantes nesta tabela.

Para interrupções com durações inferiores a 1 minuto (embora aqui não consideradas) pode-se admitir, por aproximação, um custo igual a uma interrupção com duração igual a 1 minuto.

Aplicando as equações (7.44) a (7.48) para os diversos anos considerados no horizonte de planejamento, pode-se calcular os custos totais das interrupções. Para o sistema estudado tais custos, referentes a um alimentador da subestação, encontram-se indicados na Tabela 7.9.

| Configuração estudada | Custos totais das interrupções, em US\$, por alimentador | | | | |
|-----------------------|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | Ano 1 | Ano 2 | Ano 3 | Ano 4 | Ano 5 |
| 1 | 912.929,50 | 1.018.089,00 | 1.189.232,25 | 1.599.089,75 | 1.929.536,25 |
| 2 | 640.599,12 | 714.389,12 | 834.479,62 | 1.122.075,00 | 1.353.948,00 |
| 3 | 1.153.285,25 | 1.286.131,00 | 1.502.332,75 | 2.020.097,25 | 2.437.544,00 |
| 4 e 6 | 880.954,62 | 982.431,00 | 1.147.580,00 | 1.543.082,50 | 1.861.955,25 |
| 5 | 1.664.452,00 | 1.856.178,25 | 2.168.206,50 | 2.915.458,50 | 3.517.928,50 |

Tabela 7.9 - Custos totais das interrupções por alimentador, em US\$, para as diferentes configurações estudadas.

7.3.7 - Escolha da melhor configuração para os alimentadores da subestação

A análise de custo-benefício referente a cada uma das seis configurações estudadas exige o cálculo do custo total associado a cada uma delas. Tal como mencionado anteriormente, este custo total é composto de duas parcelas: investimentos e custo das interrupções.

Para este exemplo, o cálculo destes custos baseou-se nas seguintes considerações:

- . O investimento necessário à implantação da configuração 5 foi considerado comum a todas as demais.
- . O investimento correspondente às outras alternativas foi obtido somando-se ao investimento anterior, quando necessário, os gastos com a aquisição e instalação de chaves fusíveis ou chaves seccionadoras simples e a construção do trecho de alimentador necessário à implantação da alimentação alternativa.
- . O trecho médio de alimentador destinado à alimentação alternativa foi considerado igual a 500 metros, com um custo igual a US\$13500,00, envolvendo o custo do trecho mais o custo da chave mantida normalmente aberta.
- . Os custos das chaves-fusíveis e das chaves seccionadoras simples instaladas nos ramais foram considerados iguais a US\$550,00 e US\$450,00, respectivamente.
- . Adotou-se uma taxa anual de atualização igual a 10%.
- . Não foram considerados os gastos com a operação e manutenção de cada uma das configurações, uma vez que tais gastos podem ser considerados aproximadamente iguais em todas elas.

A Tabela 7.10, a seguir, apresenta, para cada alternativa, o valor do investimento adicional (em relação à configuração 5) necessário à sua implantação, os custos das interrupções, expressos estes últimos em seus valores presentes, e os índices FEC e DEC globais correspondentes. Na quarta coluna encontra-se indicada a variação dos custos das interrupções em relação ao valor correspondente à configuração 5.

A quinta coluna apresenta o "custo global", em valor

res presentes, de cada alternativa, considerado aqui como a soma do investimento adicional em relação à configuração 5 e os correspondentes custos das interrupções. Este "custo global" é, assim, inferior ao custo real total de cada alternativa, sendo tal diferença igual ao valor não contabilizado do custo de implantação desta mesma configuração 5.

A última coluna mostra os valores correspondentes à duração média das interrupções vistas pelos consumidores, para cada uma das configurações estudadas, as quais são obtidas pela seguinte expressão:

$$t = \frac{DEC}{FEC} \quad (7.49)$$

onde t é a duração média das interrupções, em horas.

Como pode ser facilmente verificado, a configuração 2 é a que apresenta o menor custo global, bem como os menores índices FEC e DEC. Em contrapartida, a configuração 5 é a que apresenta o maior custo global e os piores índices de confiabilidade.

Também pode ser verificado que a introdução da alimentação alternativa nas configurações 2, 4 e 6 resulta numa diminuição bastante significativa nos custos das interrupções (reduzindo também o DEC global), quando comparados com os custos referentes às configurações 2, 3 e 5, respectivamente. Observando-se a segunda e a quarta coluna da Tabela 7.10, vê-se que esta redução é obtida com um investimento bem inferior aos benefícios auferidos.

A configuração 1, por sua vez, é a que apresenta a maior duração média das interrupções (2,45h) enquanto as configurações 4 e 6, ao contrário, apresentam as menores durações médias (1,02h). Este comportamento pode ser creditado ao fato de que, para a configuração 1, as falhas envolvendo ações de reparo no tronco ou nos ramais ($r_T=3,0h$; $r_R=2,5h$) contribuem mais para o DEC do que as falhas que são eliminadas por ações de manobra na rede primária ($s=0,5h$), ocorrendo o oposto para as configurações 4 e 6.

| Configuração | Investimento adicional (US\$) (I) | Custos das interrupções (US\$) (II) | Variação dos custos das interrupções (US\$) | Custo global (I + II) (US\$) | FEC global (int./KVA.ano) | DEC global (h/KVA.ano) | Duração média das interrupções (horas) |
|--------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---|------------------------------|---------------------------|------------------------|--|
| 1 | 2.750,00 | 4.855.109,58 | 3.996.720,05 | 4.857.859,58 | 12,316 | 30,161 | 2,45 |
| 2 | 16.250,00 | 3.406.811,46 | 5.445.018,17 | 3.423.061,46 | 12,316 | 21,334 | 1,73 |
| 3 | 2.250,00 | 6.133.360,80 | 2.718.468,83 | 6.135.610,80 | 29,077 | 38,541 | 1,32 |
| 4 | 15.750,00 | 4.685.061,95 | 4.166.767,68 | 4.700.811,95 | 29,077 | 29,714 | 1,02 |
| 5 | - | 8.851.829,63 | - | 8.851.829,63 | 29,077 | 55,301 | 1,90 |
| 6 | 13.500,00 | 4.685.061,95 | 4.166.767,68 | 4.698.561,95 | 29,077 | 29,714 | 1,02 |

Tabela 7.10 - Investimento, custos das interrupções, custos totais por alimentador e índices FEC e DEC globais para as diversas configurações estudadas.

7.3.7.1 - Análise de sensibilidades

Em relação ao estudo acabado de apresentar foi efetuada uma análise de sensibilidade com relação às seguintes variáveis: tempos médios de reparo no tronco e ramais, tempo médio de manobra na rede primária, taxas de falha do tronco e ramais e taxa anual de atualização.

A Tabela 7.11 mostra a variação percentual (%) dos custos totais das interrupções e do índice DEC global das diversas configurações para reduções nos tempos médios de reparo no tronco (r_T) e ramais (r_R) iguais a 10, 20 e 30% e também para um aumento destes tempos igual a 10%, mantendo-se nestes casos o tempo de manobra, s , igual a 0,5 horas.

Vê-se nesta tabela que, para uma dada variação nos tempos de reparo, r_T e r_R , a configuração 1 é a que apresenta uma maior variação nos custos das interrupções e no DEC global, enquanto as configurações 4 e 6 são as que apresentam as menores variações para estes dois valores. Verifica-se também que passando-se de uma redução de 10% nos tempos de reparo para uma redução de 20% ou 30%, a diminuição, em %, nos custos das interrupções e no DEC global dobra ou triplica, respectivamente.

É de se notar que, para uma dada variação nos tempos de reparo, as maiores variações nos custos das interrupções e no DEC global ocorrem para as configurações que apresentam as maiores durações médias das interrupções, o que se justifica uma vez que em tais configurações predominam as contribuições das falhas eliminadas justamente por ações de reparo.

A Tabela 7.12 apresenta, para as diversas configurações, a variação percentual dos custos das interrupções e do índice DEC para aumentos no tempo médio de manobra iguais a 50%, 100% e 200% respectivamente.

Neste caso, a situação é oposta à da tabela anterior. A configuração 1 é a menos afetada pelas variações no tempo de manobra enquanto as configurações 4 e 6 são as mais afetadas por tais modificações. Quanto menor a duração média das interrupções (maior contribuição das falhas eliminadas por ações de manobra) maior a variação nos custos das interrupções e no DEC.

Aumentos de 100% e 200% no tempo de manobra levam a uma variação no DEC igual a duas e quatro vezes, respectivamente,

| Configuração | Variação, em %, dos custos das interrupções e do DEC, para variações nos tempos de reparo no tronco e nos ramais | | | | | | | |
|--------------|--|-------|-------------------------|--------|-------------------------|--------|-------------------------|-------|
| | $r_T=2,5h, r_R=2,25h$ | | $r_T=2,4h, r_R=2,0h$ | | $r_T=2,1h, r_R=1,75h$ | | $r_T=3,3h, r_R=2,75h$ | |
| | Custos das interrupções | DEC | Custos das interrupções | DEC | Custos das interrupções | DEC | Custos das interrupções | DEC |
| 1 | -10,393 | -9,75 | -20,786 | -19,50 | -31,179 | -29,25 | +10,393 | +9,75 |
| 2 | - 9,476 | -8,82 | -18,952 | -17,64 | -28,428 | -26,45 | + 9,476 | +8,82 |
| 3 | - 8,227 | -7,63 | -16,454 | -15,26 | -24,681 | -22,89 | + 8,227 | +7,63 |
| 4 e 6 | - 6,891 | -6,33 | -13,781 | -12,66 | -20,672 | -18,99 | + 6,891 | +6,33 |
| 5 | - 9,762 | -9,11 | -19,524 | -18,21 | -29,286 | -27,32 | + 9,762 | +9,11 |

Tabela 7.11 - Variação dos custos totais das interrupções e do DEC global para variações nos tempos de reparo no tronco e nos ramais.

| Configuração | Variação, em %, dos custos das interrupções e do DEC para variações no tempo de manobra | | | | | |
|--------------|---|-------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|
| | s=0,75h | | s=1,0h | | s=1,5h | |
| | Custos das interrupções | DEC | Custos das interrupções | DEC | Custos das interrupções | DEC |
| 1 | 1,044 | 1,25 | 2,088 | 2,51 | 4,762 | 5,02 |
| 2 | 4,959 | 5,91 | 9,918 | 11,82 | 22,621 | 23,64 |
| 3 | 9,979 | 11,85 | 19,958 | 23,71 | 45,52 | 47,41 |
| 4 e 6 | 15,588 | 18,34 | 31,175 | 36,69 | 71,107 | 73,38 |
| 5 | 3,743 | 4,47 | 7,487 | 8,94 | 17,077 | 17,89 |

Tabela 7.12 - Variação, em %, dos custos das interrupções e do DEC, para variações no tempo de manobra na rede primária.

a variação obtida com um aumento neste tempo igual a 50%.

No entanto, a variação nos custos das interrupções não permanece proporcional à variação do tempo de manobra quando este passa de 1h de duração (mais de 100% de variação). Isto pode ser explicado pelo fato de que, entre 1 hora e 4 horas, a função equivalente dos custos médios das interrupções apresenta uma inclinação diferente (maior) daquela definida no intervalo entre 20 minutos e 1 hora (ver Tabela 7.8).

De acordo com as variações nos custos totais das interrupções, indicadas nas Tabelas 7.11 e 7.12, vê-se que variações nos tempos de reparo do tronco e dos ramais e no tempo de manobra são insuficientes para alterar a escolha da melhor configuração para o alimentador, permanecendo, ainda, a configuração 2 como a mais indicada.

De acordo com as equações (7.44) a (7.48), pode ser observado que variações, iguais e simultâneas, nas taxas de falha no tronco e nos ramais levam a uma variação igual nos custos totais das interrupções, ou seja, reduzindo ou aumentando ambas as taxas de falha em $x\%$, os custos se reduzem ou aumentam também em $x\%$.

Para que a configuração 2 deixe de ser escolhida como a melhor dentre as seis estudadas, as taxas de falha deveriam ser muito reduzidas, inferiores a 0,01 falhas/Km.ano, valores que não são normalmente encontradas em redes aéreas urbanas de distribuição no Brasil.

O uso de taxas anuais de atualização iguais a 8% e 12% ao longo do horizonte de planejamento não afeta a ordem relativa das alternativas, permanecendo, também neste caso, a configuração 2 como a de menor custo global.

7.3.8 - Escolha do número ótimo de alimentadores para a subestação

Neste item procurar-se-á determinar o número ótimo de alimentadores para a SE, considerando-se, porém, somente o custo total dos investimentos mais os custos das interrupções para a configuração 2.

Não serão considerados, para efeito deste estudo, pos

síveis benefícios devidos à diminuição das perdas no sistema com o aumento do número de alimentadores da SE, ou quaisquer outros que possam ser identificados.

Os valores usados para as taxas de falha do tronco do alimentador e dos ramais e os tempos médios de reparo no tronco e ramais, bem como o tempo de manobra foram os seguintes:

$$\lambda_T = \lambda_R = 0,3 \text{ falhas/Km.ano}$$

$$r_T = r_R = 1,5 \text{ horas}$$

$$s = 0,5 \text{ horas}$$

A Tabela 7.13 mostra os comprimentos totais dos troncos de alimentadores, dos ramais e os índices FEC e DEC calculados para os casos onde a subestação possui 6, 7, 8, 9 ou 10 alimentadores. Nesta tabela estão indicados os custos totais das interrupções, em valores presentes, obtidos com a consideração de que as funções custos das interrupções referentes a cada tipo de consumidor são reduzidas a 50% dos valores indicados na Tabela 7.4. Os custos de implantação correspondentes a cada alternativa considerada foram obtidos a partir dos custos de cada elemento do sistema indicado no item 7.3.7 anterior e dos custos das chaves seccionadoras instaladas no tronco do alimentador, de cada saída de alimentador a ser acrescida na subestação e do custo de implantação dos ramais e dos troncos, indicados abaixo: (78)

| | |
|---------------------------------|----------------|
| . chave seccionadora no tronco: | US\$ 760,00 |
| . custo por Km de ramal | : US\$12500,00 |
| . custo por Km de tronco | : US\$20000,00 |
| . saída de alimentador | : US\$20000,00 |

A Tabela 7.14 mostra os custos totais, em valores presentes, de cada configuração, considerando uma vida útil de 20 anos para a rede primária de distribuição, com valor residual ao fim deste período igual a 10% do investimento inicial e um valor residual ao fim de 5 anos igual a 77,5% deste mesmo investimento, obtido através de uma depreciação linear dos equipamentos ao longo de suas vidas úteis. São mostrados também os custos totais

| Número de alimentadores | FEC (int./KVA.ano) | DEC (h/KVA.ano) | Comprimento total dos alimentadores (Km) | Comprimento total dos ramais (Km) | Custos das interrupções (US\$) | Custo de implantação (US\$) |
|-------------------------|-----------------------|--------------------|---|--|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 6 | 3,29 | 3,44 | 37,317 | 107,725 | 1.837.622,58 | 2.333.202,50 |
| 7 | 3,09 | 3,13 | 44,134 | 106,268 | 1.671.116,39 | 2.491.380,00 |
| 8 | 2,95 | 2,90 | 50,873 | 105,361 | 1.549.513,79 | 2.654.872,50 |
| 9 | 2,84 | 2,72 | 57,562 | 104,755 | 1.456.450,04 | 2.821.127,50 |
| 10 | 2,75 | 2,59 | 64,219 | 104,330 | 1.382.696,16 | 2.989.005,00 |

Tabela 7.13 - Índices FEC e DEC, comprimentos totais dos troncos dos alimentadores e ramais e custos das interrupções e de implantação para a subestação com número de alimentadores variável.



em valores presentes, para cada configuração, quando são consideradas as funções custos das interrupções para os consumidores atendidos pela subestação iguais a 33,3% e 60% dos valores indicados na Tabela 7.4.

| Número de Alimentadores | Custos totais, em US\$, para diferentes funções custos das interrupções | | |
|-------------------------|---|----------------------|----------------------|
| | 33,3% das funções-base | 50% das funções-base | 60% das funções-base |
| 6 | 2.435.514,45 | 3.048.055,31 | 3.415.579,83 |
| 7 | 2.406.570,59 | 2.963.609,39 | 3.297.832,67 |
| 8 | 2.410.319,81 | 2.926.824,41 | 3.236.727,16 |
| 9 | 2.434.528,07 | 2.920.011,42 | 3.211.301,42 |
| 10 | 2.472.451,31 | 2.933.350,03 | 3.209.889,26 |

Tabela 7.14 - Custos totais, em valores presentes, para a subestação estudada, a partir de diferentes funções custos das interrupções.

Vê-se nesta tabela que, à medida que se atribuem valores crescentes aos prejuízos provocados pelas interrupções, a configuração que resulta como a de custo mínimo para a sociedade se altera. Assim, a subestação deverá possuir, nas condições deste estudo, 7, 9 ou 10 alimentadores caso as funções custos das interrupções assumidas para cada tipo de consumidor atendido pela SE sejam consideradas iguais a 33,3%, 50% ou 60% das funções indicadas na Tabela 7.4, respectivamente.

É de se notar também que a consideração de funções custos das interrupções mais elevadas faz com que a configuração de custo mínimo apresente um nível de confiabilidade cada vez maior. Isto pode ser observado na Tabela 7.14, onde a alternativa correspondente à construção de 10 alimentadores para o atendimento da carga da SE possui índices FEC e DEC inferiores à alternativa onde esta carga será atendida apenas por 7 alimentadores.

A consideração de funções custos das interrupções superiores a 60% dos valores indicados na Tabela 7.4 levarão, por maior razão, e nas condições do estudo, à opção de se construir 10 alimentadores para atender a carga da subestação.

A Tabela 7.15 apresenta os custos totais, em valores presentes, obtidos quando não se considera o valor residual dos equipamentos ao fim de 5 anos ($V_{\text{RESIDUAL}}=0,0$) ou quando se considera este valor residual igual ao próprio custo de implantação

da alternativa ($V_{\text{RESIDUAL}} = I_o$).

| Número de alimentadores | Custo total de cada alternativa, em US\$ | |
|-------------------------|--|-----------------------------|
| | $V_{\text{RESIDUAL}} = 0,0$ | $V_{\text{RESIDUAL}} = I_o$ |
| 6 | 4.170.825,08 | 2.722.089,90 |
| 7 | 4.162.496,39 | 2.615.545,42 |
| 8 | 4.204.386,29 | 2.555.919,34 |
| 9 | 4.277.577,54 | 2.525.879,32 |
| 10 | 4.371.701,16 | 2.515.764,22 |

Tabela 7.15 - Custos totais para valores residuais dos equipamentos variáveis, ao fim do horizonte de planejamento considerado.

Uma vez que o valor residual dos equipamentos pode ser interpretado como um certo "benefício" relativo à posse destes equipamentos ao fim do horizonte de planejamento, quanto maior for o valor residual calculado para uma dada alternativa, menor será a contribuição dos gastos com a sua implantação no custo total e, em contrapartida, maior será a influência dos custos das interrupções neste valor.

Na Tabela 7.15 pode-se observar que, passando-se de um valor residual nulo para um valor residual igual ao próprio investimento realizado, a construção de 10 alimentadores torna-se mais vantajosa do que a construção de 7 (melhor alternativa para $V_{\text{RESIDUAL}} = 0,0$) ou 9 alimentadores (melhor alternativa para $V_{\text{RESIDUAL}} = 0,775 I_o$, vide Tabela 7.14).

O estudo acabado de apresentar demonstra que os prejuízos causados aos consumidores por interrupções de energia elétrica, afetam a escolha da melhor alternativa para a expansão de um dado sistema. Assim, a determinação de tais prejuízos deve ser feita de forma tão exata quando possível.

Da mesma forma, a definição do valor residual a ser considerado na análise poderá, em algumas situações, influenciar a escolha a ser feita.

7.4 - Conclusões

Neste capítulo foi apresentada uma metodologia para

o cálculo dos custos das interrupções utilizando-se um modelo simplificado de planejamento agregado de sistemas de distribuição, descrito com detalhe na referência (34).

Esta metodologia representa mais um passo no sentido da definição de um processo de planejamento com custos mínimos para a sociedade.

Uma vez que o modelo de planejamento, tal como indicado na referência (34), não contempla o cálculo de indicadores de confiabilidade, uma primeira contribuição deste capítulo pode ser creditada ao desenvolvimento de uma formulação que permite o cálculo de tais indicadores^(74,75), ressaltando-se, entre estes, os índices FEC e DEC de utilização muito divulgada no setor de distribuição de energia elétrica.

Com a finalidade de permitir o cálculo dos custos das interrupções torna-se necessário dispor dos seguintes dados, além daqueles já normalmente utilizados nos estudos de planejamento realizados com o auxílio da Nota Técnica 02 do DEDI-ELETOBRAS⁽³⁴⁾:

- . Dados de confiabilidade

Devem ser fornecidas as taxas de falha dos ramais e troncos dos alimentadores, tempo médio de reparo dos ramais e troncos e tempo médio de manobra na rede primária.

- . Dados sobre os consumidores

Para cada uma das classes de consumidores consideradas, deve-se obter as respectivas funções custos das interrupções, a participação percentual no consumo de energia elétrica da subestação e os fatores de carga correspondentes.

Na definição das funções custos das interrupções para os diferentes consumidores, procurou-se realçar o fato de que as mesmas dependem de algumas variáveis, tais como a duração das interrupções e o momento de sua ocorrência, além de outros fatores já salientados nos capítulos anteriores.

Procurou-se também considerar que as probabilidades de ocorrência de uma interrupção nos diversos períodos do dia podem ser diferentes.

A definição de uma função equivalente dos custos das

interrupções, ou função dos prejuízos dos consumidores, busca retratar de uma maneira bastante sintética todas as contribuições destas diferentes variáveis para a definição dos custos das interrupções para uma dada alternativa proposta para o sistema estudado.

Embora neste capítulo tenha sido adotada uma distribuição uniforme dos diversos tipos de consumidores em toda a área de atendimento da subestação, distribuição essa considerada também constante ao longo do período de planejamento analisado, nada impede que se possam definir características diferentes para os diversos ramais e que estas se modifiquem ao longo dos anos. Tais considerações representarão, ao final, diferentes funções dos prejuízos dos consumidores que devem ser calculados de maneira análoga àquela indicada no item 7.3.5.

Tendo em vista os dados e as funções custos das interrupções empregados no primeiro estudo, apresentado no item 7.3.7, a configuração 2, tronco do alimentador seccionado em comprimentos iguais por chaves seccionadoras simples, ligações ramais-tronco de alimentador através de chaves-fusíveis e presença de alimentação alternativa, é a que apresenta o custo global mínimo, sendo amplamente superior às demais alternativas.

No segundo estudo aqui apresentado, observa-se que a escolha das funções custos das interrupções e a definição dos valores residuais dos equipamentos ao fim do horizonte de planejamento considerado, afetam significativamente o número ótimo de alimentadores para a subestação.

Nota-se, porém, que estes valores exercem uma influência menos importante, ou decisiva, na escolha da melhor configuração para os alimentadores da subestação, uma vez que reduções bastante significativas nos valores atribuídos aos custos das interrupções não são capazes de alterar a escolha feita, o mesmo ocorrendo com a inclusão, ou não, de valores residuais dos equipamentos.

Por fim, ressalta-se que os custos de manutenção e operação dos sistemas e dos prováveis benefícios obtidos com a redução das perdas de energia elétrica, embora não tenham sido considerados nos estudos aqui apresentados, poderão ser incluídos na análise econômica sem maiores problemas.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSÕES FINAIS

O trabalho desenvolvido e apresentado nos capítulos anteriores procurou descrever as principais metodologias empregadas no cálculo dos custos das interrupções de energia elétrica, com o intuito de identificar aquelas que se mostrassem mais apropriadas para serem utilizadas em estudos de planejamento de sistemas de distribuição de energia elétrica, de modo a permitir que os mesmos possam ser projetados com custos totais mínimos para a sociedade.

Para efeito de análise, estas metodologias foram classificadas em dois grupos principais.

O primeiro grupo, tratado no Capítulo II, agrega as metodologias que calculam os custos das interrupções sob um ponto de vista global ou macroeconômico. Segundo as colocações feitas nesse mesmo capítulo, tais métodos não se mostram adequados, a não ser como ponto de referência, às necessidades dos estudos voltados para o planejamento de sistemas de distribuição.

Cabe ressaltar, porém, que as metodologias envolvendo a Análise Insumo-Produto e a relação entre produção e consumo de energia elétrica têm merecido, no Brasil, uma atenção especial, principalmente em estudos ligados ao planejamento da geração e transmissão, buscando determinar o chamado custo do déficit.

O segundo grupo de metodologias, descritas nos Capítulos III a VI, busca identificar os efeitos das interrupções inesperadas de energia elétrica sobre os diversos grupos de consumidores atendidos, através de levantamentos realizados junto aos mesmos. Nestes levantamentos são consideradas as características próprias de cada tipo de consumidor sob análise. Através do conhecimento dos seus processos de produção, ou de outras características relevantes, torna-se possível estimar os prováveis pre

juízos decorrentes da ocorrência de interrupções de energia elétrica.

Como já salientado nos capítulos correspondentes, e apesar da existência de algumas dificuldades relacionadas com a sua implantação, estas metodologias parecem ser mais adequadas à determinação dos custos das interrupções procurados.

Pelas suas próprias características, os métodos específicos, tal como descritos nos Capítulos III a VI, ao contrário dos métodos baseados na Análise Insumo-Produto, não são capazes de reconhecer os efeitos em cascata que uma paralisação, ou interferência mais prolongada, nas atividades de um dado consumidor provoca nos demais consumidores que dele dependem direta ou indiretamente. Seria o caso, por exemplo, de uma interrupção no fornecimento de energia elétrica a uma grande fábrica de autopeças que possa vir a afetar a produção de uma montadora de automóveis causando, indiretamente, neste última, prejuízos mensuráveis.

Assim, os custos das interrupções calculados por tais métodos são, na realidade, estimativas otimistas dos mesmos. No entanto, as falhas que ocorrem em sistemas de distribuição, pelas suas características, provocam, na sua maioria, perturbações bem localizadas e delimitadas, de modo que tais efeitos secundários podem ser, numa primeira aproximação, desconsiderados.

A análise de metodologias efetuada permite concluir que existem vários fatores que dificultam o estabelecimento de um método capaz de calcular os custos das interrupções para os consumidores residenciais. A definição do que deve ser considerado o "produto final" das atividades desenvolvidas no interior das residências, de que forma uma interrupção de energia elétrica afeta este produto e a quantificação final de tal influência são as principais dificuldades encontradas.

Para a classe dos consumidores industriais e comerciais parece que a elaboração e execução de pesquisas diretas junto aos mesmos é a maneira mais adequada de determinar os correspondentes custos das interrupções, muito embora existam, reconhecidamente, dificuldades na obtenção das informações necessárias a tal determinação de um modo confiável, rápido e com o grau de desagregação desejável.

Para os demais tipos de consumidores, análises pormenorizadas das suas atividades devem sugerir as maneiras pelas quais os custos das interrupções podem ser levantados, ainda que para alguns tipos de consumidores estes custos tenham em si algo de subjetivo. Este seria o caso, por exemplo, de hospitais e órgãos de administração pública.

Deste modo, a elaboração de questionários adequados às características de cada um dos diversos tipos de consumidores e a subsequente análise das respostas obtidas são tarefas de primordial importância, pois é a partir delas que se poderá garantir a confiabilidade dos resultados que, uma vez obtidos, servirão de base para as análises a serem feitas posteriormente.

Conforme já mencionado nos capítulos anteriores, quando se busca otimizar os recursos da sociedade como um todo, os custos das interrupções devem incluir, sempre que aplicável, parcelas correspondentes aos gastos com a aquisição e instalação de equipamentos de alimentação de emergência e à substituição de processos de produção mais eficientes, porém mais sensíveis às interrupções, por outros menos eficientes, mas que, em contrapartida, sejam menos afetados por tais interrupções.

Estes gastos compõem os chamados custos indiretos das interrupções que, em conjunto com os custos diretos, estes últimos relacionados com os prejuízos diretamente atribuíveis a ocorrência de uma interrupção, tais como perda de produção e estragos em matérias-primas entre outros, irão formar os custos totais das interrupções.

Enquanto os custos diretos já se encontram atualmente bastante explorados, não existe ainda uma metodologia mais definida para o levantamento e cálculo dos custos indiretos.

A persistência de uma situação onde a confiabilidade do sistema de distribuição seja muito baixa por um tempo bastante prolongado, pode resultar em mudanças no comportamento dos consumidores que devem ser avaliadas também sob a ótica dos custos indiretos.

O sentimento do consumidor em relação à confiabilidade de atual (observada) e à confiabilidade futura (esperada) resulta numa dificuldade adicional na estimação nos custos totais das interrupções.

Além do levantamento das principais metodologias já propostas para o cálculo dos custos das interrupções, o trabalho descrito na dissertação apresentou dois exemplos de aplicação no âmbito do planejamento de sistemas de distribuição de energia elétrica.

Apesar da simplicidade dos exemplos estudados, os mesmos permitiram apresentar, de forma objetiva, alguns conceitos importantes a nível de aplicação.

Assim, e como enfatizado nos capítulos anteriores, uma vez que os prejuízos provocados pelas interrupções dependem, por um lado, das características associadas ao próprio consumidor, do tipo de atividade desenvolvida, do período de funcionamento, da presença ou não de equipamentos de emergência; e por outro lado, das características associadas às próprias interrupções, tais como frequência, duração e período de ocorrência por exemplo, ficou patente que os métodos utilizados para quantificar tais prejuízos devem retratar estas características de forma compatível com o grau de complexidade dos modelos de planejamento utilizados.

O conhecimento de como os diversos tipos de consumidores são afetados pelas interrupções permite definir, por exemplo, as chamadas funções custos das interrupções.

A obtenção da função equivalente dos custos das interrupções, ou função dos prejuízos dos consumidores, para o sistema, permite retratar, de um modo bastante sintético, a composição das várias características que definem o comportamento dos consumidores e do próprio sistema, ou parte dele, em face às interrupções de energia elétrica.

Por fim, estes exemplos apresentam também uma maneira através da qual os indicadores de desempenho dos vários elementos do sistema de distribuição estudado, tais como taxas de falha e tempos médios de reparo, podem ser diretamente utilizados no cálculo dos custos totais das interrupções.

Uma vez que o assunto tratado é bastante amplo e complexo, sendo portanto impossível esgotá-lo num único trabalho, ficam ainda muitos pontos a serem explorados e aperfeiçoados em trabalhos futuros, alguns dos quais são mencionados a seguir:

- . Realização de diversas pesquisas junto aos consumidores. A experiência e sensibilidade que por certo advirão da execução de tais pesquisas, em muito contribuirá para o aperfeiçoamento das metodologias e enfoques empregados nos levantamentos de dados que deverão ser feitos através de questionários cuidadosamente elaborados. No Anexo III apresentam-se, a título de sugestão, proposições para questionários destinados às classes de consumidores residenciais, industriais e comerciais.
- . Definição e cálculo dos custos indiretos das interrupções e análise da sua relação com os custos diretos.
- . Aperfeiçoamento do procedimento esboçado nos dois exemplos de aplicação apresentados no Capítulo VII, de modo a incluir na função custo a ser minimizada outras variáveis importantes, tais como o custo das perdas e a evolução da configuração do sistema ao longo do horizonte de planejamento contemplado.
- . Compatibilização de metodologias e critérios de planejamento para o sistema elétrico como um todo, envolvendo os subsistemas de geração, transmissão e distribuição. Só assim será possível garantir a obtenção do ponto de custo global mínimo.
- . Definição de metodologias capazes de incorporar ao processo de planejamento com custos mínimos, os efeitos de possíveis restrições financeiras e de definir critérios para priorização de obras.
- . Avaliação de eventuais prejuízos decorrentes da perda de qualidade de serviço, resultante de situações que conduzam a níveis de tensão e frequência indesejáveis.
- . Avaliação do impacto que a adoção de uma metodologia de planejamento com custos globais mínimos teria sobre os procedimentos e critérios normalmente usados no setor.

Ao finalizar, fica a esperança de que este trabalho tenha oferecido uma pequena contribuição para o estudo sistemático de um assunto bastante amplo e atual e de que o mesmo possa ser utilizado para promover a sua difusão entre aqueles que militam na área de planejamento de sistemas de distribuição.

ANEXO I

MATRIZ INSUMO-PRODUTO

AI.1 - Introdução

A análise econômica feita através do uso da chamada Matriz Insumo-Produto desenvolvida por Wassily Leontief permite identificar o encadeamento e a interdependência da produção dos diversos ramos de atividades que compõem o sistema econômico, com aplicações que vão desde atividades de planejamento e desenvolvimento macroeconômico até estudos em grandes empresas e problemas urbanos. (44)

Basicamente, em sua versão estática, a Matriz Insumo-Produto apresenta, para cada um dos diversos setores econômicos considerados, o fluxo de sua produção durante um determinado período de tempo, nomeadamente:

- . a parcela de sua produção que é destinada à satisfação da demanda final;
- . as parcelas de sua produção que são destinadas aos demais setores, servindo como insumo às produções destes últimos e também de si próprio.

A matriz descreve também a composição, para um dado setor, dos insumos adquiridos dos demais setores e dos valores adicionados à produção representados, por exemplo, pelos salários pagos, pelos custos do capital e impostos.

No item a seguir é apresentada a formulação básica da Matriz Insumo-Produto, necessária para uma melhor compreensão do desenvolvimento matemático empregado no Capítulo II.

O leitor interessado poderá obter na literatura específica maior aprofundamento do tema, indicando-se, por exemplo, as referências (42,44,79-82) usadas na elaboração deste Anexo.

AI.2 - Formulação Matemática da Matriz Insumo-Produto

A Matriz Insumo-Produto, como aquela utilizada para o cálculo dos custos de restrição de energia no Capítulo II, pode ser representada esquematicamente tal como indicado no Quadro AI.1, onde foi considerado um sistema econômico composto de n setores produtivos e m fatores de produção. (42)

| | | Setores de Destino | | | | | | Valor Total da Produção |
|-------------------------|----------|-----------------------|----------|----------|-----|----------|------------------|-------------------------------|
| | | Demanda Intermediária | | | | | Demanda Final | |
| | | 1 | 2 | 3 | ... | n | | |
| SETORES DE ORIGEM | 1 | X_{11} | X_{12} | X_{13} | | X_{1n} | d_1 | X_1 |
| | 2 | X_{21} | X_{22} | X_{23} | | X_{2n} | d_2 | X_2 |
| | 3 | X_{31} | X_{32} | X_{33} | | X_{3n} | d_3 | X_3 |
| | \vdots | | | | | | | |
| | n | X_{n1} | X_{n2} | X_{n3} | | X_{nn} | d_n | X_n |
| VALORES ADICIONAIS | 1 | V_{11} | V_{12} | V_{13} | | V_{1n} | | |
| | 2 | V_{21} | V_{22} | V_{23} | | V_{2n} | | |
| | 3 | V_{31} | V_{32} | V_{33} | | V_{3n} | | |
| | \vdots | | | | | | | |
| | m | V_{m1} | V_{m2} | V_{m3} | | V_{mn} | | |
| Valor Total da Produção | | X_1 | X_2 | X_3 | ... | X_n | | |

Quadro AI.1 - Representação da Matriz Insumo-Produto. (42)

No quadro anterior, as variáveis utilizadas podem ser definidas da seguinte maneira:

X_i - produção total do setor i , em Cz\$

X_{ij} - produção do setor i absorvida pelo setor j , correspondendo, portanto, a uma demanda intermediária de produtos do setor i . Se, de modo semelhante, o elemento X_{ij} for considerado como a parcela da produção do setor i destinada ao setor j estará caracterizada, através destes elementos, a produção intermediária do setor i , em Cz\$

d_i - demanda final do setor i , corresponde à produção destinada ao consumo final, formação de capital, consumo do

governo, às exportações e variações de estoque, em Cz\$

V_{ij} - valor adicionado correspondente ao fator de produção i pelo setor j durante o seu processo produtivo, em Cz\$

Do Quadro AI.1 podem ser estabelecidas as seguintes relações fundamentais do modelo considerado:

$$X_{i1} + X_{i2} + \dots + X_{in} + d_i = X_i \quad (\text{AI.1})$$

$$X_{1i} + X_{2i} + \dots + V_{1i} + V_{2i} + \dots + V_{mi} = X_i \quad (\text{AI.2})$$

$$V_{ji} + V_{j2} + \dots + V_{jn} = V_j \quad (\text{AI.3})$$

A equação (AI.1) estabelece que o somatório da demanda intermediária e da demanda final de cada setor i é igual ao valor de sua produção total.

A equação (AI.2) estabelece que a produção total do setor i é igual ao somatório dos valores dos produtos adquiridos dos diversos setores que servem como insumos às suas atividades mais os valores correspondentes à remuneração dos m fatores de produção.

A equação (AI.3) indica que o valor agregado total correspondente ao fator de produção j , V_j , é igual ao somatório das parcelas referentes a cada um dos setores produtivos considerados.

Uma hipótese básica feita pelo modelo é de que variações de produção de um setor j devem ser acompanhadas por variações dos insumos necessários à sua produção de maneira proporcional aos valores registrados na Matriz Insumo-Produto. Isto pode ser expresso através das equações abaixo:

$$\Delta X_{ij} = a_{ij} \Delta X_j \quad (\text{AI.4})$$

$$\Delta V_{ij} = v_{ij} \Delta X_j \quad (\text{AI.5})$$

com a_{ij} e v_{ij} constantes, pode-se escrever para os elementos X_{ij} e V_{ij} :

$$X_{ij} = a_{ij} X_j \quad (\text{AI.6})$$

$$V_{ij} = v_{ij} X_j \quad (\text{AI.7})$$

Os coeficientes a_{ij} são denominados de coeficientes técnicos de produção e correspondem ao acréscimo da demanda por parte do setor j de produtos do setor i para um aumento unitário na produção do setor j .

A partir das equações (AI.1) e (AI.6) o seguinte conjunto de equações pode ser escrito:

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n + d_1 \\ X_2 &= a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n + d_2 \\ &\vdots \\ X_n &= a_{n1}X_1 + a_{n2}X_2 + \dots + a_{nn}X_n + d_n \end{aligned} \right\} \quad (\text{AI.8})$$

Colocando-se as expressões acima em forma matricial, vem:

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{bmatrix} \quad (\text{AI.9})$$

ou

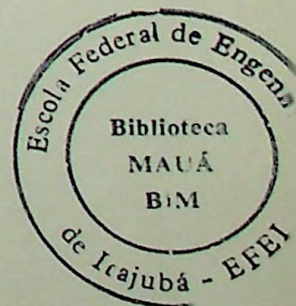
$$\underline{X} = \underline{A} \underline{X} + \underline{D} \quad (\text{AI.10})$$

\underline{A} - matriz composta pelos coeficientes técnicos de produção, a_{ij} , chamada de Matriz Tecnológica ou de Coeficientes Técnicos de Produção

\underline{X} - vetor de produção total

\underline{D} - vetor de demanda final

Resolvendo a equação matricial (AI.10), vem:



$$\underline{X} - \underline{A}\underline{X} = \underline{D}$$

$$(\underline{I} - \underline{A})\underline{X} = \underline{D}$$

$$\underline{X} = (\underline{I} - \underline{A})^{-1}\underline{D} \quad (\text{AI.11})$$

com \underline{I} sendo a matriz identidade de ordem igual à da matriz \underline{A} .

Assim, uma vez dado o vetor de demanda final \underline{D} e a matriz tecnológica \underline{A} , pode-se determinar o vetor de produção total \underline{X} através da equação (AI.11).

A matriz $(\underline{I} - \underline{A})^{-1}$ é também conhecida como Matriz de Requisitos Diretos e Indiretos e geralmente é representada pela matriz \underline{B} :

$$(\underline{I} - \underline{A})^{-1} = \underline{B} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix} \quad (\text{AI.12})$$

e a equação (AI.11) fica:

$$\underline{X} = \underline{B} \cdot \underline{D} \quad (\text{AI.13})$$

O elemento b_{ij} da matriz \underline{B} é igual ao incremento na produção do setor i necessário para satisfazer um aumento unitário da demanda final do setor j .

A partir das equações (AI.3) e (AI.7) pode ser escrito o seguinte conjunto de equações:

$$\left. \begin{aligned} v_1 &= v_{11}X_1 + v_{12}X_2 + \dots + v_{1n}X_n \\ v_2 &= v_{21}X_1 + v_{22}X_2 + \dots + v_{2n}X_n \\ &\vdots \\ v_m &= v_{m1}X_1 + v_{m2}X_2 + \dots + v_{mn}X_n \end{aligned} \right\} \quad (\text{AI.14})$$

ou em forma matricial:

$$\underline{V} = \underline{R} \underline{X} = \underline{R} \underline{B} \underline{D} = \underline{R}(\underline{I} - \underline{A})^{-1} \underline{D} \quad (\text{AI.15})$$

onde:

\underline{R} - matriz (m x n) de coeficientes de valor agregado, v_{ij} , correspondentes aos m fatores de produção para os n setores produtivos

\underline{V} = vetor dos valores agregados totais para cada um dos fatores de produção, V_j

O valor agregado total, medido em termos de Produto Interno Bruto, Produto Interno Líquido ou Renda Interna, pode ser obtido através da utilização de um vetor S de correção de preços de mercado para preços sociais:

$$P = \underline{S}_t \cdot \underline{V} \quad (\text{AI.16})$$

A equação (AI.16) nos indica que durante o período de tempo considerado na formação da Matriz Insumo-Produto o atendimento da demanda final corresponde à geração de valor adicionado total, medido a preços sociais, igual a P.

Para finalizar, devem ser salientadas as duas hipóteses básicas usadas no desenvolvimento do modelo de Insumo-Produto aqui apresentado: ⁽⁸¹⁾

- . "... A primeira é a de que cada setor produz apenas um produto homogêneo, ou melhor, a composição da produção, segundo os bens produzidos em cada setor ("product mix") é fixa". ⁽⁸¹⁾ Assim, toda vez que se deseja estudar especificamente um dado tipo de indústria ou produto devemos ter explicitamente uma linha e uma coluna que lhes sejam correspondentes.
- . "... A segunda é a de que a função de produção é de proporções fixas, isto é, não existe a possibilidade de substituição entre os insumos na produção. A função de produção associada ao Modelo Insumo-Produto requer, portanto, uma quantidade mínima de cada insumo por unidade de produção". ⁽⁸¹⁾ Esta hipótese implica que no caso de aumento ou diminuição da produção de um dado setor, não é possível atender estas variações com uma composição de insumos diferente daquela já existente e que está indicada na própria

Matriz de Insumo-Produto.

1.1 - Introdução

A matriz de Insumo-Produto é uma ferramenta fundamental para a análise econômica, permitindo a quantificação das relações de insumo e produto entre as diferentes atividades de uma economia. Esta matriz é utilizada para determinar a estrutura produtiva de um país, bem como para avaliar o impacto de mudanças tecnológicas e políticas econômicas. A matriz é composta por linhas e colunas, onde cada linha representa uma atividade econômica e cada coluna representa um insumo. Os valores na matriz indicam a quantidade de insumo necessária para produzir uma unidade de produto.

Esta matriz é utilizada para determinar a estrutura produtiva de um país, bem como para avaliar o impacto de mudanças tecnológicas e políticas econômicas. A matriz é composta por linhas e colunas, onde cada linha representa uma atividade econômica e cada coluna representa um insumo. Os valores na matriz indicam a quantidade de insumo necessária para produzir uma unidade de produto.

A matriz de Insumo-Produto é uma ferramenta fundamental para a análise econômica, permitindo a quantificação das relações de insumo e produto entre as diferentes atividades de uma economia. Esta matriz é utilizada para determinar a estrutura produtiva de um país, bem como para avaliar o impacto de mudanças tecnológicas e políticas econômicas. A matriz é composta por linhas e colunas, onde cada linha representa uma atividade econômica e cada coluna representa um insumo. Os valores na matriz indicam a quantidade de insumo necessária para produzir uma unidade de produto.

1.2 - Metodologia

A metodologia utilizada para a construção da matriz de Insumo-Produto envolve a coleta de dados sobre as atividades econômicas e os insumos utilizados. Os dados são organizados em uma matriz, onde cada linha representa uma atividade econômica e cada coluna representa um insumo. Os valores na matriz indicam a quantidade de insumo necessária para produzir uma unidade de produto. A metodologia também envolve a utilização de técnicas estatísticas para a análise dos dados e a determinação da estrutura produtiva da economia.

ANEXO II

TEORIA DO CONSUMIDOR E O CASO SIMPLES DA ESCOLHA

ENTRE TRABALHO E LAZER

AII.1 - Introdução

A finalidade deste anexo é apresentar alguns conceitos que são necessários a um melhor entendimento da metodologia usada por Musasinghe⁽³⁾ para a definição dos custos das interrupções para os consumidores residenciais como mostrada no Capítulo III. Esta metodologia tem por base a determinação do custo do lazer, o qual é obtido a partir da análise do comportamento dos trabalhadores frente a escolha entre trabalho (renda) e lazer.

Para tanto, é apresentada aqui, resumidamente, a Teoria do Consumidor e alguns de seus conceitos básicos tais como os da função utilidade, curvas de indiferença e taxa marginal de substituição. Finalizando, apresenta-se um exemplo simples, e clássico, da escolha entre trabalho (renda) e lazer.

Não se pretende fornecer aqui discussões mais profundas sobre os conceitos envolvidos do que o julgado necessário à finalidade deste anexo. O leitor interessado em se aprofundar no assunto poderá recorrer a textos de Microeconomia ou a publicações especializadas em Economia, sendo que na bibliografia ao final da dissertação encontram-se indicados alguns livros básicos que cobrem a matéria aqui tratada. (51, 52, 82, 83)

AII.2 - Conceitos Básicos

A procura de um consumidor por uma dada mercadoria depende de muitos fatores, entre os quais se destacam o preço da mercadoria e dos demais bens disponíveis no mercado, a sua renda e outras características que definem o seu comportamento individual revelando a sua preferência por um ou outro bem, a qual, por sua vez, é determinada por fatores de origem social, econômica

ca, física e cultural entre outras.

Partindo da pressuposição de que tais preferências sejam conhecidas, a Teoria do Consumidor procura determinar como a renda de um consumidor se distribui na aquisição dos diversos bens que no conjunto ir-lhe-ão proporcionar um certo grau de "satisfação". De acordo com a referência (52), a Teoria do Consumidor permite obter a solução para o seguinte problema:

"Cada indivíduo conhece ou tem uma expectativa razoavelmente aproximada do montante de seus rendimentos, incluindo aí salários, lucros, juros e aluguéis. Este mesmo indivíduo tem preferências com relação aos bens e serviços ofertados no mercado. Surge, portanto, o problema de como obter a maior satisfação possível pela aquisição de um conjunto de bens e serviços sujeito à limitação imposta pela renda disponível supondo-se

- a) que as preferências do consumidor possam ser descritas por uma função de utilidade, que expresse a satisfação por ele obtida ao consumir um conjunto de bens e de serviços; e
- b) que a renda do consumidor, num determinado período, seja conhecida.

Assim, o problema da Teoria do Consumidor é a maximização da função de utilidade sujeita à restrição de renda, ou seja

$$\text{maximizar} \quad U = U(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (\text{AII.1})$$

$$\text{com a condição} \quad \sum_{i=1}^n X_i P_i = R \quad (\text{AII.2})$$

onde X_i é a quantidade do produto i , P_i é o seu preço, fixado exogenamente no mercado, e R é a renda do consumidor, também exogenamente determinada."

AII.2.1 - A utilidade

Para a resolução do problema anterior torna-se necessário avaliar a função utilidade $U=U(X_1, X_2, \dots, X_n)$ e com este propósito surgiram duas teorias: a Teoria Cardinal, mais antiga, e a Teoria Ordinal da Utilidade, mais recente.

A primeira considera que a utilidade é um conceito passível de ser quantificado; enquanto a segunda advoga que, da dos os objetivos a atingir pela análise econômica a ser desenvolvida, não se torna necessário ter noção da grandeza desta utilidade, bastando conhecer uma ordenação qualitativa entre as diversas utilidades, U_1 , U_2 e U_3 por exemplo, de modo que se possa estabelecer uma relação da forma $U_1 \geq U_2 \geq U_3$. (52,83)

Na Teoria Cardinal, a utilidade total de um conjunto de produtos é obtida através da soma das utilidades associadas a cada um dos produtos, ou seja, a utilidade é aditiva:

$$U(X_1, X_2, \dots, X_n) = U(X_1) + U(X_2) + \dots + U(X_n) \quad (\text{AII.3})$$

onde as utilidades $U(X_1)$, $U(X_2)$, ..., $U(X_n)$ são medidas em "utils".

Algumas desvantagens da Teoria Cardinal, no entanto, podem ser apontadas, entre as quais de destacam:

- . Não existe até o momento uma forma de medição que permita afirmar inequivocamente que uma pessoa prefere um bem duas vezes mais do que outro.
- . A aditividade da função utilidade implica na interdependência entre as utilidades, ou seja, a utilidade oferecida por um produto X_1 não depende da quantidade consumida de outro produto X_2 , o que nem sempre é aceitável. É o caso, por exemplo, de se determinar a utilidade do consumo de café sem se considerar o consumo de açúcar. (52)

Por isso e porque a compreensão dos conceitos descritos posteriormente não necessita da quantificação da utilidade, a mesma será tratada de acordo com a Teoria Ordinal, a qual se baseia nas chamadas curvas de indiferença.

AII.2.2 - As curvas de indiferença

A uma dada combinação de certas quantidades de produtos X_1 , X_2 , ..., X_n , pode-se atribuir uma determinada utilidade $U=U(X_1, X_2, \dots, X_n)$, não sendo difícil aceitar que podem existir combinações de outras quantidades dos mesmos produtos que proporcionem a mesma satisfação ao consumidor.

Uma curva de indiferença é justamente aquela que representa as diversas combinações de dois ou mais produtos que o

ferecem ao consumidor a mesma utilidade, de modo que este seja indiferente em consumir qualquer uma destas combinações. A Figura AII.1 abaixo mostra uma curva de indiferença quando se considera apenas dois bens, X_1 e X_2 :

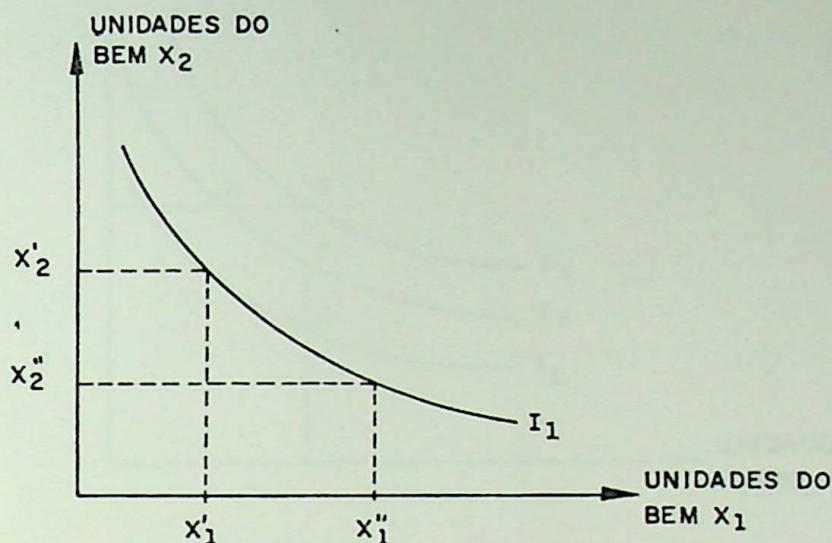


Figura AII.1 - Exemplo de uma curva de indiferença

À curva I_1 pode-se associar uma utilidade U_1 , constante, de modo que:

$$U(X'_1, X'_2) = U(X''_1, X''_2) = U_1 = \text{constante} \quad (\text{AII.4})$$

As curvas de indiferença apresentam algumas propriedades importantes que se enumeram seguidamente: (52,83)

- . Duas curvas de indiferença não se podem cruzar.
- . A cada combinação de certas quantidades de bens poderá ser associada uma curva de indiferença.
- . A curva de indiferença tem inclinação negativa.
- . As curvas de indiferença são convexas em relação à origem, como aquela representada na Figura AII.1. -

Como consequência da segunda propriedade poderão ser traçadas não apenas uma, mas infinitas curvas de indiferença, formando-se, então, o que se chama de mapa de curvas de indiferença como mostra a figura AII.2 a seguir.

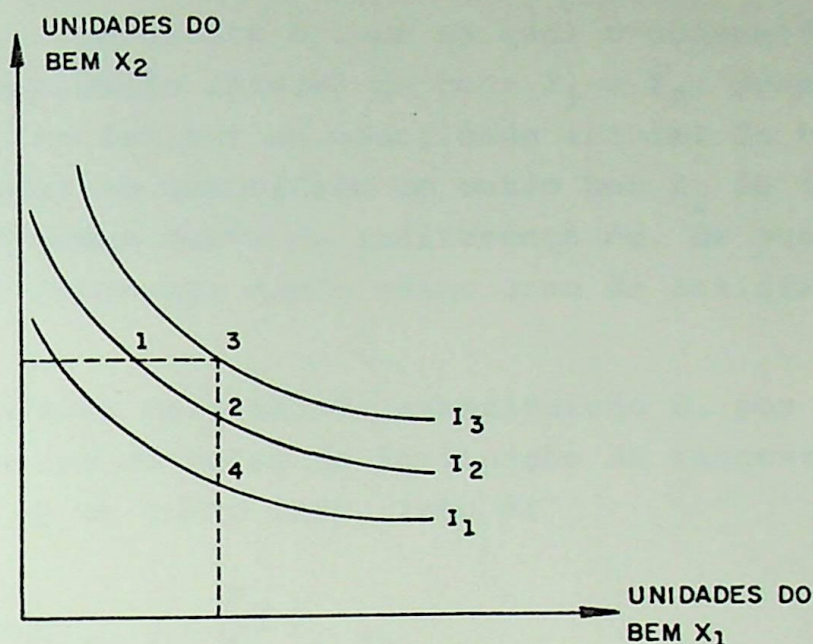


Figura AII.2 - Mapa de curvas de indiferença

A quarta propriedade é justificada pelo chamado Princípio da Diversidade do Consumo segundo o qual os consumidores tendem a diversificar suas aquisições ao procurar maximizar a sua utilidade. Pode ser demonstrado⁽⁸³⁾ que curvas de indiferença côncavas levarão sempre o consumidor, ao maximizar sua utilidade, a adquirir somente um único bem - a chamada "especialização no consumo" ou "solução de canto", o que contraria o comportamento observado dos consumidores. As curvas convexas, entretanto, permitem tanto as "soluções de canto" quanto os casos mais gerais de diversidade de consumo.⁽⁸³⁾

Outro princípio usado na Teoria do Consumidor é o chamado Princípio da Insaciabilidade do Consumidor que estabelece que um consumidor nunca estará totalmente satisfeito com uma dada combinação de bens. Toda vez que uma unidade de qualquer um dos bens considerados for adicionada a esta combinação, a sua satisfação ou utilidade total aumentará.

Por este raciocínio pode-se verificar facilmente que a utilidade, U_3 , associada a curva I_3 na Figura AII.2 é maior que as utilidades, U_2 e U_1 , associadas às curvas I_2 e I_1 , respectivamente. Verifica-se ainda que $U_3 > U_2 > U_1$.

AII.2.3 - A taxa marginal de substituição

A taxa marginal de substituição do bem X_2 pelo bem X_1 , TMS_{X_2, X_1} , representa a taxa na qual o consumidor, possuindo uma certa combinação inicial de bens X_1 e X_2 , deseja compensar uma redução (acréscimo) na quantidade inicial do bem X_1 com o aumento (redução) na quantidade do outro bem X_2 de forma que ele permaneça na mesma curva de indiferença ou, de outra maneira, de modo que ele permaneça com o mesmo grau de satisfação (U constante).

A taxa marginal de substituição é, por definição, igual ao negativo do valor da inclinação da tangente à curva de indiferença em um ponto dado. Isto é:

$$TMS_{X_2, X_1} = - \left. \frac{dX_2}{dX_1} \right|_{U=\text{cte}} \quad (\text{AII.5})$$

Para o caso de dois bens, X_1 e X_2 , a equação da curva de indiferença I é:

$$U(X_1, X_2) = C \quad (\text{AII.6})$$

Calculando o diferencial de U , resulta:

$$\partial U = \frac{\partial U}{\partial X_1} dX_1 + \frac{\partial U}{\partial X_2} dX_2 = 0 \quad (\text{AII.7})$$

onde $\frac{\partial U}{\partial X_1}$ e $\frac{\partial U}{\partial X_2}$ representam a utilidade marginal de X_1 e X_2 , respectivamente.

A utilidade marginal $\partial U / \partial X_1$ mede a variação da utilidade total U quando se varia a quantidade do bem X_1 de um valor infinitesimal, mantendo-se a quantidade do bem X_2 constante.

Rearranjando a equação (AII.7) resulta:

$$TMS_{X_2, X_1} = - \frac{dX_2}{dX_1} = \frac{\partial U / \partial X_1}{\partial U / \partial X_2} \quad (\text{AII.8})$$

ou seja, a taxa marginal de substituição entre os bens X_1 e X_2 é igual ao inverso da razão entre as suas utilidades marginais.

Numa curva de indiferença convexa, verifica-se que a taxa marginal de substituição TMS_{X_2, X_1} decresce à medida que X_1 aumenta. Isto significa que, para adquirir unidades adicionais do bem X_1 , o consumidor estará disposto a ceder quantidades cada vez menores do bem X_2 , a fim de permanecer na mesma curva de indiferença.

Poderia ser dito que este comportamento está de acordo com um princípio estabelecido na Teoria Cardinal da Utilidade: o Princípio da Utilidade Marginal Decrescente ⁽⁵²⁾, o qual afirma que, quanto maior for a quantidade já consumida de um bem, menor será a utilidade fornecida por uma unidade adicional deste bem. Porém pode ser demonstrado ⁽⁸²⁾ que a taxa marginal de substituição decrescente é uma consequência da utilização de uma curva de indiferença convexa sem que seja necessário estabelecer-se qualquer hipótese ou princípio adicional quanto à utilidade marginal.

AII.2.4 - A restrição orçamentária

Para a resolução do problema inicial de otimização descrito no início do item AII.2, torna-se necessário formular a restrição orçamentária, que no caso geral pode ser escrita como em (AII.2).

No caso de apenas dois bens, X_1 e X_2 , tal restrição escreve-se na forma:

$$X_1 P_1 + X_2 P_2 = R \quad (\text{AII.9})$$

A Figura AII.3 apresenta um mapa hipotético de curvas de indiferença e a eventual restrição orçamentária.

A combinação de bens que maximizará a satisfação do consumidor será aquela que, além de pertencer à curva de indiferença mais alta possível, possa ser obtida com a renda R que ele dispõe.

Neste ponto de maximização, que no caso da Figura AII.3 é o ponto 1, a curva da restrição orçamentária confunde-se com a tangente à curva de indiferença.

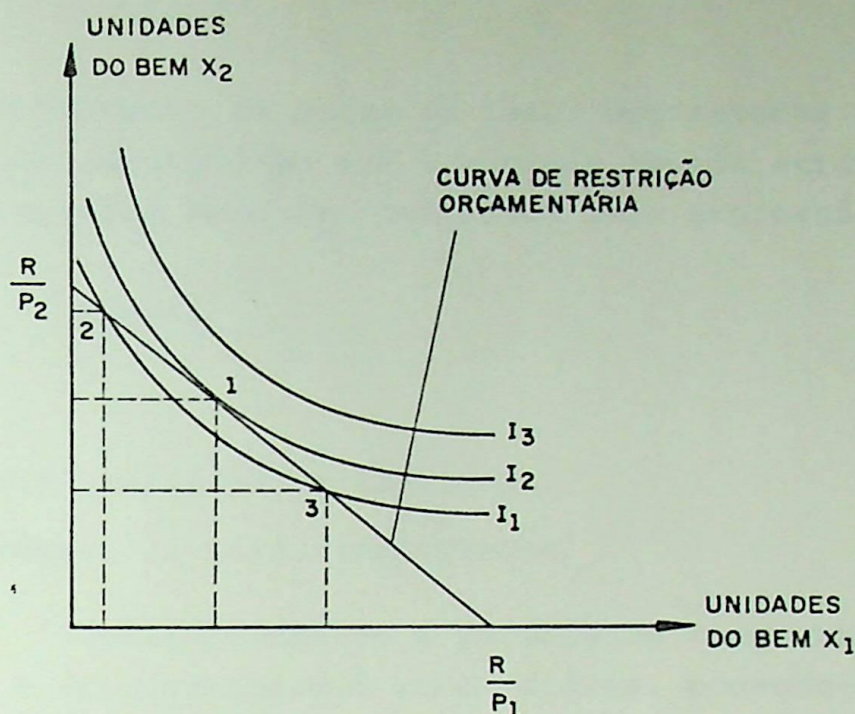


Figura AII.3 - Curva de restrição orçamentária

Observa-se ainda que, neste ponto, a taxa marginal de substituição, TMS_{X_2, X_1} , é igual ao valor absoluto da inclinação da reta que representa a restrição orçamentária. Assim:

$$TMS_{X_2, X_1} = \frac{P_1}{P_2} \quad (AII.10)$$

AII.3 - Uma Aplicação: A Escolha entre Trabalho (Renda) e Lazer

A aplicação apresentada neste item corresponde, embora de forma simplificada, àquela efetuada por Munasinghe⁽³⁾ e descrita no Capítulo III. Ela constitui um exemplo clássico encontrado nos livros textos que cobrem a Teoria do Consumidor. (52, 83)

O que se pretende é estudar a escolha do consumidor entre lazer e a renda por ele auferida ao dedicar o resto das horas disponíveis ao trabalho, ou seja, deseja-se estudar a sua oferta de trabalho. A renda auferida permitirá ao consumidor, por sua vez, adquirir outros bens, satisfazendo, assim, suas demais necessidades.

Neste caso, a função utilidade pode ser representada pela função:

$$U = U(R, L) \quad (\text{AII.11})$$

onde L é o número de horas de lazer desfrutadas pelo consumidor no período considerado e R é a renda obtida através de seu trabalho. Esta renda pode ser calculada pela expressão:

$$R = w \cdot T \quad (\text{AII.12})$$

onde:

w - taxa salarial, em Cz\$/hora

T - número de horas trabalhadas

Considerando-se o período de tempo analisado igual a um dia, R corresponderá à renda diária, podendo-se estabelecer a seguinte relação entre L e T :

$$L = 24 - T \quad (\text{AII.13})$$

Na Figura AII.4 abaixo estão representadas a curva de restrição orçamentária e um mapa de curvas de indiferença no caso em que os dois bens analisados são L e R .

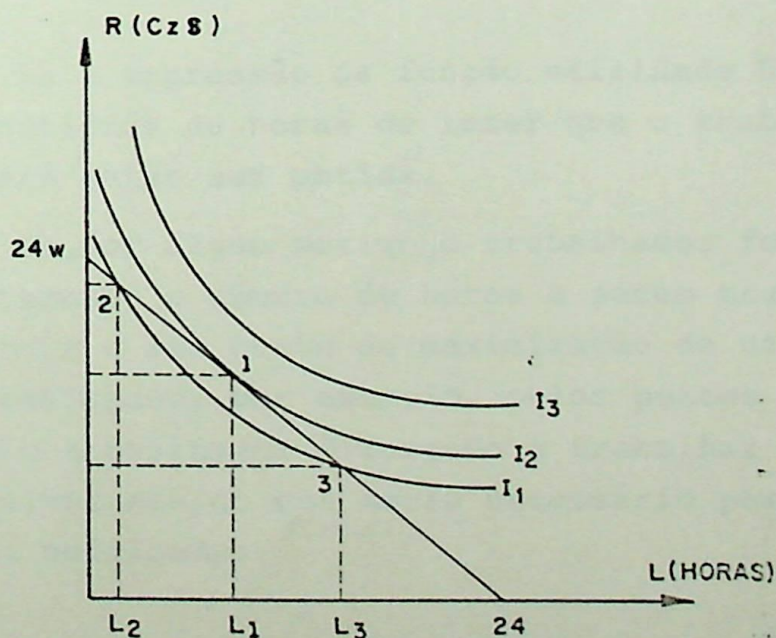


Figura AII.4 - Mapa de curvas de indiferença, $U(R, L) = \text{constante}$, e a curva de restrição orçamentária

Para determinar o número de horas de trabalho que maximiza a satisfação do consumidor, deve-se em primeiro lugar maximizar a função de utilidade U . Assim:

$$\frac{\partial U}{\partial T} = \frac{\partial U}{\partial R} \frac{\partial R}{\partial T} + \frac{\partial U}{\partial L} \frac{\partial L}{\partial T} = 0 \quad (\text{AII.14})$$

mas de acordo com (AII.12) e (AII.13) vem:

$$\frac{\partial U}{\partial R} w + \frac{\partial U}{\partial L} (-1) = 0 \quad (\text{AII.15})$$

e

$$\frac{\partial U}{\partial L} = \frac{\partial U}{\partial R} w \quad (\text{AII.16})$$

A taxa marginal de substituição da renda por lazer, no ponto de maximização da utilidade U , pode ser agora diretamente obtida. De acordo com a equação (AII.8), resulta:

$$\text{TMS}_{R,L} = \frac{\partial U / \partial L}{\partial U / \partial R} = w \quad (\text{AII.17})$$

Pela expressão acima conclui-se que no ponto de maximização da utilidade do consumidor, ponto 1 na Figura AII.4, a taxa marginal de substituição $\text{TMS}_{R,L}$ é igual a taxa salarial horária, w .

Se a expressão da função utilidade $U=U(R,L)$ for conhecida, a quantidade de horas de lazer que o trabalhador deve desfrutar poderá então ser obtida.

Se, por algum motivo, o trabalhador for impedido de escolher livremente o número de horas a serem trabalhadas, ele poderá não atingir o seu ponto de maximização de utilidade. São os casos representados, por exemplo, pelos pontos 2 e 3 da Figura AII.4 onde o trabalhador é forçado a trabalhar mais e menos horas, respectivamente, do que seria necessário para que ele maximizasse a sua utilidade.

ANEXO III

PROPOSTAS DE QUESTIONÁRIOS PARA O CÁLCULO DOS CUSTOS DAS INTERRUPÇÕES

Neste anexo são apresentadas três proposições de ques
tionários a serem distribuídos entre consumidores residenciais,
industriais e comerciais, com a finalidade de determinar os res
pectivos custos das interrupções e de analisar quais as influên
cias que certos fatores exercem no cálculo de tais custos.

QUESTIONÁRIO PARA CONSUMIDORES RESIDENCIAIS

1 - Qual o tipo de sua residência?

☐ casa

☐ apartamento

☐ outros (Especificar: _____)

2 - Qual é a área construída da residência? _____ m²

3 - Qual é o seu consumo mensal de energia elétrica? Dê os valores correspondentes aos 3 últimos meses.

. mês: _____ : _____ KWh - Cz\$ _____

. mês: _____ : _____ KWh - Cz\$ _____

. mês: _____ : _____ KWh - Cz\$ _____

4 - Quantas pessoas moram na residência? _____

5 - Quantas pessoas trabalham fora? _____

Qual é o horário de trabalho destas pessoas?

1ª: _____

2ª: _____

3ª: _____

6 - Qual é a renda mensal líquida total da família?

Cz\$ _____

7 - Existe algum empregado doméstico? Qual é (são) o(s) seu(s) respectivo(s) salário(s)?

. Ocupação: _____ Salário: Cz\$ _____

. Ocupação: _____ Salário: Cz\$ _____

8 - Caso interrupções de energia elétrica com as durações indicadas no Quadro 1 ocorressem entre 8:00 e 18:00 horas, como elas afetariam as atividades domésticas? Considere a possibilidade de se executarem tais tarefas, ainda que parcialmente, durante a interrupção ou logo após o restabelecimento do fornecimento de energia elétrica. Considere também que existe a possibilidade de que a execução de outras tarefas que não dependam de eletricidade podem ser antecipadas devido à interrupção (varrer ou lavar áreas de serviço, por exemplo).

| Duração da Interrupção | As atividades domésticas são afetadas: | | | | Atividades domésticas afetadas |
|------------------------|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| | Completamente | Parcialmente | Pouco | Nada | |
| 10 minutos | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| 20 minutos | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| 1 hora | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| 2 horas | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| 4 horas | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| 8 horas | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| mais de 8 horas | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |

Quadro 1 - Interferência das interrupções de energia elétrica nas atividades domésticas



- 9 - Existe algum aparelho de ar condicionado ou similar na resi
dência?

☐ Sim ☐ Não

Em caso afirmativo, qual o seu valor? Cz\$ _____

- 10 - Qual a duração mínima de interrupção de energia elétrica, a partir da qual o seu bem estar ou conforto começa a ser re
duzido de modo significativo pela inoperância dos aparelhos mencionados na pergunta anterior? Considere a possível in
fluência das diferentes estações do ano de acordo com a
tabela abaixo. Para facilitar a resposta procure lembrar-se dos efeitos de interrupções de energia elétrica já ocorridas.

| Estação do ano | Duração mínima da interrupção, em horas |
|----------------|---|
| verão | |
| inverno | |
| primavera | |
| outono | |

- 11 - Quais as horas destinadas ao lazer durante o período notur
no?

. de segunda à sexta feira:

das _____ às _____ horas

. sábado e domingo:

das _____ às _____ horas

- 12 - Em caso de horário de trabalho noturno, quais os períodos do dia dedicados a atividades de lazer dentro da residên
cia?

das _____ às _____ horas

- 13 - Quais as principais atividades desenvolvidas durante estas horas de lazer e em que períodos são realizadas?

. assistir TV..... das _____ às _____ horas

. ouvir rádio..... das _____ às _____ horas

. leitura..... das _____ às _____ horas

. conversação..... das _____ às _____ horas

. preparo de refeições. das _____ às _____ horas

. outras: _____: das _____ às _____ horas

- 14 - Quais as horas destinadas ao lazer dentro da residência nos fins de semana, fora do período da noite?
- das _____ às _____ horas
- 15 - Quais as principais atividades desenvolvidas durante estas horas de lazer e em que períodos são realizadas?
- . assistir TV..... das _____ às _____ horas
- . ouvir rádio..... das _____ às _____ horas
- . leitura..... das _____ às _____ horas
- . conversaço..... das _____ às _____ horas
- . preparação de refeições. das _____ às _____ horas
- . outras: _____ das _____ às _____ horas
- 16 - Qual o horário crítico em que uma interrupção é mais indesejável durante os períodos dedicados ao lazer?
- . de segunda à sexta-feira: das _____ às _____ horas
- . sábado e domingo: durante o dia: das _____ às _____ horas
- durante a noite: das _____ às _____ horas
- 17 - Quais das atitudes abaixo relacionadas (uma ou mais) seriam tomadas caso uma interrupção inesperada de energia elétrica, com uma das durações indicadas no Quadro 2, ocorresse durante os horários críticos de lazer (ver perguntas 9, 10 e 12)? Considere, também, de acordo com o Quadro 2, que a frequência destas interrupções durante o ano pode variar.
- A - comprar uma vela a um preço de Cz\$ XX,XX
- B - comprar uma lanterna a um preço de Cz\$ XX,XX
- C - comprar um pequeno gerador para atender a carga de iluminação e de aparelhos eletrodomésticos a um preço de Cz\$ XX, XX
- D - Outras. Quais? _____

| Número de interrupções por ano | Duração da interrupção | Atitudes tomadas | | | |
|--------------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | A | B | C | D |
| 2 interrupções/ano | 10 minutos | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 20 minutos | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 1 hora | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 2 horas | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 4 horas | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 8 horas | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | mais de 8 horas | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4 interrupções/ano | 10 minutos | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 20 minutos | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 1 hora | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 2 horas | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 4 horas | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 8 horas | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | mais de 8 horas | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8 interrupções/ano | 10 minutos | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 20 minutos | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 1 hora | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 2 horas | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 4 horas | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 8 horas | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | mais de 8 horas | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Quadro 2 - Atitudes tomadas frente à possibilidade de ocorrência de interrupções de energia elétrica de diferentes durações e frequências

- 18 - Os inconvenientes provocados por interrupções que ocorrem fora dos períodos críticos dedicados ao lazer são diferentes daqueles que ocorrem durante estas horas?

☐ Sim ☐ Não

Em caso afirmativo, indique o quanto interrupções, nestes horários, são mais ou menos prejudiciais do que interrupções durante o horário crítico de lazer, atribuindo-lhes um grau entre 0 a 10, considerando os valores indicados na pergunta anterior correspondentes ao grau 10.

. interrupções fora do horário crítico destinado ao lazer:

Grau: _____

- 19 - Os inconvenientes provocados durante as horas destinadas ao lazer dependem do mês em que a interrupção ocorre?

☐ Sim ☐ Não

Em caso afirmativo, indique quais os meses onde as interrupções são mais prejudiciais, atribuindo-lhes um grau entre 0 e 10.

| Mês | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Grau | | | | | | | | | | | | |

- 20 - Quais os prejuízos que, em média, interrupções de energia elétrica de durações iguais às abaixo indicadas podem provocar, tais como perdas de alimentos mantidos em geladeiras e/ou freezers e danificações de aparelhos eletrodomésticos?

Duração da interrupção

Prejuízo (Cz\$)

10 minutos

20 minutos

1 hora

2 horas

4 horas

8 horas

mais de 8 horas

QUESTIONÁRIO PARA CONSUMIDORES INDUSTRIAIS

A - DADOS GERAIS

A.1 - Nome da Indústria:

A.2 - Ramo principal de atividades:

Nota: Se a indústria possui mais de uma instalação com alimenta-
ções independentes entre si e se os prejuízos provocados
por uma interrupção no fornecimento de energia de cada uma
destas instalações não podem ser tratados igualmente, de-
ve-se utilizar tantos questionários quantos necessários.

A.3 - Consumo anual de energia elétrica: _____ MWh

A.4 - Demanda máxima de energia elétrica: _____ KW

B - DADOS DA PRODUÇÃO

B.1 - Valor da produção anual: Cz\$ _____ x 10³B.2 - Número de horas trabalhadas (de produção) por ano:
_____ horasB.3 - Contribuição para o valor adicionado da mão de obra, capi-
tal e outros, em %:

. Mão de obra: _____ %

. Capital e outros: _____ %

B.4 - Qual é a razão entre o valor médio do custo da mão de obra
horária durante horas extras e o valor correspondente du-
rante as horas normais de trabalho?

$$\frac{\text{"salário"/hora normal de trabalho}}{\text{"salário"/hora extra}} =$$

C - EQUIPAMENTOS DE EMERGÊNCIA OU STANDBY

C.1 - Existe algum equipamento de emergência ou tipo standby instalado?

☐ Sim

☐ Não

C.2 - Se Sim, preencha a Tabela 1 a seguir indicando na coluna "Finalidade" o seguinte código:

01. se o equipamento é destinado à manutenção total da produção durante um certo período de tempo;

02. idem, para a manutenção parcial da produção;

03. se o equipamento é destinado a minimização de riscos e danos aos trabalhadores e instalações, redução de prejuízos provocados em perdas de matérias-primas, iluminação de emergência, etc.;

04. se o equipamento atende aos itens 01 e 03 acima;

05. se o equipamento atende aos itens 02 e 03 acima.

D - TEMPO MÁXIMO ADMISSÍVEL DE UMA INTERRUPÇÃO QUE NÃO CAUSE QUALQUER PREJUÍZO À INDÚSTRIA :

_____ horas _____ minutos _____ segundos

E - VALOR DOS CUSTOS DAS INTERRUPÇÕES

Para preenchimento da Tabela 2 a seguir, admita que interrupções inesperadas com durações iguais às indicadas ocorram durante um dia normal de produção no momento em que os prejuízos provocados por tais interrupções sejam MÁXIMOS.

No anexo que se encontra no final deste questionário são dadas orientações sobre os fatores que devem ser considerados no correto preenchimento da Tabela 2, a qual servirá como base de comparação para os itens seguintes.

| Equipamento | Tipo | Finalidade | Potência nominal (KW) | Custo total (10 ³ Cz\$) | Custo anual de manutenção (Cz\$) | Custo horário de operação (Cz\$/h) | | | | |
|-------------|------|------------|-----------------------|------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-------------|-----------|--------|-------|
| | | | | | | Combustível | Mão-de-obra | Materiais | Outros | Total |
| 1 | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | |

Tabela 1 - Dados gerais sobre equipamentos de emergência ou standby

| Duração da interrupção | Perda de Produção durante a interrupção (ver nota 1 do anexo) (Cz\$) | Tempo de reinício de atividades (ver nota 2 do anexo) | Perda de produção durante o tempo de reinício (ver nota 3 do anexo) (Cz\$) | Materiais e equipamentos danificados (ver nota 4 do anexo) (Cz\$) | Custos adicionais - com mão-de-obra durante horas extras (ver nota 5 do anexo) (Cz\$) | Custos extras de limpeza e manutenção (ver nota 6 do anexo) (Cz\$) |
|------------------------|--|---|--|---|---|--|
| ≤ 1 mín | | __ h __ mín | | | | |
| 10 mín | | __ h __ mín | | | | |
| 20 mín | | __ h __ mín | | | | |
| 30 mín | | __ h __ mín | | | | |
| 1 hora | | __ h __ mín | | | | |
| 2 horas | | __ h __ mín | | | | |
| 4 horas | | __ h __ mín | | | | |
| 8 horas | | __ h __ mín | | | | |

Tabela 2 - Custos máximos das interrupções - ver observações para preenchimento no anexo ao questionário

F - VARIAÇÃO DOS CUSTOS DAS INTERRUPÇÕES

F.1 - Variação com período do dia

Indique na Tabela 3 a seguir qual a variação, em %, dos prejuízos provocados por uma interrupção inesperada no fornecimento de eletricidade segundo o período do dia, tomando como base os valores indicados na Tabela 2 anterior.

Ao período do dia correspondente ao valor máximo indicado na Tabela 2 deverá ser assinalado um valor igual a 100% na Tabela 3.

Períodos do dia considerados:

1º Período: das 8 às 18 horas

2º Período: das 18 às 24 horas

3º Período: das 24 às 8 horas

F.2 - Variação com os dias da semana

Da mesma forma que no item anterior, indique na Tabela 4 a seguir a variação média, em %, dos prejuízos máximos indicados na Tabela 2 quando se consideram os diferentes dias da semana.

F.3 - Variação com os meses do ano

O nível de produção assim como o processo de fabricação utilizado podem ser alterados segundo os diversos meses do ano e, conseqüentemente, os efeitos e os prejuízos associados a uma interrupção no fornecimento de eletricidade podem ser diferentes daqueles indicados na Tabela 2.

Indique na Tabela 5 a seguir a variação média, em %, para os prejuízos máximos das interrupções segundo os meses do ano, tendo como base (100%) os valores da Tabela 2.

F.4 - Se a concessionária avisasse antecipadamente a ocorrência de uma interrupção no fornecimento de energia, os prejuízos poderiam ser amenizados?

☐ Sim

☐ Não

Se Sim, indique na Tabela 6 a seguir qual a redução média dos prejuízos de acordo com o período de antecedência em que é comunicada uma interrupção.

| Duração da interrupção | Período de ocorrência | Perda de produção durante a interrupção (%) | Tempo de reinício de atividades * (horas) | Perda de produção durante o tempo de reinício (%) | Materiais e equipamentos danificados (%) | Custos adicionais com mão-de-obra durante horas extras (%) | Custos extras de limpeza e manutenção (%) |
|------------------------|-----------------------|---|---|---|--|--|---|
| 1 min | 1º Período | | | | | | |
| | 2º Período | | | | | | |
| | 3º Período | | | | | | |
| 10 min | 1º Período | | | | | | |
| | 2º Período | | | | | | |
| | 3º Período | | | | | | |
| 30 min | 1º Período | | | | | | |
| | 2º Período | | | | | | |
| | 3º Período | | | | | | |
| 1 hora | 1º Período | | | | | | |
| | 2º Período | | | | | | |
| | 3º Período | | | | | | |
| 2 horas | 1º Período | | | | | | |
| | 2º Período | | | | | | |
| | 3º Período | | | | | | |
| 4 horas | 1º Período | | | | | | |
| | 2º Período | | | | | | |
| | 3º Período | | | | | | |
| 8 horas | 1º Período | | | | | | |
| | 2º Período | | | | | | |
| | 3º Período | | | | | | |

Tabela 3 - Variação dos custos das interrupções segundo o período do dia (valores da Tabela 2 = 100%)

* Novo valor de tempo de reinício de atividades, caso este esteja diferente do indicado na Tabela 2

| Dia da semana | Perda de produção durante a interrupção (%) | Perda de produção durante o tempo de reinício (%) | Materiais e equipamentos danificados (%) | Custos adicionais com mão-de-obra durante horas extras (%) | Custos extras de limpeza e manutenção (%) |
|---------------|---|---|--|--|---|
| 2ª - 6ª | | | | | |
| sábado | | | | | |
| domingo | | | | | |

Tabela 4 - Variação média dos custos das interrupções segundo os dias da semana (valores da Tabela 2 = 100%)

| Mês | Perda de produção durante a interrupção (%) | Perda de produção durante o tempo de reinício (%) | Materiais e equipamentos danificados (%) | Custos adicionais com mão-de-obra durante horas extras (%) | Custos extras de limpeza e manutenção (%) |
|-----------|---|---|--|--|---|
| Janeiro | | | | | |
| Fevereiro | | | | | |
| Março | | | | | |
| Abril | | | | | |
| Maior | | | | | |
| Junho | | | | | |
| Julho | | | | | |
| Agosto | | | | | |
| Setembro | | | | | |
| Outubro | | | | | |
| Novembro | | | | | |
| Dezembro | | | | | |

Tabela 5 - Variação média dos custos das interrupções segundo os meses do ano (valores da Tabela 2 = 100%)

| Período de antecedência do aviso | Redução média nos prejuízos, em % dos valores da Tabela 2 | | | | | | | |
|----------------------------------|---|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| | ≤ 1 min | 10 min | 20 min | 30 min | 1 hora | 2 horas | 4 horas | 8 horas |
| 4 horas | | | | | | | | |
| 8 horas | | | | | | | | |
| 24 horas | | | | | | | | |
| 48 horas | | | | | | | | |
| 72 horas | | | | | | | | |

Tabela 6 - Redução dos prejuízos provocados por uma interrupção quando sua ocorrência é comunicada antecipadamente

F.5 - Se após o início de uma interrupção inesperada no fornecimento de eletricidade, provocada por uma falha no sistema elétrico que serve a sua indústria, a concessionária lhe comunicasse a sua duração prevista, haveria a possibilidade de redução nos prejuízos provocados por tal interrupção?

☐ Sim ☐ Não

Em caso afirmativo, indique na Tabela 7 a seguir qual a redução média nos prejuízos de acordo com a duração prevista da interrupção, em %:

| Duração prevista | Redução média dos prejuízos (%) |
|------------------|---------------------------------|
| 30 min | |
| 1 hora | |
| 2 horas | |
| 4 horas | |
| 8 horas | |

Tabela 7 - Redução média dos prejuízos quando a duração é comunicada pela concessionária

ANEXO AO QUESTIONÁRIO PARA CONSUMIDORES INDUSTRIAIS

NOTAS PARA O PREENCHIMENTO DA TABELA 2:

NOTA 1 - Perda de Produção Durante a Interrupção:

Nesta coluna deve ser indicado o valor da perda de produção durante o período de ocorrência da fa l h a, avaliado em termos de seu valor adicionado e não do seu valor total. Não devem ser incluídas as parcelas de produção que podem ser recuperadas atr av és de uma utilização mais intensiva da capacidade instalada e da mão-de-obra disponível durante o pe período normal de trabalho após a ocorrência da in ter rup ç ã o e durante horas extras. Deve ser considerada também a hipótese de que uma mudança na rotina de trabalho, quando possível, poderá reduzir os prejuíz os causados pela interrupção (uma antecipação de ma nu ten ç ã o já programada, por exemplo).

NOTA 2 - Tempo de Reinício de Atividades:

É o tempo necessário para restabelecer a pro du ç ã o ao nível normal de trabalho após a ocorrência de uma interrupção inesperada no fornecimento de ele tri ci da de.

NOTA 3 - Perda de Produção durante o Tempo de Reinício de Atividades:

Corresponde à perda de produção, avaliada em termos do seu valor adicionado, durante o período de reinício de atividades, devendo ser consideradas as mesmas colocações feitas na NOTA 1.

NOTA 4 - Materiais e Equipamentos Danificados:

Valor das matérias-primas e outros insumos que sejam estragados, dos danos em equipamentos e de pro du to s finais perdidos durante o período da in ter rup ç ã o propriamente dita e durante o tempo de reinício de atividades definido anteriormente. Poderão também

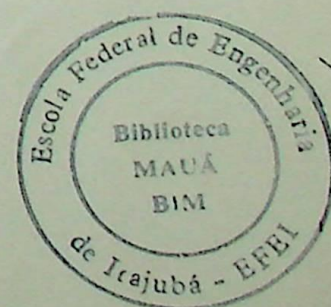
ser incluídas, quando possível, as perdas atribuídas à redução na qualidade do produto final.

NOTA 5 - Custos Adicionais com Mão-de-Obra durante Horas Extras:

Corresponde ao gasto com mão-de-obra durante as horas extras de trabalho realizadas para recuperar, em parte ou em sua totalidade, a produção perdida por causa da interrupção propriamente dita e do tempo de reinício de atividades a ela associada.

NOTA 6 - Custos Extras de Limpeza e Manutenção:

Devem ser incluídos todos os gastos adicionais com limpeza e ajustes em máquinas, remoção de materiais, manutenção e outros que podem ser necessários por causa da ocorrência da interrupção.



QUESTIONÁRIO PARA CONSUMIDORES COMERCIAIS

A - DADOS GERAIS

A.1 - Nome da Empresa:

A.2 - Tipo de atividade comercial principal:

A.3 - Consumo anual de energia elétrica: _____ MWh

A.4 - Demanda máxima de energia elétrica: _____ KW

A.5 - Área construída do estabelecimento: _____ m²

A.6 - Número de empregados da empresa: _____

A.7 - Indique abaixo quantos empregados podem ser classificados segundo as seguintes atividades:

- . Vendas e correlatos (caixa, fiscal e outros): _____
- . Serviços administrativos e de escritórios:... _____
- . Limpeza e serviços gerais:..... _____
- . Outras:..... _____

A.8 - Volume anual de salários pagos a estes funcionários:

Cz\$ _____

A.9 - Valor anual de vendas da empresa: Cz\$ _____

A.10 - Horário de funcionamento da empresa:

- . segunda à sexta feira: das _____ às _____ horas
- . sábado: das _____ às _____ horas
- . domingo: das _____ às _____ horas

NOTA: Para o caso onde a empresa possua um horário de funcionamento que não seja o esquema mostrado acima, indique no verso a forma apropriada.

B - EQUIPAMENTOS DE EMERGÊNCIA OU STANDBY

B.1 - Existe algum equipamento de emergência ou tipo standby instalado na empresa?

☐ Sim

☐ Não

B.2 - Se Sim, preencha a Tabela 1 a seguir indicando na coluna "Finalidade" o seguinte código:

01. se o equipamento é destinado à iluminação de emergência e ao acionamento de elevadores, entre outros, a fim de proteger funcionários e clientes contra inconvenientes provocados por uma interrupção de energia e de reduzir o risco de furtos e roubos no interior do estabelecimento;

02. se o equipamento é destinado a suprir a alimentação de aparelhos eletroeletrônicos tais como máquinas registradoras, computadores, máquinas de escrever e sistemas de refrigeração de produtos alimentícios, entre outros.

03. se o equipamento atende aos itens 01 e 02 acima.

C - QUAL A DURAÇÃO MÁXIMA DE UMA INTERRUPÇÃO QUE NÃO INTERFERE NAS ATIVIDADES DA EMPRESA NÃO CAUSANDO, PORTANTO, QUAISQUER PREJUÍZOS?

_____ horas _____ minutos _____ segundos

D - CUSTOS DAS INTERRUPÇÕES

Para o preenchimento da Tabela 2 a seguir admita que interrupções inesperadas com durações iguais às indicadas ocorram durante um dia normal de funcionamento no momento em que os prejuízos e os inconvenientes provocados por tais interrupções sejam MÁXIMOS.

No anexo que se encontra no final deste questionário são dadas orientações sobre os fatores que devem ser considerados no correto preenchimento da Tabela 2, a qual servi

| Equipamento | Tipo | Finali- dade | Potência nominal (KW) | Custo total (10 ³ Cz\$) | Custo anual da manutenção (Cz\$) | Custo horário de operação (Cz\$/h) | | | | |
|-------------|------|-----------------|-----------------------------|--|--|------------------------------------|-------------|----------------|--------|-------|
| | | | | | | Combustível | Mão-de-obra | Mate- riais | Outros | Total |
| 1 | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | |

Tabela 1 - Dados gerais sobre equipamentos de emergência ou standby

| Duração da interrupção | Redução no volume de vendas (Cz\$) (ver nota 1 do anexo) | Mão-de-obra ociosa (Cz\$) (ver nota 2 do anexo) | Perdas de produtos (Cz\$) (ver nota 3 do anexo) | Danos em equipamentos (Cz\$) (ver nota 4 do anexo) | Gastos com horas extras (Cz\$) (ver nota 5 do anexo) | Outros (Cz\$) (ver nota 6 do anexo) |
|------------------------|--|---|---|--|--|-------------------------------------|
| ≤ 1 min | | | | | | |
| 10 min | | | | | | |
| 20 min | | | | | | |
| 30 min | | | | | | |
| 1 hora | | | | | | |
| 2 horas | | | | | | |
| 4 horas | | | | | | |
| 8 horas | | | | | | |

Tabela 2 - Custos máximos das interrupções - ver observações para preenchimento no anexo ao questionário

rã como base de comparação para os itens seguintes.

E - VARIAÇÃO DOS CUSTOS DAS INTERRUPÇÕES

E.1 - Variação com o período do dia

Indique na Tabela 3 a seguir qual a variação, em %, dos prejuízos provocados por uma interrupção inesperada no fornecimento de eletricidade segundo o período do dia, tomando como base os valores indicados anteriormente na Tabela 2.

Ao período do dia correspondente ao valor máximo indicado na Tabela 2 deverá ser assinalado um valor igual a 100% na Tabela 3.

Períodos do dia considerados:

1º Período: das 8 às 18 horas

2º Período: das 18 às 24 horas

3º Período: das 24 às 8 horas

E.2 - Variação com os dias da semana

Da mesma forma que no item anterior, indique na Tabela 4 a seguir a variação média, em %, dos prejuízos máximos indicados na Tabela 2, quando se consideram os diferentes dias da semana.

E.3 - Variação com os meses do ano

Considerando que o movimento e o volume de vendas variam segundo os diferentes meses do ano, indique na Tabela 5 como os custos das interrupções variam em média neste período, tendo como base os valores indicados na Tabela 2.

E.4 - Se a concessionária avisasse antecipadamente a ocorrência de uma interrupção no fornecimento de energia, os prejuízos poderiam ser amenizados?

☐ Sim

☐ Não

Se Sim, indique na Tabela 6 a seguir qual a redução média dos prejuízos de acordo com o período de antecedência em que é comunicada a interrupção.

| Duração da interrupção | Período de ocorrência | Redução no volume de vendas (%) | Mão-de-obra ociosa (%) | Perdas de produtos (%) | Danos em equipamentos (%) | Gastos com horas extras (%) | Outros (%) |
|------------------------|-----------------------|---------------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------|
| ≤ 1 min | 1º Período | | | | | | |
| | 2º Período | | | | | | |
| | 3º Período | | | | | | |
| 10 min | 1º Período | | | | | | |
| | 2º Período | | | | | | |
| | 3º Período | | | | | | |
| 20 min | 1º Período | | | | | | |
| | 2º Período | | | | | | |
| | 3º Período | | | | | | |
| 30 min | 1º Período | | | | | | |
| | 2º Período | | | | | | |
| | 3º Período | | | | | | |
| 1 hora | 1º Período | | | | | | |
| | 2º Período | | | | | | |
| | 3º Período | | | | | | |
| 2 horas | 1º Período | | | | | | |
| | 2º Período | | | | | | |
| | 3º Período | | | | | | |
| 4 horas | 1º Período | | | | | | |
| | 2º Período | | | | | | |
| | 3º Período | | | | | | |
| 8 horas | 1º Período | | | | | | |
| | 2º Período | | | | | | |
| | 3º Período | | | | | | |

Tabela 3 - Variação dos custos das interrupções segundo o período do dia (valores da Tabela 2 = 100%)

| Dia da Semana | Redução no Volume de Vendas (%) | Mão-de-obra ociosa (%) | Perdas de Produtos (%) | Danos em Equipamentos (%) | Gastos com Horas extras (%) | Outros (%) |
|------------------|---------------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------|
| 2ª - 6ª | | | | | | |
| Sábado | | | | | | |
| Domingo | | | | | | |

Tabela 4 - Variação dos custos das interrupções segundo os dias da semana (valores da Tabela 2 = 100%)

| Mês | Redução no volume de vendas (%) | Mão-de-obra ociosa (%) | Perdas de produtos (%) | Danos em equipamentos (%) | Gastos com horas extras (%) | Outros (%) |
|-----------|---------------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------|
| Janeiro | | | | | | |
| Fevereiro | | | | | | |
| Março | | | | | | |
| Abril | | | | | | |
| Maiο | | | | | | |
| Junho | | | | | | |
| Julho | | | | | | |
| Agosto | | | | | | |
| Setembro | | | | | | |
| Outubro | | | | | | |
| Novembro | | | | | | |
| Dezembro | | | | | | |

Tabela 5 - Variação média dos custos das interrupções segundo os meses do ano (valores da Tabela 2 = 100%)

| Período de antecedência do aviso | Redução média nos prejuízos, em % dos valores da Tabela 2 | | | | | | | |
|----------------------------------|---|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| | ≤1 min | 10 min | 20 min | 30 min | 1 hora | 2 horas | 4 horas | 8 horas |
| 4 horas | | | | | | | | |
| 8 horas | | | | | | | | |
| 24 horas | | | | | | | | |
| 48 horas | | | | | | | | |
| 72 horas | | | | | | | | |

Tabela 6 - Redução dos prejuízos provocados por uma interrupção quando sua ocorrência é comunicada antecipadamente

E.5 - Se após o início de uma interrupção inesperada no fornecimento de energia, provocada por falha no sistema elétrico que atende o seu estabelecimento, a concessionária lhe comunicasse a sua duração prevista, haverá a possibilidade de redução nos prejuízos provocados por tal interrupção?

☐ Sim ☐ Não

Em caso afirmativo, indique na Tabela 7 a seguir qual a redução média nos prejuízos de acordo com a duração prevista da interrupção, em %.

| Duração prevista | Redução média dos prejuízos (%) |
|------------------|---------------------------------|
| 30 min | |
| 1 hora | |
| 2 horas | |
| 4 horas | |
| 8 horas | |

Tabela 7 - Redução média dos prejuízos quando a duração da interrupção é comunicada pela concessionária de energia

ANEXO AO QUESTIONÁRIO PARA CONSUMIDORES COMERCIAIS

NOTAS PARA PREENCHIMENTO DA TABELA 2

NOTA 1 - Redução no Volume de Vendas:

Nesta coluna devem ser incluídos os negócios ou atividades de vendas que são reduzidos por causa da interrupção. O valor deste prejuízo deve ser obtido pela diferença entre o valor da venda ou negócio afetado e o custo dos bens que não foram vendidos. Não deverão ser incluídos os negócios ou vendas que podem ser continuados durante a interrupção ou recuperados após sua ocorrência no período normal de trabalho ou durante horas extras.

NOTA 2 - Mão-de-Obra Ociosa:

Nesta coluna devem ser incluídos os gastos correspondentes ao número de homens-hora tornados ociosos durante a interrupção. No caso em que tarefas sejam parcialmente afetadas devem ser contabilizados somente os homens-hora realmente perdidos. Se as atividades puderem ser totalmente recuperadas após a interrupção, por utilização mais intensiva da mão-de-obra, os homens-hora ociosos durante a interrupção não devem ser contabilizados.

NOTA 3 - Perdas de Produtos:

Devem ser incluídas todas as perdas com produtos (alimentícios ou não) que podem ser estragados ou danificados durante a interrupção.

NOTA 4 - Danos em Equipamentos:

Corresponde aos danos provocados por uma interrupção de energia em equipamentos destinados a demonstrações, localizados em vitrines ou mostruários e aqueles usados em serviços próprios da empresa ou estabelecimento.

NOTA 5 - Gastos com Horas Extras:

Corresponde ao gasto com mão-de-obra durante as horas extras de trabalho realizadas a fim de recuperar, no todo ou em parte, o volume de vendas e negôcios afetados pela interrupção e também quaisquer outros gastos extraordinários durante este período extra de funcionamento.

NOTA 6 - Outros:

Nesta coluna poderão ser incluídos os prejuízos que não puderam ser incluídos em nenhum dos ítens anteriores sendo que sua discriminação deve ser feita no verso da tabela.

Referências Bibliográficas

1. DWEK, M.G. & BENDING, R.C. Standards of security in network planning. IEE International Conference on Reliability of Power Supply Systems, London, 21-23 feb.1977. IEE Conference Publication nº 148, p. 93-6.
2. WEBB, M.G. The determination of reserve generating capacity criteria in electricity supply systems. Applied Economics, (9):19-31, mar. 1977.
3. MUNASINGHE, M. The economics of power system reliability and planning; theory and case study. Baltimore, The Johns Hopkins University Press, 1979. 323 p.
4. MUNASINGHE, M. & GELLERSON, M. Economic criteria for optimizing power system reliability levels. The Bell Journal of Economics, 10(1): 353-65, spring 1979.
5. BERRIE, T.W. Power system economics. London, Peter Peregrinus Ltd, 1983. 298 p. (IEE Power Engineering Series, 5).
6. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Portaria 046/78. Brasília, 17 de abril de 1978.
7. _____. Portaria 047/78. Brasília, 17 de abril de 1978.
8. ELETROBRÁS. Comitê de Distribuição (CODI). Planejamento de sistemas de distribuição. Rio de Janeiro, Campus, 1982. 241p. (Coleção Distribuição de Energia Elétrica, 1).
9. IBRD (World Bank). Central Projects Staff. Energy Water and Telecommunications Department. Costs of electric power outages: a review. Report Nº RES 8. Washington, 20 ago.1976. 32p.
10. MUNASINGHE, M. A new approach to power system planning. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 99(3): 1198-209, may/june 1980.

11. ARANGO, H. & ARANGO, H.G. Otimização técnico-econômica da confiabilidade no planejamento da distribuição elétrica. 2º Congresso Latino Americano de Control Automatico, Buenos Aires, 13-17 oct. 1986, p.443-8, Vol.2.
12. BILLINTON, R. & ALLAN, R.N. Reliability evaluation of power systems. London, Pitman Publishing, 1984. 432p.
13. DeSALVO, C.A. et alii. The application of planning criteria to the determination of generator service dates by operational gaming. AIEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 78: 1752-9, feb. 1960.
14. BILLINTON, R. et alii. Calculation of reliability worth. Canadian Electrical Association, CEA Transactions, Vol. 16, Part 3. Montreal, 1977. Paper 77-SP-143. 17p.
15. COSTS of interruptions in electricity supply. Swedish Report from Committee on Supply Interruptions Costs. Stockholm, set. 1969.
16. BILLINTON, R. et alii. Comprehensive bibliography on electrical service interruption costs. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 102(6): 1831-7, june 1983.
17. SANGHVI, A. Economic costs of electricity supply interruptions: U.S. and foreign experience. EPRI Workshop: The Value of Service Reliability to Consumers. Workshop Proceedings, EA-4494, Research Project 1104-6, may 1986. 50p. (Section 8).
18. BARBOSA, J.O. Confiabilidade de sistemas elétricos, índices gerais - custo e valor. II Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Belo Horizonte, abr. 1973. Artigo BH/GPC/06. 13p.
19. CORSEN, C.L. Metodologia para obtencion de los costos causados por las interrupciones del suministro de energia eléctrica. Light, II Seminário Técnico, Rio de Janeiro, 1974.
20. OKAHARA, T. et alii. Fundamentos econômicos da confiabilidade

- de. VIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, Curitiba, 07-12. dez. 1980. Artigo COPEL-III-18.23p.
21. MASSAUD, A.G. et alii. Metodologias e sistemáticas de obtenção do custo do KWh não fornecido (custo do déficit). VI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Balneário Camburiú, SC, 1981. Artigo BC/GPL/14. 19p.
 22. SOUZA, D.C.C. Cálculo do custo do KWh não fornecido; análise da pesquisa industrial. CEMIG, Departamento de Coordenação e Análise do Plano de Obras, Relatório 02.111-PO/PN2-003a. Belo Horizonte, fev. 1987.
 23. SOUZA, D.C.C. & ANDRADE, E.L. Cálculo do custo do KWh não fornecido. IX Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Belo Horizonte, 1983. Artigo BH/GPL/19. 4p.
 24. CUSTOS das interrupções. Relatório referente a Ordem de Serviço 02, item 1, do convênio celebrado entre a ELETROBRÁS (DEDI-DPE) e EFEI/FUPAI. Jun. 1987. 130p.
 25. SANTOS, C.C.X.; NUNES, R.A.F.; ARANGO, H.G. Avaliação dos custos das interrupções de energia elétrica: estado da arte. X Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, Rio de Janeiro, 2-7 out. 1988.
 26. TURVEY, R. & ANDERSON, D. Electricity economics; essays and case studies. Baltimore, Johns Hopkins University Press, 1977. 364p.
 27. TOLLEY, G.S. et alii. Electric energy availability and regional growth. Cambridge, Massachusetts, Ballinger Publishing Company, 1977. 240p.
 28. LEMOINE, J.C. Planification du développement des réseaux de distribution à haute et basse tension, recherche d'investissement optimal; quelques idées générales sur les méthodes. EDF Bulletin de la Direction des Etudes et Recherches, Serie B (Réseaux Electriques. Matériels Electriques), (1): 5-18, 1975.

29. BERGOUIGNOUX, J.; LEMOINE, J.C.; JOMIER, R. Contribution à l'étude d'une politique optimale de développement des réseaux de distribution. Revue Générale de l'Électricité, 84(11): 840-9, nov. 1975.
30. ALLAN, R.N.; HOMER, I.; DIALYNAS, E.N. Reliability indices and reliability worth in distribution systems. EPRI Workshop Proceedings: Power System Reliability - Research Needs and Priorities, WS-77-60, Pacific Grove, California, 5-9 mar. 1978.
31. CARTWRIGHT, W. & COXSON, B.A. Quantifying the impact of manual emergency transfer switching upon the reliability of distribution systems. IEE Conference on Reliability of Power Supply Systems, London, 21-23 feb. 1977. IEE Conference Publication Nº 148, p. 85-8.
32. LONDSDALE, J.G. & HITCHEN, G.B. Reliability evaluation in the planning of distribution systems. IEE International Conference on Reliability of Power Supply Systems, London, 21-23 feb. 1977. IEE Conference Publication Nº 148, p. 77-80.
33. PEARSON, A.R. & JONES, P.B. Technical and economic factors affecting the evaluation of reliability of supply to load groups. IEE International Conference on Reliability of Power Supply Systems, London, 21-23 feb. 1977. IEE Conference Publication Nº 148, p. 62-6.
34. ELETROBRÁS. DEDI-DPE. Modelo simplificado para planejamento de sistemas de distribuição; Nota Técnica 02. Rio de Janeiro, nov. 1983. 71p.
35. SHIPLEY, R.B. et alii. Power reliability cost vs worth. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 91(5): 2204-12, sept./oct. 1972.
36. HEISING, C.R. Discussão da referência (35). Ibid., página 2208.

37. TELSON, M.L. The economics of alternative levels of reliability for electric power generation systems. The Bell Journal of Economics, 6(2): 679-94, autumn, 1975.
38. EVALUATION of generating capacity reserve for Taiwan Power Company. Unpublished report. Conforme referência (9).
39. JAMAICAN PUBLIC SERVICE COMPANY PLANNING DEPARTMENT. Reliability dollar value analysis and the selection of a generation (static) reliability criteria for the Jamaican Public Service Company, Ltd. Nov. 1975. Conforme referência (9).
40. CARRILO, M. & CAMPERO, H. Costo social de la restricción de energia electrica. Instituto Equatoriano de Electrificación, Division de Planificación. Quito, ago. 1975.
41. EHRLICH, P.J. et alii. Custo do déficit de energia elétrica. Energia Elétrica, 3(9): 32-43, ago. 1980.
42. FURNAS. Custo social do déficit de energia elétrica: uma visão macroeconômica. Nota Conjunta AMM.T/DPS.T. Rio de Janeiro, jun. 1984. 51p.
43. SCHNEIDER, E.E. et alii. Custo social do déficit, relatório da primeira etapa; resultados obtidos e notas metodológicas. GCPS-CTEM, Grupo de Trabalho Custo Social do Déficit, Rio de Janeiro, fev. 1986. 48p.
44. LEONTIEF, W. A economia do insumo produto. 2.ed. São Paulo, Nova Cultural, 1986. 226p. (Coleção Os Economistas).
45. JARAMILLO, P. & SKOKNIC, E. Costo social de las restricciones de energia electrica. ENDESA, Oficina de Planificación. Chile, ago. 1973.
46. D'ARAUJO, R.P. et alii. Custo marginal da energia elétrica não suprida. VIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, São Paulo, 4-8 maio 1986. Artigo SP/GPL/10. 14p.

47. SHEPPARD, H.J. The economics of reliability of supply - distribution (Great Britain). IEE Conference on The Economics of the Reliability of Supply (a comparison of standards adopted in various countries), London, 9-13 oct. 1967. IEE Conference Publication Nº 34, p. 248-66.
48. GRONAU, R. The intrafamily allocation of time: the value of the housewives' time. The American Economic Review, 63(4): 634-51, sept. 1973.
49. JULIUS, de Anne. The economic cost of power outages: methodology and applications to Jamaica. IBRD (World Bank). Report Nº RES 7. Washington, aug. 1976. Conforme referência (9).
50. MUNASINGHE, M. Costs incurred by residential electricity consumers due to power failures. Journal of Consumer Research, 6:361-9, mar. 1980.
51. GARÓFALO, G.L. & CARVALHO, L.C.P. Microeconomia; teoria do consumidor e análise da procura. São Paulo, Atlas, 1976. 222p.
52. ALBUQUERQUE, M.C.C. Microeconomia. São Paulo, McGraw Hill do Brasil, 1987. 293p.
53. WACKER, G.; WOJCZYNSKI, E.; BILLINTON, R. Interruption cost methodology and results - A canadian residential survey. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 102(10): 3385-92, oct. 1985.
54. BILLINTON, R.; WACKER, G.; WOJCZYNSKI, E. Factors affecting the development of an residential customer damage function. IEEE Transactions on Power Systems, 2(1): 204-9, feb. 1987.
55. GUTIERREZ, L. Curso de análise econômica de projetos de transmissão e distribuição. COELBA, DA-DRH-DIFP. Salvador, 4-14 mar. 1986. 32p.
56. DICKINSON, W.H. Economic evaluation of industrial power-

- system reliability. AIEE Transactions Applications and Industry, 76:264-72, nov. 1957.
57. DICKINSON, W.H. Evaluation of alternative power distribution systems for refinery process unit. AIEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 79:110-24, apr. 1960.
 58. IEEE Committee Report. Report on reliability survey of industrial plants, part II: cost of power outages, plant restart time, critical service loss duration time, and type of loads lost versus time of power outages. IEEE Transactions on Industry Applications, 10(2): 236-41, mar./apr. 1974.
 59. _____. Report on reliability survey of industrial plants, part IV: additional detailed tabulation of some data previously reported in the first three parts. IEEE Transactions on Industry Applications, 10(4): 456-62, july/ago. 1974.
 60. JACKSON, A.F. & SALVAGE, B. Costs of electricity - supply interruptions to industrial consumers. Proceedings of IEE, 121(12): 1575-6, dec. 1974.
 61. MACKAY, E.M. & BERK, L.H. Costs of power interruptions to industry; survey results. Proceedings of International Conference on Large High Voltage Electric Systems (CIGRÉ) Paris, 30 ago.-7 set. 1978. Paper 32-07, 9p.
 62. WOJCZYNSKI, E.; BILLINTON, R.; WACKER, G. Interruption cost methodology and results - A canadian commercial and small industry survey. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 103(2): 437-44, feb. 1984.
 63. SUBRAMANIAM, R.K.; BILLINTON, R.; WACKER, G. Factors affecting the development of an industrial customer damage function. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 104(11): 3209-15, nov. 1985.
 64. ELETROBRÁS. Relatório Anual. Rio de Janeiro, 1986. 36p.

65. BRAGA, J.S. & ALMEIDA, R.C.A. Cálculo do custo das interrupções. CHESF, Diretoria de Engenharia, Nota Técnica Nº 010/82. Recife, out. 1982.
66. IEEE Committee Report. Cost of electrical interruptions in commercial buildings. IEEE Industrial & Commercial Power Systems Technical Conference Record, Toronto, Canada, 5-8 may 1975. Paper 75-CH0947-1-1A.
67. BILLINTON, R.; WACKER; G.; SUBRAMANIAM, R. K. Factors affecting the development of a commercial customer damage function. IEEE Transactions on Power Systems, 1(4): 28-33, nov. 1986.
68. BUARQUE, C. Avaliação econômica de projetos. Rio de Janeiro, Campus, 1984. 2ed. 266p.
69. McCORMICK, N.J. Reliability and risk analysis. New York, Academic Press, 1981. 446p.
70. IEEE. IEEE Recommended practice for emergency and standby power systems. IEEE Standard 446-1974, may 1974. 111p.
71. JOHNSON, M.B. Travel time and the price of leisure. Western Economic Journal, (4):135-45, spring 1966.
72. ANÁLISE crítica geral da Nota Técnica 02 do DEDI-ELETROBRÁS. Relatório referente a Ordem de Serviço 01, item 1, do convênio celebrado entre a ELETROBRÁS (DEDI-DPE) e EFEI/FUPAI. Dez. 1986. 33p.
73. INDICADORES de perdas ôhmicas nos sistemas de distribuição. Relatório referente a Ordem de Serviço 01, item 2, do convênio celebrado entre a ELETROBRÁS (DEDI-DPE) e EFEI/FUPAI. Dez. 1986. 81p.
74. INDICADORES de confiabilidade. Relatório referente à Ordem de Serviço 01, item 3, do convênio celebrado entre a ELETROBRÁS (DEDI-DPE) e EFEI/FUPAI. Dez. 1986. 47p.

75. NUNES, R.A.F.; SANTOS, C.C.X.; ARANGO, H.A. Indicadores de perda de continuidade de serviço em sistemas de distribuição: aplicação ao modelo poligonal. X Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, Rio de Janeiro, 2-7 out. 1988.
76. BILLINTON, R.; OTENG-ADJEI, J.; GHAJAR, R. Comparison of two alternate methods to establish an interrupted energy assessment rate. IEEE Transactions on Power Systems, 2(3): 751-7, aug. 1987.
77. SÓZANSKI, J. Economic aspects of reliability in electric power supply. IEE International Conference on Reliability of Power Supply Systems, London, 21-23 feb. 1977. IEE Conference Publication Nº 148, p. 32-4.
78. ELETROBRÁS. DEDI-DPE. Comunicação pessoal. Julho de 1988.
79. DORFMAN, R.; SAMUELSON, P.; SOLOW, R. Linear programming & economic analysis. Tokio, McGraw Hill Kogakusha, 1958. 525p.
80. BAUMOL, W.J. Economy theory and operations analysis. 3ed. London, Prentice Hall International, 1972. 626p.
81. SILVA, P.F. Aspectos tecnológicos da estrutura industrial brasileira; uma análise de insumo-produto. Tese de mestrado apresentada à Universidade de Brasília. Editada pelo BNDE. Rio de Janeiro, 1980. 122p. (III Prêmio BNDE de Economia, 1979).
82. CHIANG, A.C. Matemática para economistas. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, McGraw Hill do Brasil, 1981. 507p.
83. MILLER, R.L. Microeconomia. São Paulo, McGraw Hill do Brasil, 1981. 507p.
84. ALVARENGA FILHO, S. et alii. Custo do déficit e planejamento da transmissão. ELETROBRÁS, Departamento de Transmissão. Nota Técnica DEST/GPD/001/87. Rio de Janeiro, jun. 1987. 9p.

85. ARCHAMBAULT, J.J. et alii. The reliability of large power systems. CIGRÉ, Proceedings of 29th Session, Paris, 1-9 set. 1982. Vol. 2. Paper 32-16. 10p.
86. AUGÉ, J. et alii. La planification des réseaux à très haute tension à Électricité de France. Revue Générale de l'Électricité, 81(6): 385-401, juin 1972.
87. BECKER, G.S. A theory of the allocation of time. The Economic Journal, 75 (299): 493-517, sept. 1965.
88. BERGOUGNOUX, J. La prise en compte du risque de défaillance des décisions d'investissement. Électricité de France. Note EDF HR 9528/3. Paris, 7 juil. 1970. 5p.
89. BILLINTON, R. & KOVAL, D.O. - Evaluation of reliability worth in distributions systems. Proceedings of 6th Power System Computation Conference (PSCC), Darmstadt, West Germany, 21-25 aug. 1978, p.218-25.
90. BILLINTON, R. & OTENG-ADJEI, J. Cost/benefit approach to establish optimum adequacy level for generating system planning. IEE Proceedings, Pt.C, 135(2): 81-7, mar. 1988.
91. BÖCKER, H. & KAUFMANN, W. Optimizing the expenditure on reliability of supply in system planning for the benefit of the consumer. IEE International Conference on Reliability of Power Supply System, London, 21-23 feb. 1977. IEE Conference Publication N° 148, p.18-23.
92. BROWN, W.L. Cost versus reliability - a key to efficiency. Transmission & Distribution, fev. 82., p. 54-7.
93. CAVANAUGH, H.A. - How much will a KW shortfall cost? Electrical World, jan. 1979, p. 43-6.
94. CHANG, N.E. Evaluate distribution system design by cost reliability indices. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 96(5): 1480-90, sept./oct. 1977.

95. _____. Cost-reliability evaluations of commercial and industrial underground distribution system design. 1979 IEEE PES Winter Meeting, New York, 4-9 feb. 1979. Paper A79058-9. 6p.
96. CIPOLI, J.A. Utilização da confiabilidade na escolha da melhor alternativa para o fornecimento de energia elétrica. CESP, Divisão de Planejamento e Controle de Qualidade. São Paulo, nov. 1977. 23p.
97. DISTRIBUTION system reliability (A special forum report). Electric Forum, 3(4): 14-20, 1977.
98. DIXON, G.F.L. & HAMMERSLEY, H. Reliability and its cost on distribution systems. IEE International Conference on Reliability of Power Supply Systems, London, 21-23 fev. 1977. IEE Conference Publication Nº 148, p.81-4.
99. ELKWUE, A.O. Economics and reliability of supply of developing power systems. IEE Proceedings, Part C, 133 (7): 373-6, nov. 1986.
100. EPRI. Power system reliability - research needs and priorities. EPRI Workshop Proceedings, WS-77-60, Pacific Grove, California, 5-9 mar. 1978.
101. _____. The value of service reliability to consumers. EPRI Workshop Proceedings, EA-4494, Research Project 1104-6, may 1986. (14 papers).
102. GAGLIARDI, R. & MONGELUZZO, R. Alcuni criteri per la pianificazione e la valutazione dello stato di funzionamento di un sistema elettrico. L'Energia Elettrica, 51(12):680-93, dez. 1974.
103. GANGEL, M.W. & RINGLEE, R.J. Distribution system reliability performance. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 87(7):1657-64, july 1968.
104. GOLDSMITH, K. The price of reliability in electricity

- supply. IEE Conference on The Economics of the Reliability of Supply (a comparison of standards adopted in various countries), London, 9-13 oct. 1967. IEE Conference Publication Nº 34, p.50-2.
105. GÖNEN, T. Electric power distribution system engineering. New York, McGraw-Hill Book Company, 1986. 739p.
 106. KAM, G. Compare cost of reliability to losses incurred by customers. Electrical World, jan. 1988, p.32-6.
 107. KHATIB, H. Economics of reliability in electrical power systems. Stonehouse, Gloschester, England, Technicopy Limited, 1978. 157p.
 108. KOVAL, D.O. & BILLINTON, R. Statistical and analytical evaluation of the duration and cost of consumers interruptions. 1979 IEEE PES Winter Meeting, New York, 4-9 feb. 1979. Paper A79058-9. 6p.
 109. MARIÉE, M. L'incidente du 19 décembre 1978, 2 - point de vue des utilisateurs: résultats d'une enquête auprès des adherentes de l'Union des Industries Chimiques. Revue Générale de L'Électricité, 89(4):297-300, abr. 1980.
 110. MATTSON, B. Economy vs. service reliability in Sweden. IEEE Spectrum, (3):90, may 1966.
 111. MILLER, W.T. & DAWSON, D.G. Cost of unreliability to customers. Transmission & Distribution, june 1982, p.56-60.
 112. MINAS GERAIS. Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral. Fundação João Pinheiro. Análise do impacto do aumento da tarifa de energia elétrica sobre índices de preços. Belo Horizonte, set. 1978. 93p.
 113. MIRANDA, V.H.B.P. A qualidade de serviço na optimização de redes eléctricas de distribuição. Metodologia orientada para mini-sistemas de cálculo. Dissertação de doutoramento apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 1981.

114. MUNASINGHE, M. Engineering - economic analysis of electric power systems. Proceedings of IEEE, 72(4):424-61, apr.1984.
115. MUNASINGHE, M. & SCOTT, W.G. Long range distribution system planning based on optimum economic reliability levels. 1978 IEEE PES Summer Meeting, Los Angeles, California, 16-21 july 1978. Paper A78576-1. 9p.
116. NARA, K. et alii. Evaluation of loads in restorations state by the cost of interruptions of electrical service. Electrical Power & Energy Systems, 7(2):109-19, apr. 1985.
117. OLDHAM, C.B.O. et alii. Underbuilding or overbuilding electrical power generating capacity. The Engineering Economist, 31(3):213-35, spring 1986.
118. PERSOZ, H. et alii. La planification des réseaux électriques. Paris, Eyrolles, 1984. 421p. (Collection de la Direction des Études et Recherches d'Électricité de France, 50).
119. POLÍTICA energética: como desatar este nó. Energia e Produção, nov. 1986, p.21-4.
120. POORE, W.P. et alii. Consumer interruptions costing for reliability cost/benefit evaluation. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 102(5):1361-4, may 1983.
121. POWER survey - problems and progress. Modern Manufacturing, 2(7):72-8, jul. 1969.
122. REGULY, Z. Costs evaluation of power supply reliability. IEE International Conference on Reliability of Power Supply System. London, 21-23 feb. 1977. IEE Conference Publication No 148, p.13-7.
123. ROLLS, T.B. Reliability of supply within industrial establishments. IEE Conference on The Economics of the Reliability of Supply (a comparison of standards adopted in various countries). London, 9-13 oct. 1967. IEE Conference Publication No 34, p.267-76.

124. SANGHVI, A.P. Service-interruption costs vary widely. Electrical World, sept. 1982; p.123-4.
125. SANGHVI, A. & LIMAYE, D. Planning future electrical generation capacity. Energy Policy 7(2):102-16, jun. 1979.
126. SANTUCCI, G. Problème général de la planification des réseaux. Revue Générale de l'Électricité, 89(4): 260-3, avr. 1980.
127. SHEW, W.B. Costs of inadequate capacity in the electric utility industry. Energy Systems and Policy, 2(1):85-110, 1977.
128. SILVEIRA, A.M. Custos de déficit variáveis em presença de restrição planejada (Texto para discussão). [Rio de Janeiro], ELETROBRÁS, DEME, maio 1987. 25p.
129. SKOF, L.V. Customer interruption costs vary widely. Electrical World, july 1977. p.64-5.
130. The growing role of reliability. Electric World, 195(10): 74-85, oct. 1981.
131. TSAI, R.S. Reliability worth guides distribution system design. IEEE Transactions on Industry Applications, 15(4): 368-75, july/aug. 1979.
132. WOJCZYNSKI, E. & BILLINTON, R. Effects of distribution system reliability index distributions upon interruption cost/reliability worth estimates. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 104(11):3229-35, nov. 1985.
133. D'ARAÚJO et alii. Comissão para estudo do custo do déficit; relatório final. GCPS, Comissão para Estudo do Custo Social do Déficit de Energia Elétrica (CDEF). GCPS/SEC/CDEF/001.88. Rio de Janeiro, jul. 1988. 99p.

[illegible]

EFEI / Biblioteca Mauá S237c
Santos, Carlos César Xavier dos
Custos das interrupções de
energia elétrica: estado da ar
te e aplicação do planejamento
de sistemas de distribuição.

NÃO DANIFIQUE ESTA ETIQUETA