



VI SBQEE

21 a 24 de agosto de 2005
Belém – Pará – Brasil



Código: BEL 09 7705
Tópico: Impacto Econômico e Responsabilidades

UMA METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DOS CUSTOS DE INTERRUPÇÃO E DE EVENTOS DE QUALIDADE DA ENERGIA

LANA LEITE, JOSÉ RENATO

UnB

FERREIRA F., ANÉSIO DE
LELES

UnB

OLIVEIRA, MARCO AURÉLIO
G

UnB

RESUMO

Analisa-se aspectos gerais relativos a custos de confiabilidade e qualidade da energia e faz-se a estimação do custo regional de interrupção de fornecimento de energia, no Brasil. De início, dispõe-se da pesquisa de custos de interrupção realizada pelo antigo GCOI (1991). Reavaliam-se os custos de interrupção para o consumidor residencial com base em dados recentes do IBGE. Realiza-se estudo crítico das incertezas da estimação de custo decorrentes da inexistência de dados de confiabilidade e qualidade da energia, de estudos de determinação de custos relativos a esses fenômenos e pela variabilidade de dados. São analisados aspectos de custos, sob o enfoque do consumidor, relacionados ao nível de confiabilidade e qualidade da energia.

Palavras-chave: Custo do serviço, custo de interrupção, confiabilidade, qualidade da energia, custo de interrupção.

1.0 CUSTO DA CONFIABILIDADE

Na obtenção dos custos nacional e regional, para as classes de consumidor comercial e industrial, foram considerados os custos diretos incorridos pelo consumidor em razão da interrupção, os quais se referem à perda de matéria prima ou de produto, mão-de-obra ociosa, capital ocioso, tempo necessário para o reinício do processo produtivo, perda de produto perecível, etc., (Grupo Coordenador de Operação Interligada – GCOI, 1991,1992).

Para o consumidor residencial, o enfoque adotado na pesquisa GCOI (1991) é considerar a residência como uma unidade de produção. Nela, os produtos são consumidos internamente e não possuem, geralmente, valor de mercado. As atividades envolvidas na residência são predominantemente serviços com ênfase no lazer. A produção de lazer difere da produção de alguns outros bens domésticos em razão da relativa impossibilidade de reprogramação. A idéia básica é que o indivíduo seja capaz de trocar o lazer por trabalho adicional, desde que a remuneração tenha o valor percebido no seu trabalho normal ou o supere.

O valor do custo unitário da energia interrompida (US\$/kWh), de acordo com essa concepção, foi estabelecido como a razão entre a renda familiar horária e o consumo médio de energia do consumidor residencial, entre 18 e 24h. Fora desse período, o custo de interrupção foi considerado desprezível, nulo (GCOI, 1991; Massaud, 1992).

Tabela 1 Custos de interrupção unitários (US\$/kWh). Valores de dezembro de 2004.

	De	1	3	15	30	60	Hora
	até (min)	3	15	30	60	120	adic
Resi	0- 8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
den	8-18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
cial	18-24	2,36	2,36	2,36	2,36	2,36	2,36
In	0- 8	4,17	1,79	1,55	1,31	1,18	1,13
dus	8-18	3,96	1,83	1,74	1,38	1,25	1,13
trial	18-24	4,06	1,65	1,54	1,20	1,09	1,13
Co	0-8	1,42	2,66	4,06	3,70	3,56	3,90

mer cial	8-18	2,66	4,59	6,17	6,33	6,91	5,46
	18-24	2,63	4,40	5,69	5,47	5,95	4,56

Fonte: Eletrobrás – GCOI -1991.

1.1 Reavaliação do custo de interrupção do consumidor residencial

Verificou-se que o valor da renda familiar utilizado na pesquisa GCOI (1991) em valores reais é de somente 41% da renda domiciliar indicada pelo PNAD para 2003, o que resulta em subestimação dos custos para essa classe de consumidor. Impõe-se, pois, reavaliação do custo de interrupção do referido consumidor residencial.

Tabela 2 Rendimento domiciliar médio mensal.

Brasil	N	NE	SE	S	CO
1288	1048	777	1536	1452	1387

IBGE, PNAD, 2003 (Valores em R\$).

Utilizam-se as premissas e a metodologia inicial para a determinação do custo de interrupção para essa classe de consumidor. A fonte dessa informação da renda domiciliar é o sistema implantado no Brasil, responsável pela Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD, que tem como finalidade a produção de informações básicas para o estudo do desenvolvimento socioeconômico do País.

Tabela 3 Reavaliação do custo médio de interrupção para o consumidor residencial (US\$/kWh) a preços de dezembro de 2004.

Brasil	N	NE	SE	S	CO
2,39	2,18	1,61	2,56	2,42	2,31

Um ganho adicional com a presente reavaliação é a obtenção de valores regionalizados e estaduais de custo de interrupção de acordo com a forma em que a renda domiciliar se encontra disponível.

2.0 CUSTOS DE INTERRUPÇÃO

2.1 Custos médios de interrupção

Os custos médios ao longo do dia são proporcionais à energia de cada classe de consumidor nos períodos do dia. Não foi localizada informação da forma em que a energia diária de cada classe de consumidor se distribui entre os períodos.

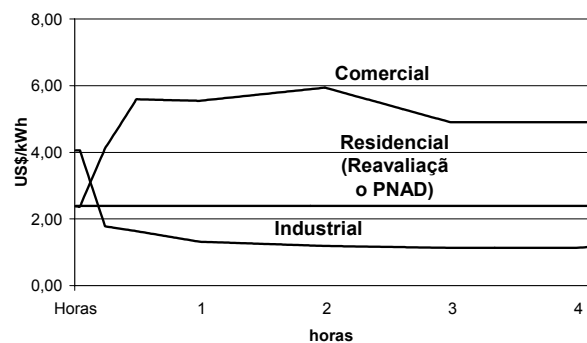
Chamaremos fator de distribuição ao percentual associado a essa distribuição. A projeção da energia por período é o produto entre um fator de distribuição (a ser determinado) e a energia total diária da classe de consumidor.

O ONS dispõe de curvas de carga diárias a partir das quais pode-se calcular a energia total por período a qual deve se igualar à soma por período da energia projetada. O Comitê Técnico

de Estudos de Mercado (CTEM) publica periodicamente relatórios, a partir dos quais se calcula a energia média diária por classe de consumidor que é igual à soma por classe de consumidor da energia projetada.

Essas igualdades correspondem a um sistema de equações, cujas incógnitas são os fatores de distribuição. A solução pode ser obtida via minimização de resíduos. No caso presente, a condição inicial foi obtida a partir das curvas de carga por classe de consumidor da Companhia Paulista de Força e Luz (Oliva, 1999).

A seguir, os referidos custos médios para a classe consumidora comercial e a industrial.



T(min)	3	15	30	60	120	hora
Industrial	4,05	1,78	1,63	1,32	1,19	1,19
Comercial	2,38	4,11	5,59	5,54	5,93	4,90

Figura 1 Custos médios unitários de interrupção.

O custo de interrupção por demanda, CD, (US\$/kW) é a razão entre o custo de interrupção e a demanda não-suprida. Consiste no produto no custo unitário $c_i(t)$ (por classe, em função da duração) e a própria duração (t). Descreve o custo no tempo de uma carga unitária média.

$$CD = c_i(t)t \quad \text{Equação 1}$$

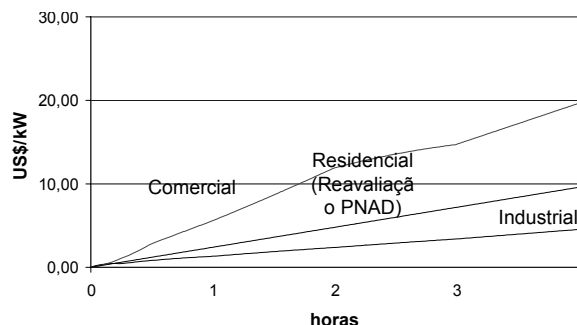


Figura 2 Custo de interrupção por demanda.

Fica evidenciada a característica linear do custo de interrupção por demanda em função da duração, a despeito das variações do custo unitário de interrupção. O custo de interrupção

para a carga residencial é absolutamente linear. No caso da carga industrial e da comercial, os custos são aproximadamente lineares.

2.2 Custo de interrupção nacional e regional

LaCommare et alli (2004), em trabalho desenvolvido sob encomenda do Departamento de Energia (EUA), propuseram uma expressão, que utilizaram para determinação dos custos regionais e nacionais de interrupção do serviço de eletricidade e de qualidade da energia nos EUA. A equação, com algumas substituições, pode ser expressa como:

$$CI_{ij} = \frac{c_{ij}(D_j) \cdot Q_{ij} \cdot DEC_j}{8.760} \quad \text{Equação 2}$$

$$D_j = \frac{DEC_j}{FEC_j} \quad \text{Equação 3}$$

Em que CI é o custo regional de interrupção; FEC, a frequência equivalente de interrupção (Aneel, 2005); DEC, a duração equivalente (horas) de interrupção (Aneel, 2005); c, o custo médio ponderado unitário de interrupção (US\$/kWh), em função da duração média das interrupções (D); Q, a energia total consumida em um ano (CTEM/MME, 2004); 8760, horas do ano, a que se refere o consumo Q. Os custos serão, de acordo com as equações 2 e 3, estimados por região (j) e classe consumidora (i) do Brasil.

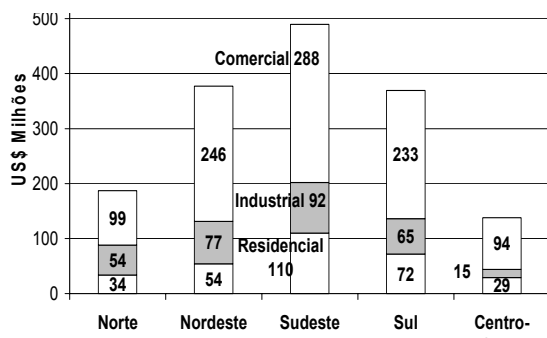
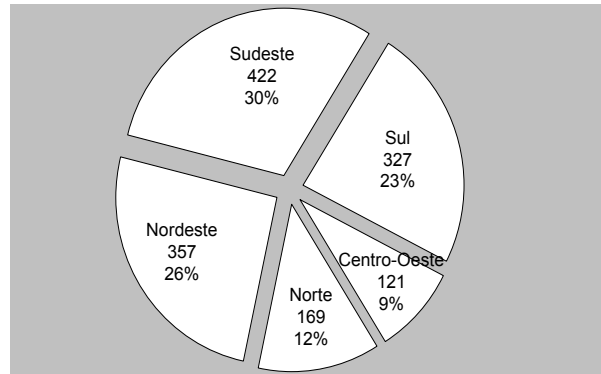


Figura 3 Custo de interrupção por região e por classe consumidora.

A seguir, os mesmos custos totalizados por região (US\$ Milhão).



1 Figura 4 Custo de interrupção por região.

2.3 Aspectos importantes

No decorrer do presente trabalho, verificou-se que merecem considerações especiais os seguintes assuntos:

- ◆ Consumidor residencial;
- ◆ Custos não-identificáveis em pesquisa;
- ◆ Confiabilidade e qualidade de energia;
- ◆ Duração e frequência equivalente;
- ◆ Variabilidade de DEC e FEC;
- ◆ Planejamento de confiabilidade.

2.3.1 Consumidor residencial

Para comparação, são apresentados o custo nacional obtido a partir dos custos unitários GCOI (1991), exceto para o consumidor residencial em que se adota a reavaliação (PNAD), e o custo nacional derivado estritamente dos custos unitários GCOI.

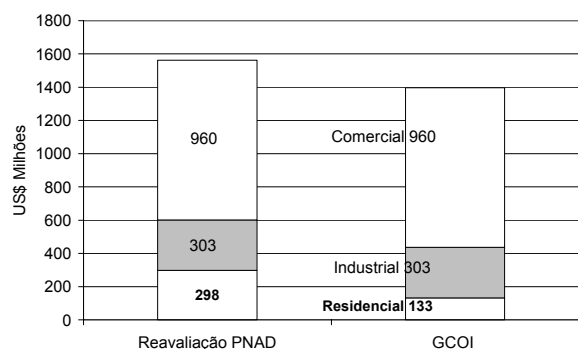


Figura 5 Custo de interrupção por setor valores de dezembro de 2004.

Verifica-se que o custo de interrupção da carga residencial (Reavaliação PNAD) é de US\$ 298 milhões, enquanto o valor estritamente GCOI (atualizado) é de US\$ 133 milhões. Tal constatação demonstra em que medida o custo da interrupção residencial baseado em valor histórico GCOI se encontra sub-avaliado e a importância da reavaliação feita.

2.3.2 Custos não-identificáveis em pesquisa

O custo do evento de confiabilidade depende de diversos fatores: do nível de atividade, de práticas comerciais (inclusive cláusulas contratuais), do processo interrompido pelo evento de confiabilidade e de qualidade da energia e não apenas da duração do próprio evento.

Uma categoria de custos corresponde a eventos de larga escala e de longa duração. São custos suportados pela infra-estrutura da sociedade (Lawton, 2003). Incluem custos associados com a resposta decorrente do estado de emergência provocado por um grande evento, que pode dar-se na área de saúde pública ou de segurança. As pesquisas dirigidas a consumidores, não são capazes de identificar esses custos, os quais, portanto, não são considerados na presente avaliação.

2.3.3 Confiabilidade e qualidade da energia

Não foram localizadas informações nacionais relativas a custo de evento de qualidade da energia ou de interrupção momentânea. Inexistem dados relativos à frequência desses eventos no Brasil. A Aneel, tampouco, implementou, até o momento, procedimento visando monitorar e registrar a ocorrência desses fenômenos.

A avaliação de custos de eventos de confiabilidade de fornecimento de energia, de maneira geral, abrange a avaliação de efeitos de interrupção momentânea (de até 3 segundos), temporárias, de 3 segundos a 1 minuto e de eventos de qualidade da energia (IEEE, 1995). Na pesquisa (GCOI, 1991) não foram avaliados esses tipos de ocorrência.

Segundo *LaCommare et alli (2004)*, o custo de interrupção momentânea nos USA representa 2/3 do custo total de interrupção. Não foram localizadas estimativas para o caso brasileiro.

A inexistência de dados inviabiliza o cálculo do custo de qualidade da energia e de descontinuidade de fornecimento de energia elétrica momentânea e temporária. Não há, assim, possibilidade de se empreender avaliação de custos decorrentes desses tipos de ocorrência.

2.3.4 Duração e frequência equivalente

Os dados de DEC e FEC foram obtidos no sítio da Internet da Aneel. Não foi possível obter esses dados desagregados por classe de consumidor (residencial; comercial e industrial) o que conferiria maior precisão às estimativas. Sabe-se que consumidores de grande porte estão sujeitos

a menor número de interrupções do que os demais consumidores.

Para se investigar o impacto dessa hipótese, simula-se o decréscimo de um desvio padrão da duração equivalente - DEC (27%) - nos índices DEC e FEC dos sistemas regionais para a classe consumidora comercial e industrial. Essa operação corresponde à diminuição de 27% das interrupções para cada uma dessas classes de consumidor relativamente ao caso base (item 3.2). Para manter os índices DEC e FEC regional com os mesmos valores, é necessário que esse número total de interrupções desconsideradas seja acrescido às interrupções para a classe consumidora residencial, de tal forma que o número total de interrupções não seja alterado.

A classe residencial possui um custo médio por interrupção (US\$ 2) que é muito menor do que o custo respectivo da classe comercial (US\$ 559) e da classe industrial (US\$ 1.113). Assim o custo regional de interrupção, para a classe residencial, mantém-se praticamente inalterado, enquanto que, para as demais classes consumidoras, as alterações do custo regional são significativas.

A variação do custo de interrupção nacional é de menos US\$ 340 milhões (figura a seguir).

Simula-se simetricamente a elevação de 27% no DEC e FEC dos sistemas regionais para a classe comercial e a industrial. Desconta-se do número de interrupções consideradas para a classe residencial no caso base (item 3.2), o número das interrupções acrescido para as demais classes, de tal forma que o número total de interrupções se mantenha. Tanto o procedimento como o impacto das alterações nos custos guardam analogia com o caso anterior.

A variação do custo nacional de interrupção foi de mais US\$ 340 milhões (figura a seguir).

2.3.5 Variabilidade de DEC e FEC

Verifica-se na base de dados da Aneel que os valores de DEC e FEC variam ano a ano. Dentre as causas possíveis, pode-se aventar o impacto de investimentos realizados ou postergados e variações climáticas. Tal característica introduz incerteza com relação à projeção de custo de interrupção.

Para se avaliar a magnitude dessas variações, simulou-se a variação das variáveis DEC e FEC de mais um desvio padrão (+27%) para todas as classes de consumidor.

O custo nacional de interrupção, nesse caso, aumentou US\$ 422 milhões (figura a seguir).

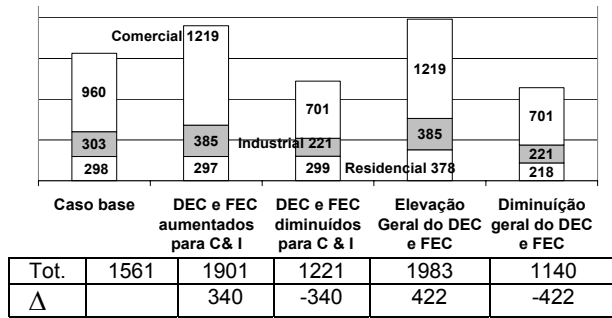


Figura 6 Incertezas nas estimativas (US\$ Milhão).

Simetricamente, simulou-se a variação das variáveis DEC e FEC de (-27%) para todas as classes de consumidor. O custo nacional de interrupção, nesse caso, diminui US\$ 422 milhões (figura anterior).

2.3.6 Planejamento de confiabilidade

Os conceitos de planejamento, baseados em valor, datam de vinte anos ou mais. A avaliação de custo pode ser utilizada para determinar o nível de investimento na melhoria da confiabilidade do sistema elétrico, em substituição aos critérios deterministas atuais.

O consumidor também pode, com base em custo, decidir pelo melhoramento da confiabilidade em suas instalações.

Na figura 6, a curva *Empresa* representa o custo para prover a confiabilidade e a qualidade da energia, composto pelos investimentos e despesas de operação e manutenção com esse objetivo. Esse custo é suportado, não somente, pela empresa concessionária de distribuição de energia elétrica. Dependendo do problema a ser equacionado, também pode envolver as empresas de transmissão e geração. O custo da empresa é crescente à medida que o nível de confiabilidade aumenta.

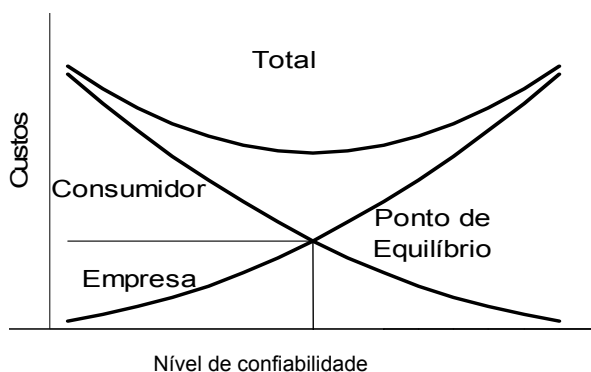


Figura 7 O ponto de equilíbrio.

A curva *Consumidor* representa o custo diretamente arcado pelo consumidor com os eventos de confiabilidade e qualidade da energia.

É decrescente com a elevação do nível de qualidade.

As duas curvas se interceptam no ponto de equilíbrio, onde os custos se igualam. Aquém desse ponto, o custo de interrupção arcado pelo consumidor é superior ao valor do custo de confiabilidade; além do ponto de equilíbrio, a situação se inverte: o custo de interrupção arcado pelo o consumidor é inferior ao valor do custo de confiabilidade correspondente.

O *Custo Total*, que engloba os dois custos citados, representa o custo total da confiabilidade suportado pela economia. No ponto de equilíbrio o custo total é mínimo.

Por se tratar de prestação de serviço, o custo de prover a confiabilidade é transferido para a tarifa de energia elétrica (desde que se trate de custo prudente conforme a Lei das Concessões). Logo, ao consumidor interessa que se opere no ponto de equilíbrio.

Para o estabelecimento da tarifa, é necessário o conhecimento de custos específicos da confiabilidade e da qualidade da energia para cada grupo de consumidor, de forma que custos repassados à tarifa correspondam aos benefícios dos consumidores com a melhoria de confiabilidade, o que requer um sistema de apuração de custo de evento de confiabilidade e qualidade da energia com capacidade de desempenhar esse requisito, como o estabelecimento de equações de custo de interrupção em função de variáveis, tais como: ramo de atividade, o consumo de energia elétrica da empresa, número de empregados do consumidor, duração da interrupção de que tratam Lawton, *et alii* 2003.

A seguir, apresentam-se algumas simulações referentes ao planejamento da confiabilidade.

◆ Suponha-se que o regulador deseje estabelecer uma meta de melhoria de confiabilidade. Para isso, é necessário determinar qual o benefício auferido pelo consumidor na redução de 20% da variável DEC no país.

Essa hipótese resulta em uma série perpétua de US\$ 312 milhões por ano de diminuição de custos para o consumidor, figura a seguir.

◆ Em outro cenário pode-se indagar, qual seria o ônus do consumidor caso investimentos na área de confiabilidade sejam adiados em um ano, com a conseqüente elevação da duração e frequência equivalente em 15%.

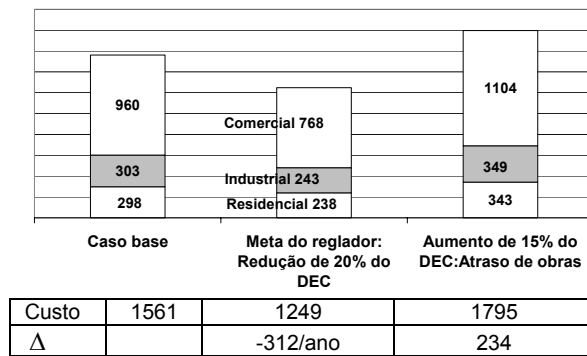


Figura 8 Planejamento de confiabilidade e qualidade da energia (US\$ Milhão).

◆ Em outro cenário pode-se indagar, qual seria o ônus do consumidor caso investimentos na área de confiabilidade sejam adiados em um ano, com a conseqüente elevação da duração e frequência equivalente em 15%.

Determinou-se que o atraso de obras de um ano onera o consumidor em US\$ 234 Milhões, figura anterior.

3.0 CONCLUSÕES

Esse trabalho apresentou duas contribuições principais:

◆ atualização de custo unitário de interrupção para a classe consumidora residencial, com base em dados do IBGE, estritamente de acordo com os critérios originais da pesquisa GCOI (1991);

Verificou-se que o custo de interrupção da carga residencial (Reavaliação PNAD) é de US\$ 298 milhões, enquanto o valor estritamente GCOI (atualizado) é de US\$ 133 milhões, o que demonstra em que medida o custo da interrupção residencial baseado em valor GCOI (atualizado) se encontra sub-avaliado e a importância da reavaliação feita;

◆ a metodologia e a determinação do custo nacional e regional de interrupção por classe de consumidor.

A falta de dados relativos a custo de evento de confiabilidade e qualidade da energia introduz incerteza na estimação de custos agregados desses eventos.

Cabe ressaltar que a pesquisa de custo de interrupção (GCOI, 1991), foi o único estudo em nível nacional localizado para a estimativa do custo por interrupção. Embora, desde então, tenham ocorrido grandes alterações tecnológicas, com impacto no comportamento das cargas, como o aparecimento da economia digital, a implementação de grandes sistemas de

processamento e transmissão de dados, a automação crescente, os quais tornaram as cargas mais sensíveis a evento de confiabilidade e qualidade da energia, não se tem conhecimento de outra pesquisa nacional similar ou de reavaliação dos resultados dessa pesquisa.

Uma barreira que se interpõe à estimativa regional e nacional de custo de confiabilidade e qualidade da energia, no que concerne à pesquisa de custos, é a ausência de estimativa de custos unitários de interrupção momentânea (até 3s) e temporária (de 3s a 1min) e de evento de qualidade de energia.

No que se refere à frequência e duração, não se dispõe de valores de DEC e FEC por classe de consumo, necessários para a projeção de custo por classe consumidora com maior precisão. Nem se dispõe desses valores por ramo de atividade, por valor de consumo de energia dos consumidores o que constitui óbice à estimativa de custos de interrupção com base nessas variáveis.

4.0 BIBLIOGRAFIA

Agência Nacional de Energia, Aneel, www.aneel.gov.br. 2005.

Comitê Técnico de Estudos de Mercado. Informe de Mercado nº 36. CCPE, MME, Eletrobrás. 2004.

Grupo Coordenador de Operação Interligada. Pesquisa sobre Custo de Interrupção no Fornecimento de Energia Elétrica - Rel. GCOI/SCCEL/GTAD-01/91. ELETROBRÁS. 1991.

Grupo Coordenador de Operação Interligada. Principais Conclusões, Interpretação e Aplicações da Pesquisa Sobre Custo de Interrupção - Rel. GCOI/SCCEL/GTAD-01/92. 1992.

Institute of Electrical and Electronics Engineers. Std 1159-1995, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. 1995.

LaCommare, K. H; Eto, J; Understanding the Cost of Power Interruptions to U.S. Electricity Consumers. Lawrence Berkeley National Laboratory. 2004.

Lawton, L.; Sullivan, M; Van Liere, K; Katz, A. A; Eto, J. A Framework and Review of Customer Outage Cost. Population Research Systems et Lawrence Bekerley Laboratory. 2003.

Lana Leite, José Renato; Oliveira, Marco Aurélio G. Avaliação dos Custos da Confiabilidade e da Qualidade da Energia Elétrica. 2005.

Massaud, A. G.; Hernandez, J.P. G. Custo de Interrupção no Fornecimento: Metodologia e Resultados da Pesquisa Direta Junto aos Consumidores. III SEPOPE, B Horizonte (MG). 1992.