



MERCADOS  
ENERGÉTICOS  
CONSULTORES



# AVALIAÇÃO DOS CUSTOS RELACIONADOS ÀS INTERRUPÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA E SUAS IMPLICAÇÕES NA REGULAÇÃO

Relatório 3.b (versão final)

Preparado para



MARÇO DE 2016

---

## AVALIAÇÃO DOS CUSTOS RELACIONADOS ÀS INTERRUPÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA E SUAS IMPLICAÇÕES NA REGULAÇÃO

### RELATÓRIO 3.B

#### CONTEÚDO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>ABORDAGEM METODOLÓGICA .....</b>	<b>6</b>
3.1	INTRODUÇÃO E MÉTODO PROPOSTO .....	6
3.2	CUSTO DA INTERRUPÇÃO E CUSTO SOCIAL DA ENERGIA NÃO DISTRIBUÍDA.....	6
3.3	FUNÇÕES DE CUSTOS DOS CONSUMIDORES .....	8
3.4	APLICAÇÃO DA FUNÇÃO CDF PARA OBTENÇÃO DO CUSTO DA ENERGIA NÃO SUPRIDA.....	12
3.5	META-ANÁLISE .....	12
<b>4</b>	<b>O VALOR DA ENERGIA E O USO DE PESQUISAS DE CUSTO DA INTERRUPÇÃO PARA AVALIAÇÃO DO CUSTO DA ENERGIA NÃO DISTRIBUÍDA .....</b>	<b>15</b>
4.1	INTRODUÇÃO.....	15
4.2	VALOR DA ENERGIA E SEU USO .....	15
4.3	AVALIAÇÃO DAS DIFERENÇAS COM O CONSUMO DE ENERGIA NO PRODUTO INTERNO BRUTO EM DIVERSAS NAÇÕES.....	18
4.4	ESTUDO DE CASO: ESTIMANDO O CUSTO DA INTERRUPÇÃO NOS ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA..	22
<b>5</b>	<b>APLICAÇÃO E DISCUSSÕES.....</b>	<b>30</b>
5.1	ABORDAGENS SUGERIDAS PARA UTILIZAÇÃO DO CUSTO DA INTERRUPÇÃO NA LITERATURA .....	30
5.2	MÉDIA INTERNACIONAL PARA CUSTO DA INTERRUPÇÃO .....	31
5.3	META-ANÁLISE COM BASE NO PIB.....	34
5.4	EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS E ANÁLISE DE APLICAÇÃO .....	38
5.5	COMENTÁRIOS FINAIS A RESPEITO DOS RESULTADOS DO RELATÓRIO 3.A.....	40
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS (COM AS REFERÊNCIAS DO RELATÓRIO 1, 2 &amp; 3).....</b>	<b>43</b>

## **AVALIAÇÃO DOS CUSTOS RELACIONADOS ÀS INTERRUPÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA E SUAS IMPLICAÇÕES NA REGULAÇÃO**

### **RELATÓRIO 3**

#### **1 INTRODUÇÃO**

A Sinapsis Inovação em Energia Ltda, a Mercados de Energia Consultoria Ltda, e a Mercados Energéticos Consultores S.A., o “Consultor”, apresentam a seguir o Relatório 3b, “Definição da função de custo da interrupção da energia elétrica para consumidores utilizando-se os resultados de outras pesquisas realizadas no Brasil e exterior, adequando-as à realidade brasileira”, correspondente ao Contrato Nº 107/2015 assinado com a ANEEL para desenvolver “Serviços de Consultoria para Avaliação dos Custos Relacionados às Interrupções de Energia Elétrica e suas Implicações na Regulação”.

O objetivo geral do projeto é obter uma estimativa do custo associado às interrupções de energia elétrica no Brasil. Essa estimativa deve ser realizada desde ambas a perspectiva do consumidor e a perspectiva do distribuidor, considerando os custos relacionados à melhoria da confiabilidade do sistema de distribuição. O objetivo final é subsidiar à ANEEL no estabelecimento de limites nos indicadores de continuidade, assim como nos ajustes nas compensações pagas aos usuários devido à má qualidade do serviço. Enquanto que os objetivos específicos desse projeto são:

- i) Apresentar os fundamentos conceituais e efetuar a pesquisa bibliográfica atualizada relativa ao assunto, abrangendo as principais metodologias citadas;
- ii) Avaliar os principais estudos publicados sobre o assunto no Brasil e no exterior;
- iii) Definir qual é a melhor metodologia a ser aplicada no Brasil para a avaliação do custo das interrupções aos consumidores;
- iv) Definir o custo da interrupção da energia elétrica para os consumidores utilizando-se modelos econométricos, para vários cenários;
- v) Definir o custo da interrupção da energia elétrica para consumidores utilizando-se os resultados de outras pesquisas realizadas no Brasil e exterior, adequando-as à realidade brasileira, para vários cenários;
- vi) Definir modelos de custo de interrupção (Funções de Custo do Consumidor, Custo da Energia Não Suprida e Modelos de Custo Combinado) por tipos de consumidores e modelos para definição de Funções de Custo do Consumidor Composto;
- vii) Definir as funções de custo relacionadas com a melhoria da confiabilidade do sistema de distribuição;

- viii) Avaliar qual o melhor mecanismo de incentivo para que as distribuidoras atinjam os valores desejados.

Os estudos e produtos consolidados neste projeto poderão fornecer subsídios para futuras ações do regulador com relação à continuidade da energia elétrica, especificada por funções de custo de interrupções no fornecimento aos consumidores de todo o Brasil, sejam eles conectados na distribuição ou transmissão.

O produto 3 é dividido em dois relatórios:

**Relatório 3.a:** Definição da função de custo da interrupção da energia elétrica para os consumidores utilizando-se modelos econométricos; e

**Relatório 3.b:** Definição da função de custo da interrupção da energia elétrica para consumidores utilizando-se os resultados de outras pesquisas realizadas no Brasil e exterior, adequando-as à realidade brasileira.

## 2 OBJETIVO

Este relatório intitula-se “Definição da função de custo da interrupção da energia elétrica para consumidores utilizando-se os resultados de outras pesquisas realizadas no Brasil e exterior, adequando-as à realidade brasileira”, sendo o **Relatório 3.b** do Produto 3.

Os objetivos são:

- Listar estudos realizados para obtenção de funções de custo de interrupção a consumidores/acessantes na distribuição e transmissão de energia elétrica, com base em outras pesquisas e/ou características intrínsecas ao consumidor/acessante (classe de consumo, localização geográfica, tensão contratada, dentre outros) com origem nacional e/ou internacional.
- Produzir documento que sintetize a definição e a aplicação da metodologia para avaliação do custo de interrupção com base em pesquisas anteriormente realizadas, a consumidores/acessantes na distribuição e transmissão de energia elétrica, que esteja aderente ao setor elétrico brasileiro. Para tal, devem-se avaliar os modelos selecionados e realizar considerações que os façam aderentes à realidade brasileira.

O relatório apresenta e debate os seguintes tópicos:

- Quais são as metodologias utilizadas internacionalmente para utilização de dados de custos de interrupção de pesquisas anteriores;
- Qual é a função de custo das interrupções de energia elétrica para os consumidores utilizando-se resultados de outros estudos? Quais são as funções por área de concessão e por estado?

- Os valores das funções de custos dos consumidores obtidos nos procedimentos anteriores estão coerentes? Se não, por quê?
- Qual a estimativa de custo para os consumidores devido às interrupções de um determinado ano. É possível estimar estes dados por área de concessão, Estado e para todo o Brasil?
- Os resultados apresentados são suficientemente precisos? Há necessidade de estudos adicionais?

Por fim, demanda-se a possibilidade de segmentar a função de custo dos consumidores de acordo com as principais propostas na literatura. Por exemplo, por classe de consumo, localização geográfica, tensão contratada, duração das interrupções (pelo menos quatro cenários), existência de aviso prévio etc. Deve-se também apresentar as funções de custos por interrupção, por energia e por demanda, e a combinação dessas, conforme propostas na literatura. Nesse sentido é pesquisado na literatura os comportamentos esperados observados em diversas pesquisas.

O estudo deverá abranger todos os consumidores do país, independentemente de estarem conectados na distribuição ou na transmissão (em DIT ou na Rede Básica). No entanto, o contratado deverá segregar necessariamente todos os custos entre consumidores conectados na distribuição e consumidores conectados na transmissão. Afinal, os relatórios seguintes possuirão foco maior na distribuição.

### **3 ABORDAGEM METODOLÓGICA**

#### **3.1 Introdução e método proposto**

De acordo com os objetivos propostos em contrato, pretende-se obter uma avaliação dos custos de interrupção através da aplicação de estudos constantes da literatura, em trabalhos nacionais e internacionais, efetuando-se as considerações e adaptações necessárias. De maneira geral espera-se obter a função do custo da interrupção e aplicá-la a diversos extratos de consumidores, de maneira a indicar qual seria o custo da interrupção para o Brasil, para os Estados e para as áreas de concessão.

Para isso este relatório consolida ou apresenta novamente aspectos do custo da interrupção, entre eles:

- Custo da Interrupção e custo social da energia não distribuída.
- Função ou Curva do custo da interrupção (ou curvas de custos de danos para os consumidores)
- Aplicação da função CDF para obtenção do custo da energia não suprida
- Uso de dados de outras pesquisas para definição da função ou do custo da interrupção
- Possibilidades efetivas para uso dos dados nacionais e internacionais, com base na bibliografia levantada

Os temas relacionados com a função de custo da interrupção serão abordados neste capítulo, consolidando temas que já foram apresentados neste projeto. Os demais temas serão alvos de capítulos específicos.

Além desses temas, são listadas as pesquisas de custos da interrupção, já levantadas nas etapas anteriores, com adição de algumas outras, de acordo com a possibilidade.

Com os estudos de trabalhos anteriores é possível estabelecer quais seriam as abordagens corretas ou válidas em relação ao objetivo proposto neste relatório. Com base na consolidação dos dados são feitos os cálculos e estimativas para obtenção das curvas de custo da interrupção e a aplicação nos casos esperados.

#### **3.2 Custo da Interrupção e custo social da energia não distribuída**

O conceito de custo da interrupção de energia elétrica é utilizado na literatura internacional, genericamente, para definir e agrupar os custos econômicos que afetam a sociedade, resultantes de uma interrupção de fornecimento.

O custo da interrupção (CI), na sua definição usual, representa o prejuízo de um usuário resultante da interrupção de fornecimento sem prévio aviso que o afeta, quantificado unitariamente por R\$/kWh interrompido.

A cada modalidade de consumidor afetado por uma interrupção está associado um valor do prejuízo que ela lhe causa. Assim, o custo de interrupção de energia em uma indústria têxtil é diferente do de um grande comércio ou de uma residência, assim em pesquisas os custos da interrupção são publicados agregados por tipos de consumidores e por atributos relacionados com a interrupção (horário da interrupção, tempo de interrupção, estação do ano, etc.). Estes valores agregados também são conhecidos como “funções de custos dos consumidores”.

O conceito de energia não suprida (ENS), na sua definição usual, é da energia que deixou de ser consumida em decorrência de uma interrupção. O custo social da energia não suprida (CENS) é a monetarização dos custos diretos e indiretos para toda a sociedade decorrentes da energia não suprida. Este valor diverge do custo da energia não faturada pela distribuidora. O valor do CENS pode agregar o custo da interrupção de diversos agentes de maneira a representar a sociedade como um todo, dentro de uma área de concessão, representando o valor médio do custo da interrupção em R\$/MWh.

Em relação aos custos incorridos em decorrência de uma interrupção de fornecimento, a literatura distingue dois tipos de custos de interrupção associados aos usuários afetados: diretos e indiretos.

Os custos diretos são aqueles que ocorrem durante o corte, normalmente identificados como os custos para os consumidores, devido à interrupção de sua atividade normal de produção ou de consumo direto, como por exemplo: perda de produção, perda de bem-estar, retomada do processo de produção, deterioração de matéria prima.

Os custos indiretos são os incorridos pelos usuários quando compra equipamentos ou executa instalações para adequar o nível de confiabilidade que necessita diante do que a rede pública lhe oferece. Neste caso está a compra de geradores de emergência, nobreaks, geração de cópias de segurança de documentos e dados, entre outros.

Os custos totais para os usuários afetados são a soma dos custos diretos e indiretos.

Há outros custos associados às repercussões na sociedade de uma interrupção do serviço de energia, como por exemplo, uma interrupção na rede que alimenta o Metrô, que não só afeta os usuários deste serviço como também a produção nos estabelecimentos industriais ou comerciais a quem os mesmos prestam serviço.

O custo de uma interrupção de energia para a sociedade é a soma dos prejuízos diretos e indiretos dos usuários, adicionada aos custos do impacto nos outros setores afetados, que produzem efeitos negativos.

A quantificação do custo de interrupção (CI), e também do custo da energia não suprida (CENS), são importantes para a otimização de planejamento dos investimentos na rede e no desenho de esquemas tarifários.

### 3.3 Funções de custos dos consumidores

As perdas que os consumidores experimentam em decorrência de problemas com a qualidade de fornecimento de energia elétrica podem ser representadas economicamente por uma Função de Danos ao Consumidor (do inglês “Customer Damage Function” ou CDF, que expressa as perdas econômicas do consumidor em função de atributos tais como duração da interrupção, estação do ano, momento do dia, aviso prévio, etc., que visam representar a magnitude de determinada interrupção (EPRI, 1995):

$$\text{Perdas Econômicas (\$/kW)} = f(\text{duração, estação do ano, momento do dia, aviso prévio})$$

As perdas econômicas devido às interrupções acontecem também em função ao segmento de mercado típico do consumidor e em relação ao seu nível de consumo, como por exemplo, clientes residenciais, industriais de pequeno porte, industriais de grande porte, clientes comerciais, tal como tratado no relatório 2 deste projeto. Nota-se que a normalização da função é importante: No exemplo acima o custo é normalizado pela potência do cliente.

A função de dano pode ser mais específica e, normalmente, o “momento do dia” é dividido em três horários, manhã, tarde, noite e em dias úteis e finais de semana. Em relação a duração da interrupção há no mínimo três tempos distintos: poucos minutos, uma hora, mais de dez horas; entretanto é comum estudos com 4 durações.

Por fim, em alguns estudos há a diferenciação entre clientes urbanos e rurais, dentro de uma mesma região ou em relação a uma área que cobre todo um país. Esse critério é mais comum em países com dimensões menores.

#### EXEMPLO DA FUNÇÃO DE CUSTO DOS CONSUMIDORES

O artigo de Massaud, Schilling e Hernandez (1994) apresenta os trabalhos realizados para levantamento da função de dano ao consumidor para as 5 Regiões brasileiras. Neste artigo são avaliadas três classes de clientes: residencial, comercial e industrial. Clientes rurais, de tração ou elétrica ou de iluminação não são considerados. Para os clientes comerciais e industriais, os cenários são levantados em 6 intervalos de duração da interrupção e em 3 períodos do dia. Para os clientes residenciais foi considerado somente um cenário de consumo, indo das 17h00 até as 22h00 e com base econômica na renda da família. A exposição das funções foi feita das seguintes formas:

- Através de tabelas (com valores não cumulativos)



- Através de gráficos
- Através de uma função de regressão da forma  $C = at^b$

Para os clientes residenciais considerou-se que o custo da interrupção não se modifica em função da duração da interrupção e o método utilizado para quantificação do custo é através da correlação entre valor do trabalho e do ócio<sup>1</sup>.

Para os clientes industriais e comerciais o método de levantamento de custos da interrupção foi através de pesquisa ao consumidor com valoração por custeio direto. A Tabela 1 apresenta os resultados de custos da interrupção para os consumidores comerciais. A Tabela 2 apresenta tais resultados para os consumidores industriais. Os valores estão em U\$S / kWh, sem atualização, ou seja, valores do início da década de 1990.

**Tabela 1: Função do custo da interrupção para consumidores comerciais no Brasil, começo da Década de 1990 em dólares da época. Fonte: Massaud, Schilling e Hernandez (1994). Elaboração própria.**

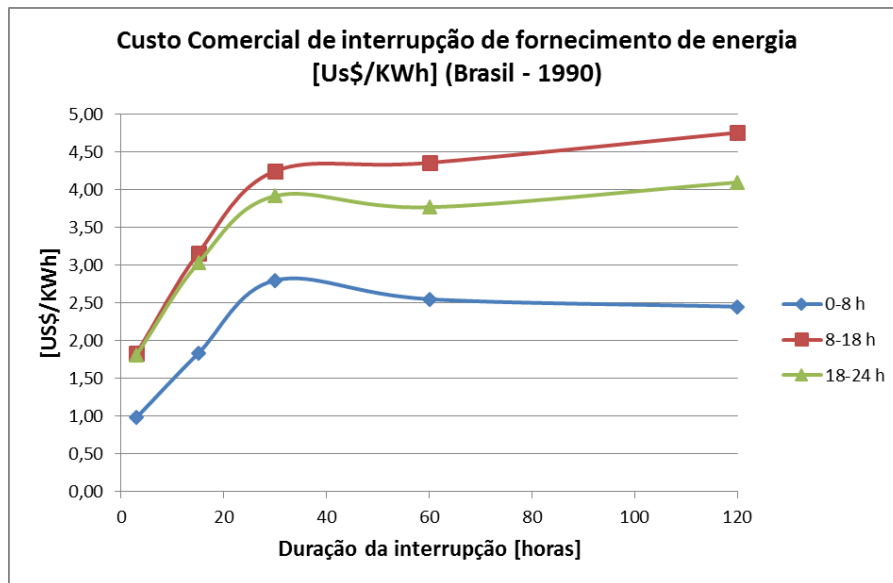
Custo comercial de interrupção de fornecimento de energia (US\$/KWh)						
Duração da interrupção em minutos						
Período	3 min.	15 min.	30 min.	60 min.	120 min.	acima de 120'
0-8 h	0,98	1,83	2,80	2,55	2,45	2,69
8-18 h	1,83	3,16	4,25	4,36	4,76	3,76
18-24 h	1,81	3,03	3,92	3,77	4,10	3,14

<sup>1</sup> Ver Relatório do Produto 3a para maiores detalhes sobre abordagem trabalho versus ócio.

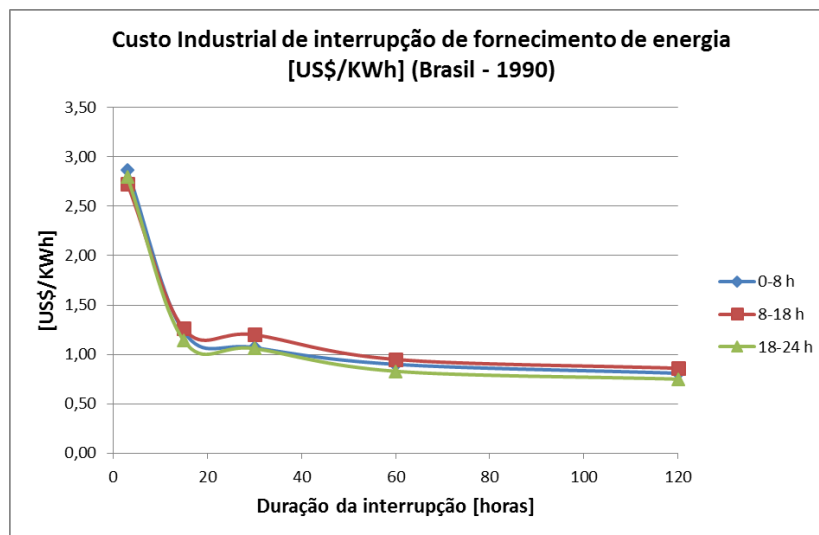
**Tabela 2: Função do custo da interrupção para consumidores industriais no Brasil, começo da Década de 1990 em dólares da época. Fonte: Massaud, Schilling e Hernandez (1994). Elaboração própria.**

Período	Custo Industrial de interrupção de fornecimento de energia (US\$/KWh)					
	Duração da interrupção					
	3 min.	15 min.	30 min.	60 min.	120 min.	acima de 120'
0-8 h	2,87	1,23	1,07	0,90	0,81	0,78
8-18 h	2,73	1,26	1,20	0,95	0,86	0,78
18-24 h	2,80	1,14	1,06	0,83	0,75	0,78

Os dados da função de custo da interrupção também podem ser expressos em gráficos, tais como os apresentados nas Figura 1 e Figura 2. Nesse caso os valores são apresentados por duração e uma curva é extrapolada graficamente para coincidir com cada ponto. Na Figura 1 são apresentados os dados para clientes comerciais, para os quais os valores de custo unitário da interrupção em US\$/kWh são menores nos momentos iniciais de uma interrupção (3 minutos) do que após duas horas de interrupção (120 minutos). Já para os clientes industriais observa-se o contrário, que os valores de custo unitário da interrupção em US\$/kWh são maiores nos momentos iniciais de uma interrupção. Esse era o comportamento esperado das cargas no começo da década de 1990 e os princípios que geraram estes comportamentos podem não ser mais válidos. Observa-se também na Figura 2 que os custos unitários variam muito pouco para diferentes horários do dia (madrugada, dia, noite).



**Figura 1: Gráfico da função do custo da interrupção para consumidores comerciais no Brasil, começo da Década de 1990 em dólares da época. Fonte: Massaud, Schilling e Hernandez (1994). Elaboração própria.**



**Figura 2: Gráfico da função do custo da interrupção para consumidores industriais no Brasil, começo da Década de 1990 em dólares da época. Fonte: Massaud, Schilling e Hernandez (1994). Elaboração própria.**

### 3.4 Aplicação da função CDF para obtenção do custo da energia não suprida

A aplicação da função de dano ao consumidor busca valorar a média dos custos de interrupção vinculados com determinado evento, para determinada classe de consumidores. A função é normalizada (por exemplo, em função da carga em kW) e aplicação se dá de maneira a multiplicar o fator de escala (no exemplo, a carga dos consumidores de determinada classe) pela função em determinado cenário (duração, estação do ano, momento do dia, aviso prévio, etc.) de forma a obter o custo esperado de tal interrupção. Outra forma de normalização adotada, além da carga é a energia não distribuída (em kWh).

A vantagem de se usar função de danos aos consumidores é que se pode construir, de maneira agregada, uma função capaz de calcular o custo da energia não suprida para um determinado evento em uma região, agregando-se as funções proporcionalmente ao fator de escala das diversas classes consideradas. Esta função agregada é chamada também de função composta de danos ao consumidor (CCDF, do inglês composite customer damage function).

A aplicação dessa função resulta na obtenção do custo da interrupção (em R\$, por exemplo) para um determinado evento considerando os parâmetros da função e o fator de escala das classes envolvidas (por exemplo, uma interrupção de 30 minutos, à tarde, para uma região de potência determinada com proporções sabidas de distribuição da carga entre as classes). Ela também pode ser aplicada para calcular quanto custou diretamente uma interrupção em determinado local. Entretanto essa função não calcula o valor de interrupção para um determinado cliente, pois ela representa a média e não um caso específico.

No extremo de sua aplicação essa função pode ser utilizada para calcular o custo da energia não suprida com base no DEC e FEC de uma concessão ou Estado, sabendo as proporções de cenários nos quais ocorrem as interrupções. Obviamente este método agregado apresenta limitações relacionada a maneira como a proporção dos cenários é avaliada. Por exemplo, pode criar um cenário no qual haja um número de interrupções igual ao FEC e a duração igual ao DEC/FEC, sendo que as interrupções acontecem aleatoriamente durante os períodos do dia. Este cenário pode, no entanto, não corresponder à realidade. No entanto o levantamento desses dados estatísticos de interrupções ainda não é publicado atualmente pelas distribuidoras ou pela ANEEL.

Uma consideração deve ser feita: a avaliação da preferência em relação a FEC ou DEC deve ser feita em pesquisa direta. O uso de variações na CCDF em relação a DEC e FEC pode balizar os estudos, porém não deve ser usado como mensuração de valor, sobretudo no caso de serem utilizados valores médios (DEC e FEC) para o cálculo.

### 3.5 Meta-Análise

Em linhas gerais, a meta-análise (ou metanálise) é uma técnica estatística desenvolvida para integrar os resultados de dois ou mais estudos independentes, sobre uma mesma questão de pesquisa, buscando um resumo desses trabalhos. De acordo com Harris M. Cooper, professor

---

Avaliação dos Custos Relacionados às Interrupções de Energia Elétrica e suas Implicações na Regulação

do departamento de Psicologia e Neurociência da Duke University, o termo meta-análise se refere à análise estatística dos resultados de estudos individuais a fim de integrar os resultados (Cooper, H.; Hedges, L.V.; Valentine, 2009).

A meta-análise passou para uso geral devido à necessidade de síntese de pesquisa e a sua expansão nas ciências sociais, por exemplo, Wampold et al. (2000), demonstraram a utilidade da meta-análise ao aplicada à casos em psicoterapia, educação e medicina, descrevendo como a meta-análise foi utilizada para acabar com debates acirrados e chegar a conclusões firmes e duradouras, mostrando também como Gene Glass, que cunhou o termo meta-análise em 1976 a utilizou e refutou afirmações anteriores. Gene Glass, pensava que os resultados acumulados de estudos devem ser considerados como dados complexos, que são tão compreensíveis sem análise estatística quanto os dados encontrados em estudos individuais. Os procedimentos para a realização de meta-análises apareceram em artigos e textos estatísticos antes de 1976, mas não eram aplicados com frequência ou eram aplicados de maneira que não geravam consenso.

Nos estudos de energia elétrica o uso de meta análise é mais comum na comparação de preços de energia, elasticidades e custos da eficiência energética. No caso do cálculo do custo da energia não distribuída (ou do custo da interrupção), as pesquisas de Sullivan et. al (2009 e 2015) estão entre as referências mais citadas. Por outro lado, é muito comum nos artigos e trabalhos de custo da interrupção a comparação com custos de interrupção de outros países, normalmente a título de ilustração<sup>2</sup>. As comparações de custo da interrupção entre diferentes jurisdições normalmente assumem caractere qualitativo, como pode ser verificado no estudo realizado pela London Economics International para o “Electric Reliability Council of Texas” (ERCOT) em 2013 (London Economics International, 2013), sobre o assunto de custo da energia não distribuída, no qual a abordagem adotada foi através de estudos macroeconômicos, mesmo sendo revisados 10 estudos de jurisdições diferentes.

Ao contrário dos dados de macroeconomia, a literatura não é muito extensa no assunto de obtenção do custo da qualidade utilizando-se meta-análise. Dois trabalhos usam explicitamente este procedimento: O já citado de Sullivan et al. (2009 e 2015) e um trabalho realizado pelo Enerq-USP em 2014 para a Abradee em projeto de P&D (Enerq, 2014).

A metodologia apresentada por Enerq-USP em 2014 visava comparar o custo por MWh de uma interrupção (Custo da energia não distribuída) de 1 hora em diversos estudos, considerando a relação entre custo da interrupção e o Produto Interno Bruto (PIB), através de meta-análise. Por

---

<sup>2</sup> As referências de custo da interrupção apontadas no relatório 1 deste projeto utilizam frequentemente este procedimento, ilustrando ou comparando os custos da interrupção ou os custos da energia não distribuída entre países ou regiões diferentes, a exemplo do trabalho de Massaud et al (1994) que também compara os custos obtidos na pesquisa no Brasil com custos divulgados no Canadá e nos Estados Unidos.

fim o resultado foi aplicado a um caso brasileiro (para uma área de concessão), considerando três classes de clientes: residencial, comercial e industrial.

## **4 O VALOR DA ENERGIA E O USO DE PESQUISAS DE CUSTO DA INTERRUPÇÃO PARA AVALIAÇÃO DO CUSTO DA ENERGIA NÃO DISTRIBUÍDA**

### **4.1 Introdução**

As pesquisas de custos de interrupção de energia elétrica são dispendiosas: demandam tempo e recursos econômicos para serem feitas. Mesmo frente a tais dispêndios, diversos países ou estados realizam pesquisas de custo de interrupção. Neste cenário resplandece a questão: seria possível utilizar o resultado de diversas pesquisas feitas nacionalmente e internacionalmente para se obter valor de custo da interrupção esperado para o Brasil e para as diversas regiões brasileiras?

Para responder esta questão este capítulo analisa as possibilidades relacionadas com este questionamento, partindo de um trabalho realizado nos Estados Unidos da América, como estudo de caso, analisando trabalhos de P&D realizados no Brasil sobre o tema, verificando as questões que dificultam a transferência direta de dados externos para a realidade brasileira e finalmente propondo algumas alternativas que servem como balizadoras para o estabelecimento de um custo da interrupção provisório, antes da realização de pesquisas de campo.

Torna-se evidente ao longo da análise realizada que a utilização de valores externos ou de estudos antigos para a realidade brasileira tem limitações. Por outro este valor (ou função de valores) tem a facilidade de servir como ponto de referência para estudos futuros.

### **4.2 Valor da energia e seu uso**

Este subcapítulo apresenta algumas questões fundamentais quando se compara o consumo de energia entre países ou regiões. Dentre os aspectos mais importantes estão:

- Relação entre o consumo per capita de energia e o desenvolvimento econômico;
- Possibilidades de usos energéticos;
- Variações nos preços dos insumos energéticos de país para país;

Um das questões fundamentais no aspecto de desenvolvimento econômico de um país é seu consumo de energia. Goldemberg (Goldemberg e Lacon, 2008) apontou que o consumo de energia equivalente per capita é um indicador do desenvolvimento, mostrando a diversidade no consumo per capita em diversas regiões do mundo. Países com consumo abaixo de uma tonelada equivalente de petróleo (TEP) apresentam taxas de analfabetismo, mortalidade infantil e fertilidade total altas quando comparado com os demais países. Por outro lado, os países ditos como desenvolvidos apresentam consumo per capita maior do que 2 TEP, em comparações feitas no começo da década de 2000.

Goldemberg, ao comparar o consumo energético de diversos países em relação ao seu nível de desenvolvimento, notou que os usos energéticos e os insumos energéticos podem variar muito de país para país, mas normalmente seguem alguns padrões, principalmente relacionados com:

- O uso de biomassa para cocção em países com renda per capita menor
- Predominância do uso de combustíveis fósseis na matriz energética na maioria dos países
- Predominância do uso de gás natural ou energia elétrica em residências de países com maior renda per capita
- Acima de 3 ou 4 TEP parece não haver correlação inequívoca entre riqueza econômica e consumo de energia.

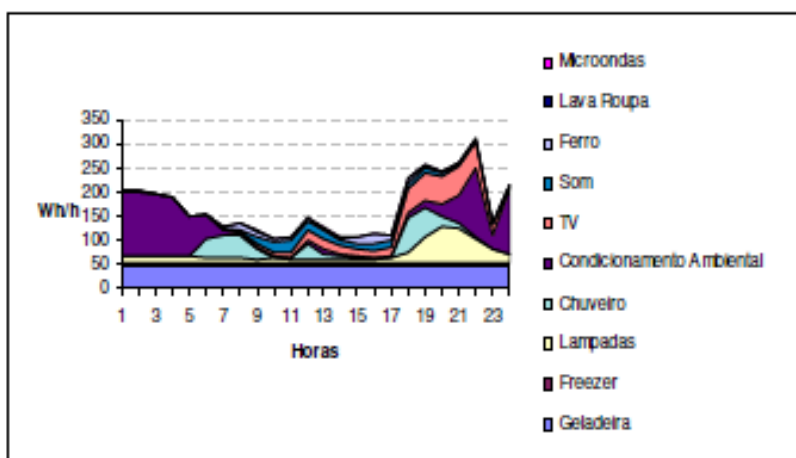
De certa maneira, essas evidências (dentre outras), apontavam que há um patamar mínimo de consumo para o desenvolvimento econômico, porém para consumos per capita acima de 2 TEP não há uma relação clara entre o nível de riqueza per capita e o consumo de energia.

Entretanto quando se compara o consumo de energia elétrica de diversos países, o valor de TEP per capita não é suficiente para tal comparação. Isso porque os usos de energia e consumo podem ser diferentes. A energia elétrica não é necessariamente o insumo energético fundamental no consumo das residências. Há também, por exemplo, consumo relacionado com gás natural ou gás liquefeito de petróleo, consumo relacionado com água quente encanada, com biomassa, etc. Os insumos energéticos são substituíveis de acordo com o uso, custo e com a tradição de cada país.

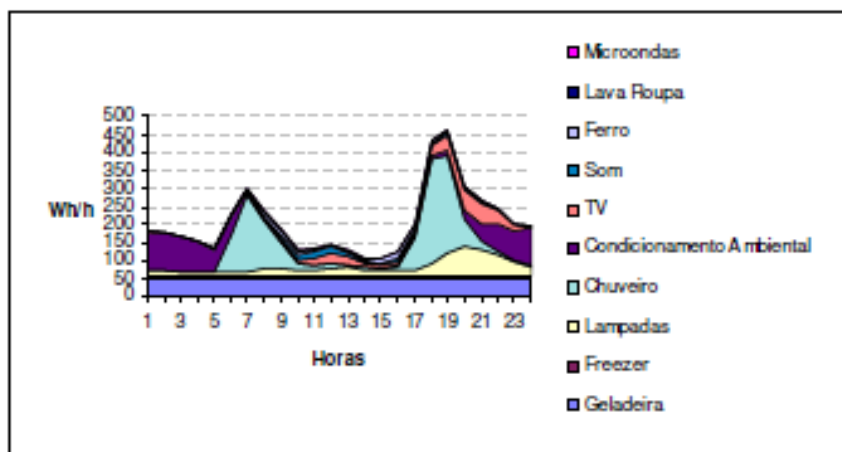
Alguns exemplos são notáveis em relação a diferenças entre usos energéticos e fontes energéticas entre países ou regiões diversas: o uso de energia elétrica para aquecimento de água para banho não é muito frequente no mundo, por outro lado o aquecimento de água e do fornecimento de conforto térmico através do uso de gás natural é muito frequente no mundo, porém pouco frequente no Brasil.

Os usos também podem variar de região para região. O caso do Brasil é, nesse sentido, atípico. Os resultados da pesquisa de posses de equipamentos (elétricos) e hábitos de uso do Procel (Eletrobrás e Procel, 2007) apontam algumas diferenças de consumo entre as Regiões Brasileiras. Por exemplo, as Figura 3 e Figura 4 mostram as diferenças médias de consumo entre uma residência da região Nordeste e Centro-Oeste.





**Figura 3: Curva média diária na região Nordeste – Fonte: Eletrobrás e Procel 2007**



**Figura 4: Curva de carga diária média na região Centro-Oeste – Fonte: Eletrobrás e Procel 2007**

Através da comparação das figuras acima fica evidente que o uso de chuveiro gera variação do uso da energia em relação a estas duas regiões, em três aspectos: consumo médio, horários prioritários de consumo e demanda máxima.

Por fim, entre países é normal haver diferenças entre as matrizes energéticas. Eventualmente tais diferenças impactam também nos hábitos de consumo.

Sabe-se que no Brasil há maior participação de energias renováveis na matriz energética, principalmente ligadas a energia de “cana-de-açúcar” (dos diversos aproveitamentos dessa biomassa) e também de energia hidroelétrica (EPE, 2015). Em contrapartida muitos países

Avaliação dos Custos Relacionados às Interrupções de Energia Elétrica e suas Implicações na Regulação

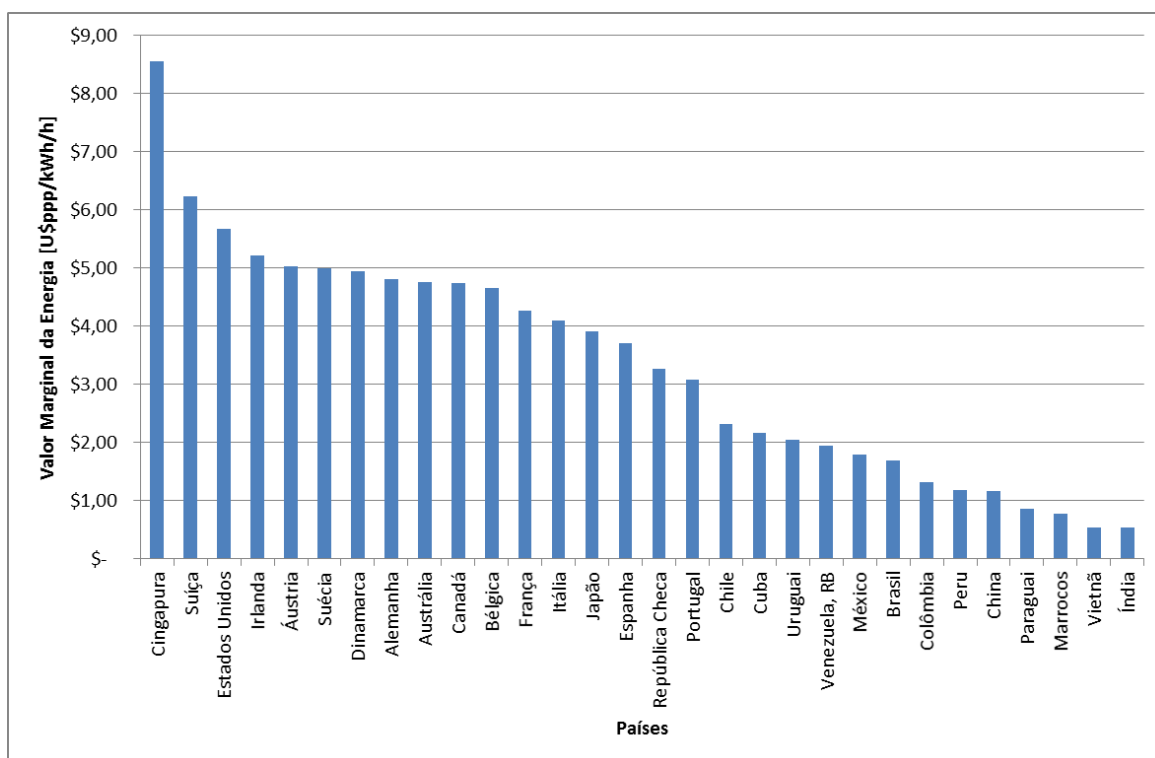
desenvolvidos utilizam fontes fósseis majoritariamente (Goldemberg, 2007) e apresentam diferenças de usos, tais como o chuveiro “aquecido” a gás natural ou similar.

Diferenças na matriz energética e nas distâncias internas de cada país podem impactar também os preços dos insumos e, conseqüentemente os hábitos. Nesse sentido os custos relacionados com o fornecimento de energia elétrica variam de acordo com o insumo e processo de geração de energia, com o transporte e distribuição e com os encargos relacionados com a energia. Assim os custos com cada kWh de energia elétrica consumido podem variar de país para país.

#### **4.3 Avaliação das diferenças com do consumo de energia no Produto interno bruto em diversas nações**

Dado as evidências qualitativas sobre o uso da energia e seu valor, pode-se procurar indícios quantitativos dessa relação através de dados de produção e consumo de energia disponíveis no Banco Mundial.

Com base nos dados de PIB per capita e no consumo per capita é possível estimar qual o valor adicionado por acréscimo de 1 kWh a econômica, sendo um valor marginal da variação de uma unidade energética, tanto em acréscimo quanto em decréscimo. Assim seria coerente pensar que este valor é uma aproximação para o custo do déficit no país, e também para uma interrupção planejada. Os dados estão em valores de Dólares em paridade poder de compra (ppp) de 2011. Os valores de energia são divididos por 8760 horas (número de horas em um ano), representado o acréscimo unitário de energia 1kWh/h.

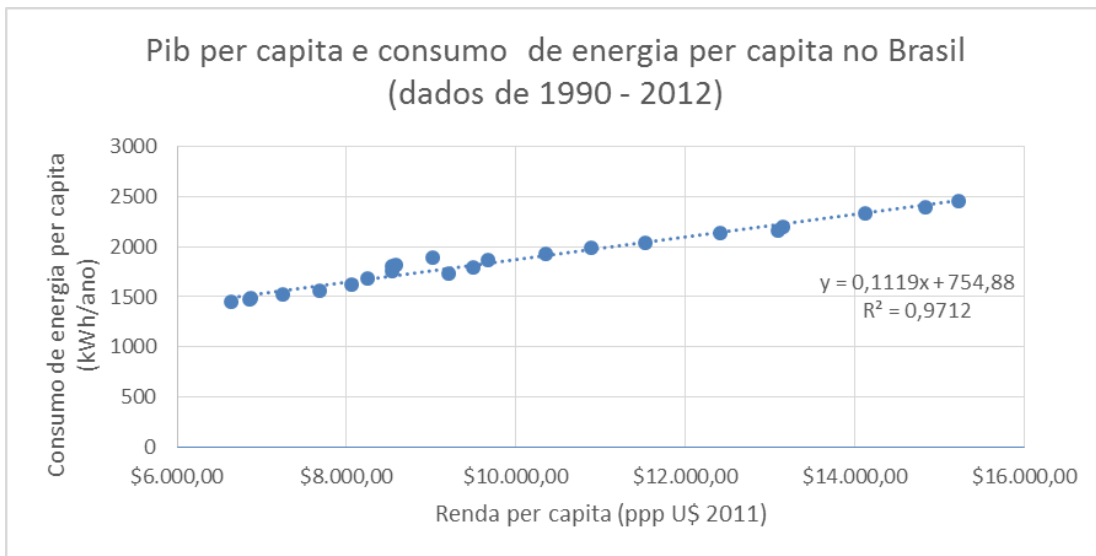


**Figura 5: valor marginal unitário da energia no PIB para diversos países em dolares ppp e consumo de 2011. Fonte: Banco mundial, elaboração própria.**

A Figura 5 ilustra os resultados para alguns países selecionados da correlação entre o PIB e o consumo de energia, por unidade.

Também é possível, através dos dados do banco mundial, avaliar como evoluiu o consumo de energia per capita de acordo com o PIB no Brasil, como apresentado na Figura 6. Nota-se que o aumento de consumo está correlacionado com o PIB per capita em cerca de 11%<sup>3</sup>. Nesse contexto não são comparados os preços da energia, apenas a relação entre PIB per capita e consumo de energia per capita. Exemplificando através do gráfico, para um aumento de \$11.000 para \$ 15.000 dólares ppp na renda per capita, há um aumento de consumo aproximado de 2.000 kWh per capita para 2.500 kWh per capita.

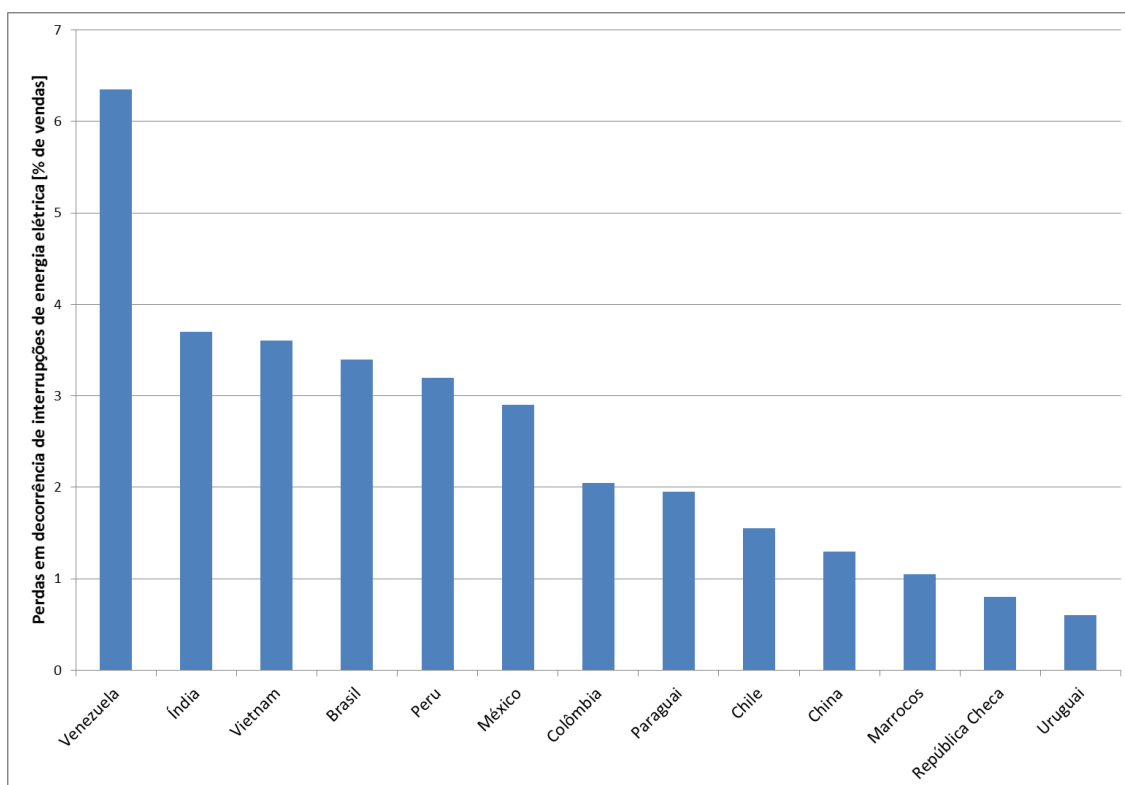
<sup>3</sup> Os valores são significativos e a correlação é forte, com R<sup>2</sup> da ordem de 0,97.



**Figura 6: Evolução do consumo per capita em relação a renda per capita no Brasil, dados em dólares ppp 2011. Fonte: Banco Mundial, elaboração própria.**

O Banco Mundial mantém estudos sobre o impacto de interrupções de energia elétrica no comércio de diversos países. Embora tais valores não sejam verificados anualmente pode-se utilizá-los para verificar se há correlação entre PIB e interrupções de energia elétrica. A Figura 7 ilustra a perda média de vendas em decorrência do não fornecimento de energia elétrica.

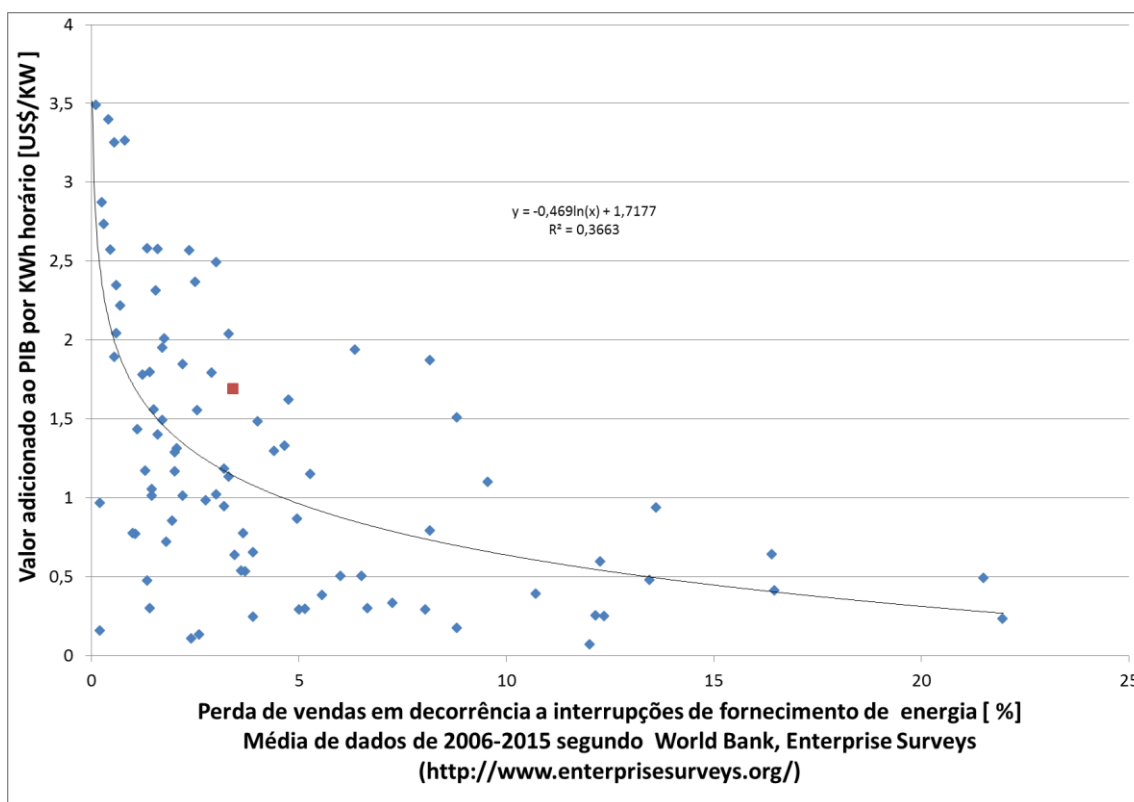
A comparação de poucos países pode levar a conclusões errôneas. Para evitar comparações diretas, como por exemplo entre Índia e Brasil, pode-se optar por observar o comportamento internacional em relação ao impacto do não fornecimento de energia elétrica. Com base nos dados de valor marginal adicionado ao PIB pela energia e dos dados de perdas em vendas foi possível comparar a situação internacional em relação a estes fatores, como apresentado na Figura 8. A situação média do Brasil é o ponto apresentado em vermelho.



**Figura 7: Perdas percentuais nas vendas para alguns países em decorrência do não fornecimento de energia elétrica. Média de 2010 a 2015 dos dados disponíveis. Fonte: Banco Mundial, elaboração própria.**

Na Figura 8 é possível notar que não há uma correlação direta entre o valor marginal da energia para o PIB e o fornecimento contínuo de energia elétrica<sup>4</sup>. Os pontos apontam para uma provável zona de ineficiência, na qual os países mais distantes da abcissa têm qualidade de fornecimento de energia piores do que os países mais próximos, quando comparado mesmo nível de valor agregado unitário marginal da energia no PIB. A curva plotada na Figura 8 apresenta o resultado médio. Os países “acima” da curva (mais distantes dos eixos) teriam desempenho pior do que a média. Estes valores, no entanto, não permitem correlacionar diretamente qualidade de fornecimento e PIB.

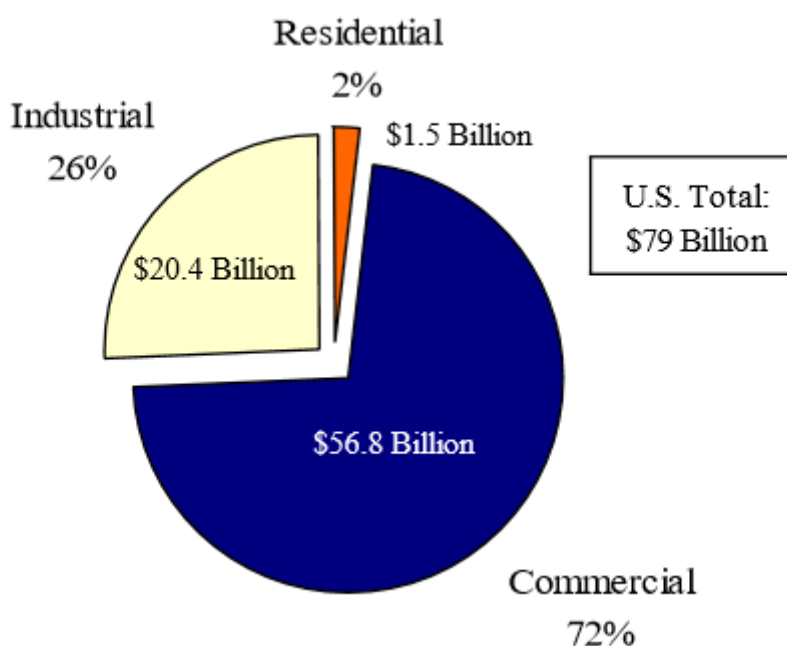
<sup>4</sup> Os problemas de continuidade de suprimento são relacionados com geração de energia, transmissão e distribuição, bem como problemas de blecaute, que podem ocorrer por falhas de operação.



**Figura 8: Perdas percentuais médias de venda em diversos países comparadas com o valor marginal unitário adicionado ao PIB por kWh horário (unidade). Fonte: dados do Banco Mundial com elaboração própria**

#### 4.4 Estudo de caso: Estimando o custo da interrupção nos Estados Unidos da América

Durante décadas os Estados Unidos da América (EUA) almejaram calcular os prejuízos relacionados com as interrupções de energia. Em 2006 um estudo publicado por Kristina Hamachi LaCommare e Joseph H. Eto (ETO, J. H.; HAMACHI, L. K., 2006) apontou que o custo da interrupção nos EUA poderia variar, segundo as estimativas feitas até então, entre 26 bilhões de dólares à 400 bilhões de dólares (para o começo dos anos 2000), dependendo dos valores considerados como custos dos consumidores, que normalmente não eram obtidos através de pesquisas diretas. Nesse mesmo estudo Eto e Hamachi estabeleceram em 79 bilhões de dólares (2005) o valor do custo da energia não suprida nos EUA, tal como apresentado na Figura 9, considerando o cálculo do custo por interrupção.



**Figura 9: Custo da energia não suprida para os EUA, em dólares de 2002. Fonte: ETO, J. H.; HAMACHI, L. K., 2006.**

Os resultados da Figura 9 são relativos a um DEC de 1,76 horas e FEC de 1,2 interrupções médias. Os valores considerados para os custos das interrupções são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3: valores de custo por interrupção, dólares de 2002. Fonte: ETO, J. H.; HAMACHI, L. K., 2006.**

	Residencial	Comercial	Industrial
Interrupção Momentânea	\$2,18	\$605	\$1.893
Interrupções de longa duração	\$2,99	\$1.067	\$4.227
Uma hora de interrupção	\$2,70	\$886	\$3.253

Os valores apresentados no citado estudo de 2006 não consideravam todas as pesquisas realizadas nos EUA, sendo um estudo prospectivo e baseado em modelos, mesmo havendo décadas de pesquisas feitas por empresas. O estudo de Eto e Hamachi não acabou com as dúvidas sobre o real valor do custo da interrupção.

No contexto de quantificação do custo da interrupção para os EUA, um estudo tem destaque devido a sua inovação em relação ao uso de dados de pesquisa anteriores. Trata-se do estudo "Estimated Value of Service Reliability for Electric Utility Customers in the United States", realizado pelo Laboratório Nacional de Berkeley para o departamento de energia dos Estados

Unidos da América (EUA) em 2009 (Sullivan et al. 2009) sendo revisado e atualizado em 2015 (Sullivan et al. 2015). Os princípios da metodologia são apresentados no trabalho de 2009.

Em linhas gerais, o trabalho resume os resultados de pesquisa destinada a fornecer estimativas do valor da confiabilidade do serviço para clientes de eletricidade nos EUA. Estas estimativas foram obtidas através da análise dos resultados de 28 pesquisas de valor da qualidade (custo da interrupção) nos Estados Unidos, conduzido por 10 grandes empresas de energia elétrica durante o período de 16 anos entre 1989 e 2005.

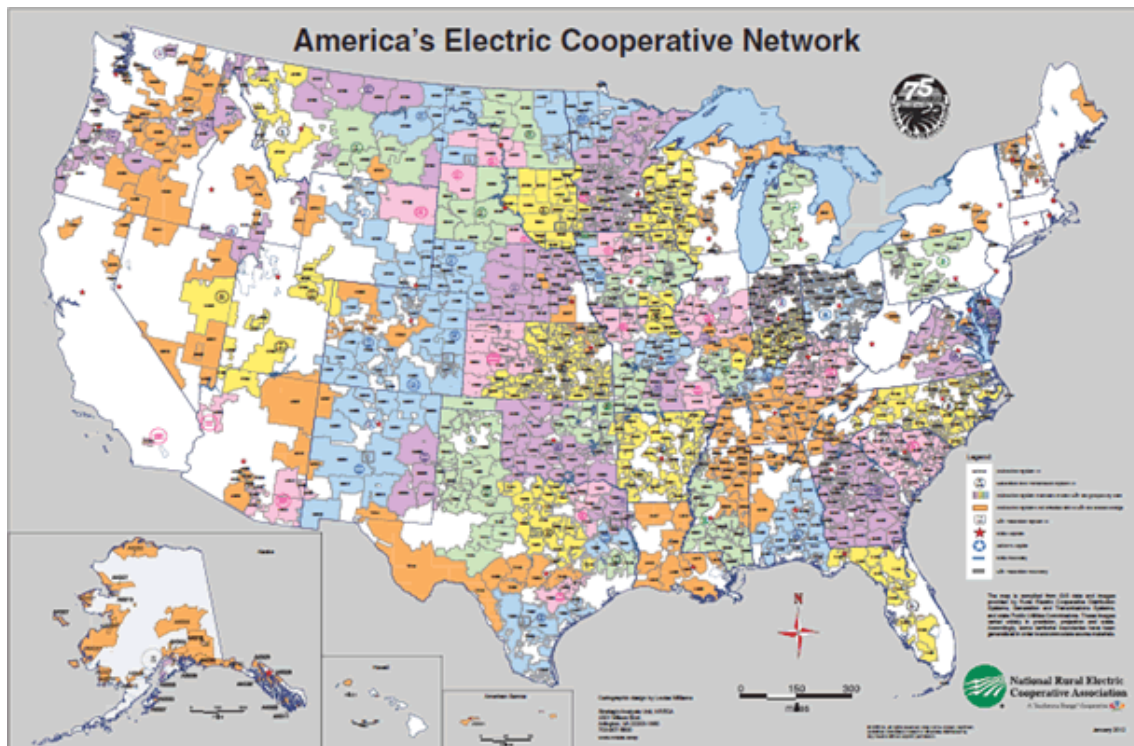
Segundo os autores, isso foi possível porque tais pesquisas foram feitas através de métodos de custeio direto e de disposição a pagar e receber de maneira muito similar entre elas, o que possibilitou integrar os resultados em uma única meta-base de dados. Com esta meta-base de dados foi realizada uma regressão em duas etapas para estimar a função de custo do dano para o consumidor (CDF), para alguns cenários de clientes industriais, comerciais e residenciais.

Nesse contexto, utilizar os resultados significa utilizar os dados obtidos de cada entrevista com os valores monetários atualizados. Assim, foram combinados os resultados de repostas de 11.970 empresas e 7693 domicílios na meta-base de dados. Foi feita uma análise de dados fora da curva e apenas 2,8% dos dados foram considerados como não adequados (“extreme outliers”).

Através das regressões feitas foi possível publicar dados representativos do custo da interrupção para os consumidores do Estados Unidos, através de funções de danos ao consumidor. Estes resultados foram considerados um avanço pois anteriormente os dados de custo da interrupção eram publicados apenas em resultados finais pelas concessionárias e na maior parte dos casos os dados brutos não eram disponibilizados.

Cabe ressaltar porque as pesquisas de custo da interrupção são importantes nos EUA e como funciona (ou funcionou nas décadas de realização da pesquisa) o mercado de distribuição de energia. Historicamente a distribuição de energia nos EUA é feita por distribuidoras em áreas de monopólio, sendo as áreas urbanas prioritariamente atendidas por concessionárias e parte rural feita por cooperativas (muitas áreas rurais se urbanizaram desde 1960, quando a universalização do serviço foi alcançada através de cooperativas). Assim cerca de 90% da população é atendida por distribuidoras convencionais, porém cerca de 75% do território é atendido por cooperativas de eletrificação rural. A Figura 10 mostra essa realidade do ponto de vista das cooperativas de eletrificação e em branco na figura estão localizadas as áreas de atuação das distribuidoras convencionais.





**Figura 10: Cooperativas de distribuição nos EUA - fonte NRECA 2014**

A regulação para estes dois tipos de distribuidora é diferente, sendo que as cooperativas têm uma regulação leve, ao contrário das distribuidoras convencionais, que são reguladas principalmente por autoridades locais (ao contrário de uma regulação centralizada por agência nacional, por exemplo). Para as distribuidoras convencionais foi importante, durante décadas, a demonstração da necessidade dos investimentos realizados (ou não realizados), durante as discussões para a definição dos valores a serem ressarcidos, ou usando termos mais próximo da realidade brasileira, do montante a ser ressarcido referente a parcela B e, eventualmente, da transmissão. Ferramenta fundamental nesse contexto é a pesquisa de custo da interrupção (ou disposição a pagar por melhoria) que embasam a necessidade de investimentos adicionais para a melhoria da qualidade, ou a não realização desses investimentos no caso de a sociedade estar satisfeita com o serviço. Assim os institutos de energia e engenharia dos Estados unidos desenvolveram metodologias de pesquisa para avaliação do custo da interrupção que foram utilizadas por tais distribuidoras convencionais por décadas. Entre estas metodologias pode-se citar EPRI (EPRI, 1995). Isso ajuda a explicar porque houve diversas pesquisas com metodologias similares e que puderam ser agregadas posteriormente em uma meta-base de dados.

De maneira geral, na estimativa dos custos da interrupção são formuladas através de funções de perda para o consumidor considerando alguns aspectos (Sullivan, 2009):

*Perdas para o consumidor = f(Atributos da interrupção, Características dos consumidores, atributos ambientais)*

Este tipo de caracterização é observado em diversos estudos feitos mundialmente e possibilita a caracterização do custo por estação, hora do dia, dia da semana, região geográfica para diversas classes de clientes e de consumo.

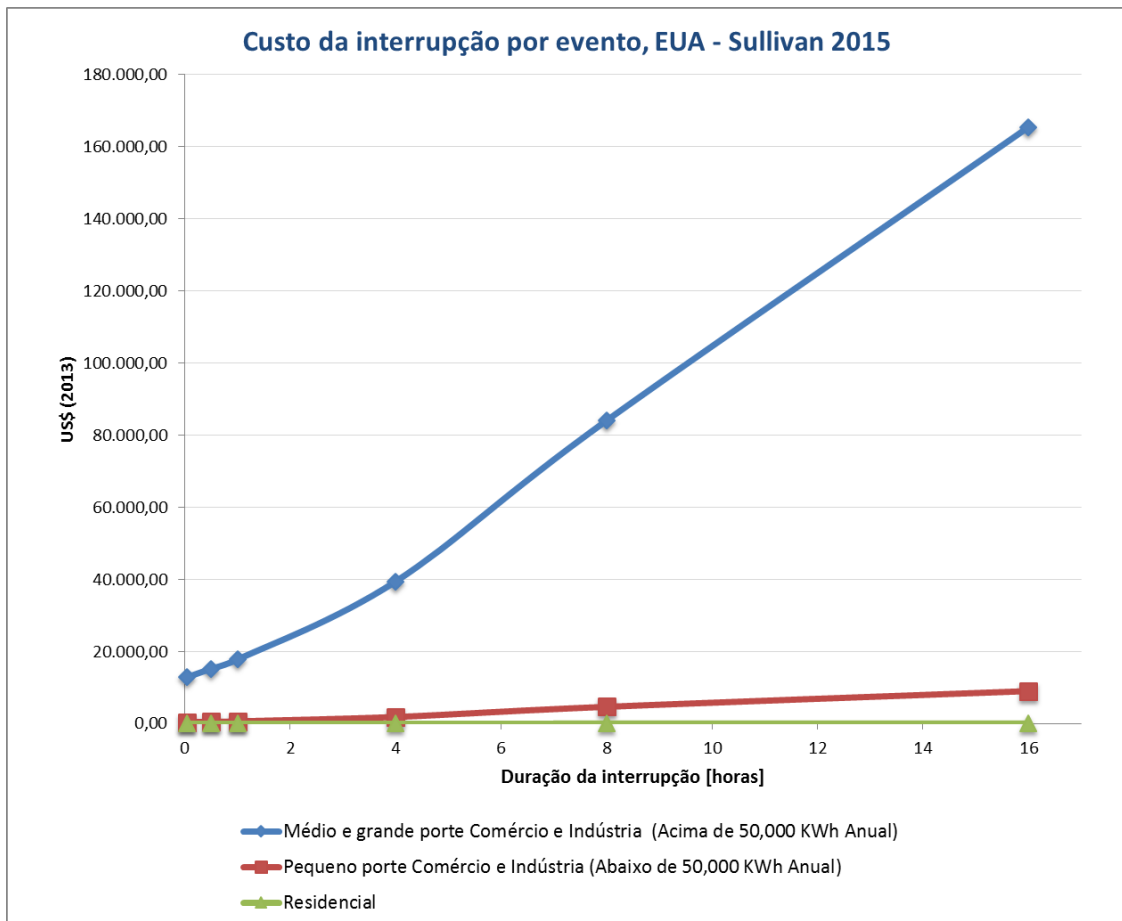
O sucesso obtido no uso de diversas pesquisas no Estados Unidos deve-se, em grande parte, a possibilidade do uso de metabase de dados e da longa experiência desse país em pesquisas de custo da interrupção, que foram padronizadas e puderam ser avaliadas de maneira conjunta. As técnicas utilizadas também foram importantes para a obtenção dos valores finais.

A Tabela 4 resume os resultados econômicos médios de interrupções para três segmentos de consumo: grandes empresas, pequenas e médias empresas e consumidores residenciais.

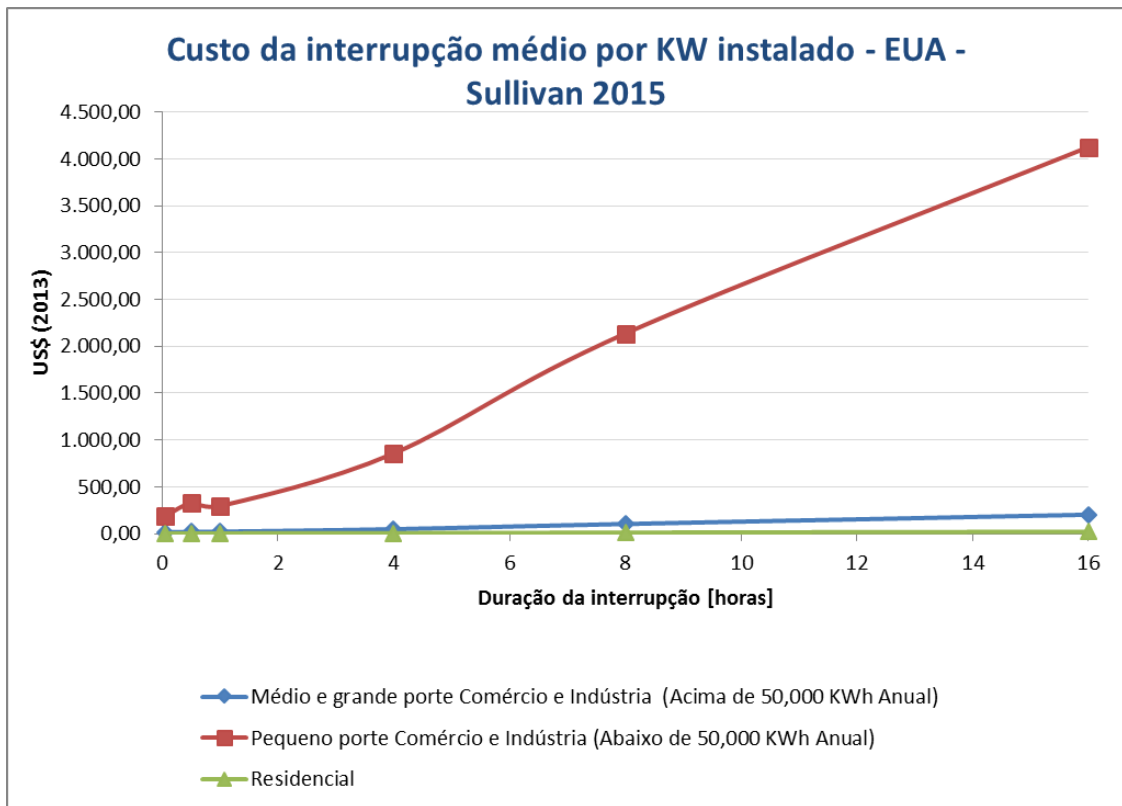
**Tabela 4: Custo da interrupção estimados Por Evento, Demanda média kW e Energia Não Suprida média kWh (U.S.2013\$) por duração e tipo de consumidor**

Custo de interrupção	Duração da interrupção					
	Momentário	30 minutos	1 hora	4 horas	8 horas	16 horas
<b>Médio e grande porte Comércio e Indústria (Acima de 50,000 kWh Anual)</b>						
Custo por evento	\$12.952,0	\$15.241,0	\$17.804,0	\$39.458,0	\$84.083,0	\$165.482,0
Custo médio de KW	\$15,9	\$18,7	\$21,8	\$48,4	\$103,2	\$203,0
Custo por kWh não fornecido	\$190,7	\$37,4	\$21,8	\$12,1	\$12,9	\$12,7
<b>Pequeno porte Comércio e Indústria (Abaixo de 50,000 kWh Anual)</b>						
Custo por evento	\$412,0	\$520,0	\$647,0	\$1.880,0	\$4.690,0	\$9.055,0
Custo médio de KW	\$187,9	\$327,0	\$295,0	\$857,1	\$2.138,1	\$4.128,3
Custo por kWh não fornecido	\$2.254,6	\$474,1	\$295,0	\$214,3	\$267,3	\$258,0
<b>Residencial</b>						
Custo por evento	\$3,9	\$4,5	\$5,1	\$9,5	\$17,2	\$32,4
Custo médio de KW	\$2,6	\$2,9	\$3,3	\$6,2	\$11,3	\$21,2
Custo por kWh não fornecido	\$30,9	\$5,9	\$3,3	\$1,6	\$1,4	\$1,3

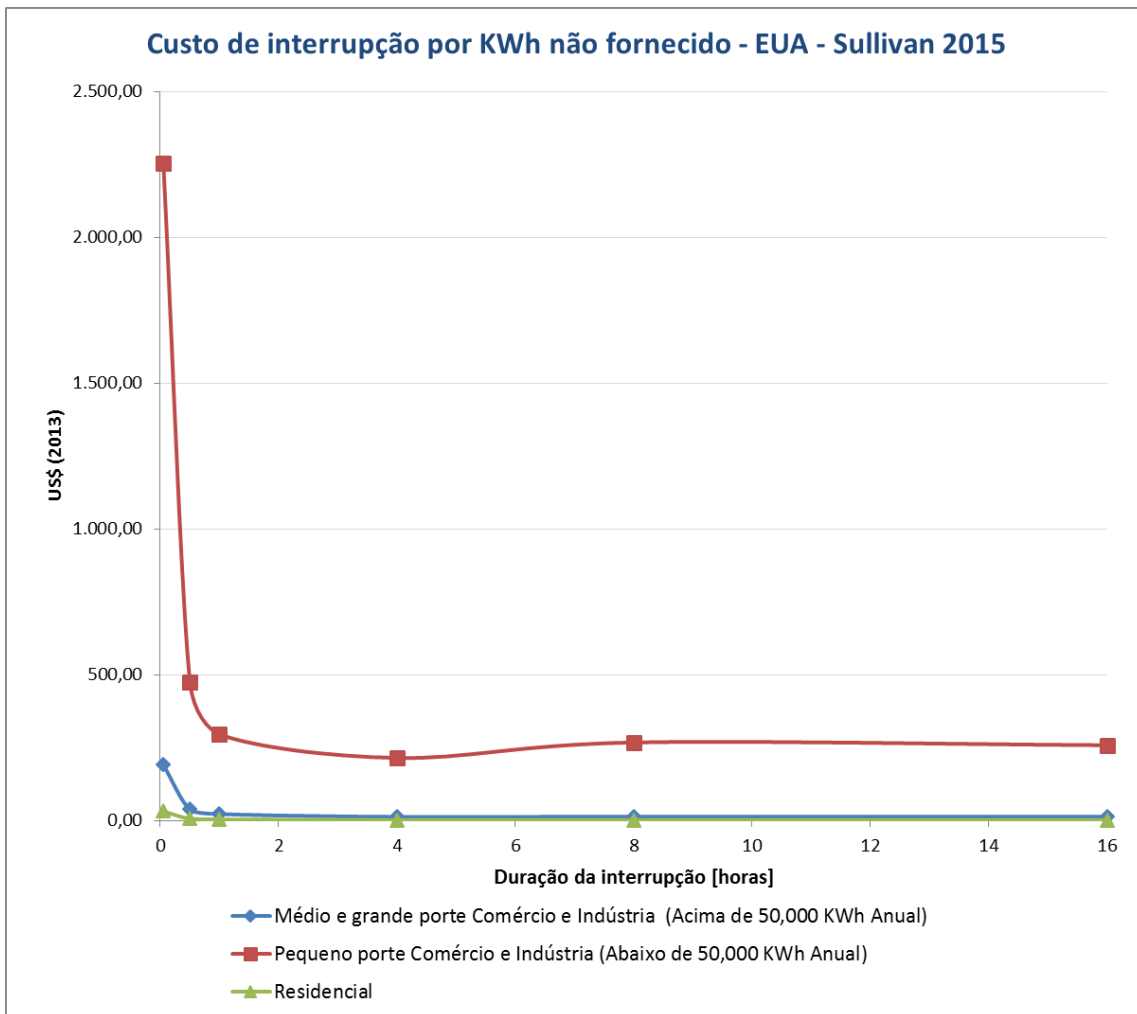
Os dados da pesquisa são ilustrados nos gráficos das Figura 11, Figura 12 e Figura 13. Em cada figura um aspecto da valoração do custo da interrupção é apresentado por tipo de consumo. Na Figura 11 os valores de custo da interrupção são apresentados por evento e nota-se o predomínio monetário do impacto em clientes de grande porte. Quando os custos são normalizados por kW (potência) nota-se predomínio dos pequenos e médios consumidores de comércio e indústria, apontando que há mais impacto por kW instalado do que nos grandes consumidores. Por fim a Figura 13 apresenta o custo da interrupção normalizado em sua forma mais conhecida no Brasil, em função do kWh interrompido e nesse caso fica evidente que há um impacto maior em custo por energia para interrupções de duração menores que 1h.



**Figura 11: Custo da interrupção por evento nos Estados Unidos da América (EUA) em dólares de 2013, com base em Sullivan 2015. Elaboração própria.**



**Figura 12: Custo da interrupção normalizado pela potência em kW nos Estados Unidos da América (EUA) em dólares de 2013, com base em Sullivan 2015. Elaboração própria.**



**Figura 13: Custo da interrupção normalizado pela energia não suprida (kWh) nos Estados Unidos da América (EUA) em dólares de 2013, com base em Sullivan 2015. Elaboração própria.**

Os resultados da pesquisa foram divulgados através de um site que permite calcular o custo da interrupção do fornecimento de energia elétrica para os estados federativos dos EUA e podem ser acessados através do site: <http://icecalculator.com/>.

## 5 APLICAÇÃO E DISCUSSÕES

### 5.1 Abordagens sugeridas para utilização do custo da interrupção na literatura

Com base na bibliografia levantada e nas análises realizadas neste relatório como nos relatórios anteriores deste projeto, pode-se afirmar que a utilização de custos da interrupção de pesquisas anteriores e de outras jurisdições ou países não é utilizada com frequência. Foi observado somente um caso de uso da meta-análise (Sullivan et al. 2015) publicado. Por outro lado, é frequente nos artigos e estudos analisados o uso de dados qualitativos de outras pesquisas para elaboração de políticas locais.

Assim podemos elencar a preferência de métodos para aplicação de outras pesquisas no caso do custo da interrupção brasileira:

1. Verificação da média de custo da energia não suprida internacional
2. Método de meta-análise para dados obtidos de pesquisas realizadas no mesmo país, com abordagem similar entre as pesquisas.
3. Utilização de informações qualitativas de outras pesquisas para estabelecimento de parâmetros para a pesquisa direta ao consumidor, para a definição de políticas públicas relacionadas com a qualidade de energia elétrica, etc.

Em relação a proposta de uso de meta-análise com base em dados obtidos em pesquisas anteriores, conforme apresentado na revisão bibliográfica do relatório 1 deste projeto, são poucos os estudos de custo da interrupção de fornecimento no Brasil. Portanto não é factível esta possibilidade.

De maneira alternativa, pode-se obter o custo da interrupção através de usos dos resultados de pesquisas anteriores é a utilização da relação entre custo da interrupção e PIB. Esse método foi aplicado experimentalmente em um projeto de pesquisa e ainda não há publicações consolidadas sobre o assunto. Entretanto este método não é recomendado para aplicação em municípios, Estados ou mesmo áreas de concessão.

Qualitativamente pode-se avaliar diversos dados de pesquisas anteriores, tais como cenários adotados, segmentação entre consumidores, curvas da função de dano ao consumidor obtidas, etc. A partir dos dados qualitativos e quantitativos pode-se desenvolver preditores<sup>5</sup> ou análises sobre o custo da interrupção esperado para a realidade brasileira.

---

<sup>5</sup> Preditores estabelecem relações entre características do sistema e seu comportamento esperado.

Mesmo no cenário qualitativo a escolha dos trabalhos anteriores é diversa. Apresentaremos dois formatos de escolhas: os valores utilizados no relatório 1, os artigos e valores utilizados na pesquisa de Enerq, 2014.

Isto pois, a análise das referências bibliográficas aponta para a utilização qualitativas dos custos da interrupção obtidos em outras jurisdições (países ou regiões com características diferentes). Nesse contexto a utilização dos dados se dá de maneira e estabelecer possibilidades de custo da interrupção, visando estabelecer valores mais provável de custo da interrupção e não necessariamente um valor fixo ou uma função de custo da interrupção.

Assim a abordagem considerada será:

1. Aplicação da meta-análise baseada na relação PIB/ custo da energia não suprida
2. Análise qualitativa em relação a metodologias e valores obtidos, incluindo os cenários;
3. Estabelecimento de uma média e mediana dos valores levantados, de acordo com as classes residencial, industrial e comercial;
4. Análise sobre o uso das funções obtidas anteriormente em pesquisas brasileiras no cenário atual.

Assim a base de dados criada é apresentada de acordo com a importância para cada aplicação.

Os artigos citados encontram-se referenciados no capítulo 6.

## **5.2 Média internacional para custo da interrupção**

No relatório 1 deste projeto foram apresentados gráficos e dados consolidando pesquisa sobre o custo da interrupção nacionais e internacional, tanto através de abordagem direta quanto indireta. Em relação aos resultados, as Figura 14 e Figura 15 apresentam os valores obtidos das pesquisas internacionais para as classes residencial e não residencial, em Reais do ano de 2015 (1 1€=R\$4 em 30 de junho de 2015).

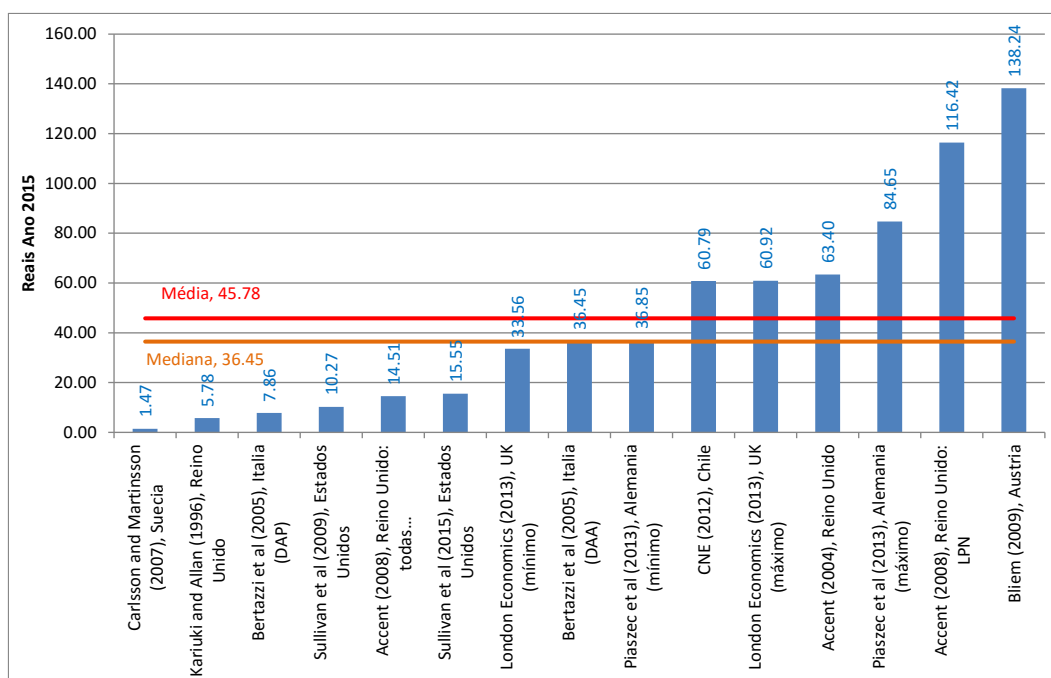
A Tabela 7 apresenta os valores de custo da interrupção obtidos na literatura brasileira, porém sem atualização.

Nota-se do cenário internacional que o custo da interrupção pode variar de extremos 1,47 a 138,24 R\$/kWh para clientes residenciais e entre 1,84 a 351,56 R\$/kWh para o comércio e a indústria. Há diferenças de mais de 100 vezes a ordem de grandeza, mostrando que para cada pesquisa de custo da interrupção, país pesquisado e tipos de consumidores pesquisados, pode haver grande divergência.

Com base nos dados mundiais, espera-se que o custo da interrupção para um cliente residencial seja na média 45R\$/kWh enquanto que a mediana seria de 36R\$/kWh. Já para os clientes

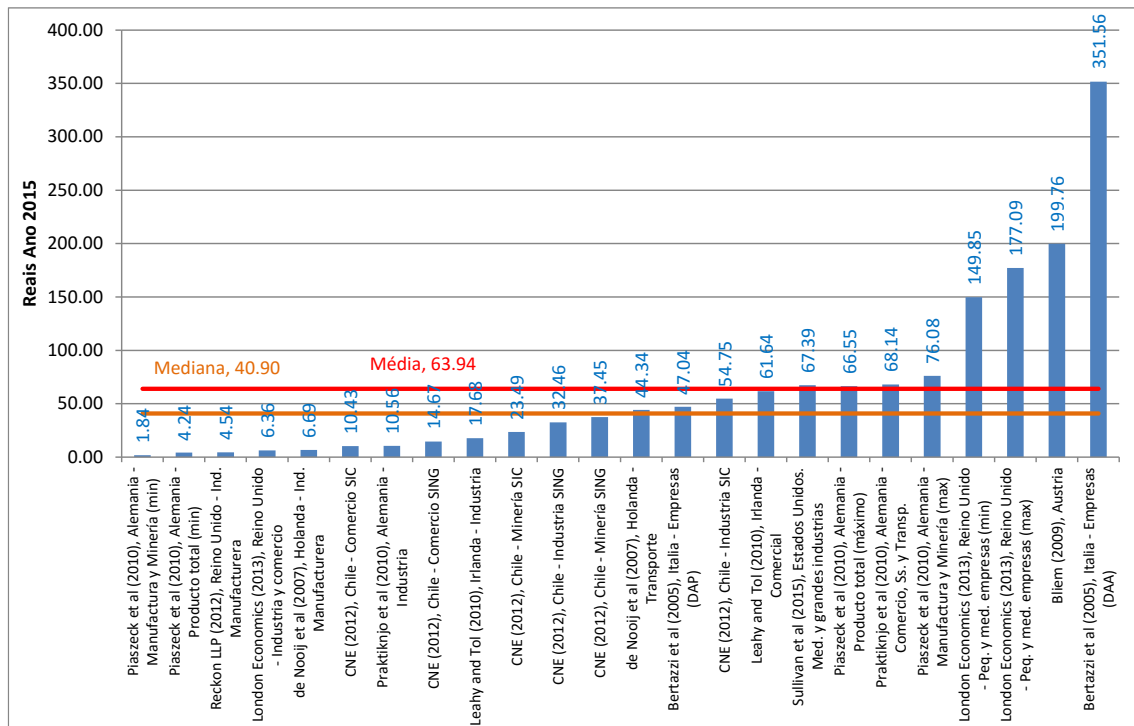
industriais e comerciais a média será de 64R\$/kWh e a mediana seria de 41R\$/kWh. Tais valores podem ser questionados quando comparados com os estudos brasileiros, que apontam para valores menores de custos da interrupção para consumidores residenciais e não residenciais.

Parte dessa diferença pode acontecer em decorrência do uso da energia em cada país ou jurisdição pesquisada, que pode alterar o valor do custo da energia não suprida.



**Figura 14: Resultados internacionais - Custo das Interrupções de uma hora, para Usuários Residenciais (R\$/kWh). Fonte: elaboração própria**





**Figura 15: Custo das Interrupções de uma hora, para Usuários Não Residenciais (R\$/kWh).**  
 Fonte: elaboração própria

**Tabela 5: Valores aplicados de custo da interrupção (em CEND) segundo literatura brasileira**

Referência	Descrição	Custo da Interrupção
Gomes e Schilling (1997)	Eletropaulo - 5 horas	1,39US\$/kWh <sub>int.</sub>
Gomes e Schilling (1997)	Eletropaulo - 3 Minutos	1,98US\$/kWh <sub>int.</sub>
Schilling e Marangon (1992)	Residenciais	1,11 US\$/kWh <sub>int.</sub>
Schilling e Marangon (1992)	Comerciais e Industriais (Valor máximo)	4,76 US\$/kWh <sub>int.</sub>
Magalhães et al. (2001)	Residenciais DAP	0,83 US\$/kWh <sub>int.</sub>
Magalhães et al. (2001)	Residenciais Custos diretos	0,96 US\$/kWh <sub>int.</sub>
Magalhães et al. (2001)	Custo médio de São Paulo	1,20 US\$/kWh <sub>int.</sub>
Hideki <i>et al.</i> (2001)	Consumidores AT e MT em São Paulo	1,64 US\$/kWh <sub>int.</sub>
Cyrillo et al. (2009)	Residenciais - DAP de acordo com cenário	2,18 R\$/mês
Cyrillo (2011)	DAP - corrigindo pelo consumo médio	10,00 R\$/kWh <sub>int.</sub>
Cyrillo (2011)	Acréscimo na tarifa para melhoria da qualidade de acordo com o cenário proposto	1,15 R\$/MWh

Nota: os valores apresentados nesta tabela não foram atualizados.

### 5.3 Meta-análise com base no PIB

Uma das possibilidades de verificar um intervalo de valor provável para o de custo da interrupção ou custo da energia não é através do uso de outros indicadores macroeconômicos entre as diferentes economias, tal como o Produto Interno Bruto (PIB). Um método proposto por Enerq (2014) é através de meta-análise com base em multiplicadores do PIB (comercial e industrial), bem como no número de residências por país.

Nessa abordagem o valor da energia não suprida é corrigido de acordo com multiplicadores da economia. Tais multiplicadores são obtidos de regressões de dados do custo da interrupção para diversos países e do uso de dados de PIB do Banco Mundial.

Os dados de custo da interrupção (CENS) são obtidos de estudos internacionais, como apresentado na Tabela 6.

**Tabela 6 - Estudos usados na meta-análise**

Artigo/Relatórios	País	Período	Estimativas (R,I,C)
L.E.I. 2013	Áustria	2012	R, Não-R
L.E.I. 2013	Austrália – Vitória	2008	R, I, C
Cruz 2007	Brasil	2004	R, I, C
Linares, Rey. 2012	Espanha	2008	R, I, C
L.E.I. 2013	Nova Zelândia	2008	R, I, C
Nooij. 2007	Holanda	2001	R, I, C
Growitsch, et al. 2013	Alemanha	2007	R, I, C
Leahy, Tol. 2010	Irlanda do Norte	2000-2007	R, I, C
Leahy, Tol. 2010	República da Irlanda	2001-2008	R, I, C
Fumagalli, et al. 2007	Itália	2005	R, Não-R
Andersson, Taylor. 1986	Suécia	1980	R, I, C
Massaud, et al. 1994	Canadá	1991	R, I, C
Mok, Chung. 1997	Hong Kong	1995	R, I, C
Sullivan. 2009	EUA	2005	R, Não-R
Zachariadis, Poullikas. 2012	Chipre	2009	R, I, C
London Economics. 2013	Grã Bretanha	2011	R, Não-R
Trengereid. 2003	Noruega	2003	R, I, C

Os dados da Áustria, Nova Zelândia e Austrália – Vitória foram retirados de uma revisão de literatura conduzida pela London Economics International (L.E.I) (London Economics, 2013), no caso da Itália, de (Fumagalli, E., Lo L. Schiavo, L. and Delestre, F., 2007), do Brasil de (Cruz, M. P., 2007), da Suécia de (Andersson, R., Taylor, L., 1986), da Noruega de (Trengereid, F., 2003), da Grã Bretanha de (London Economics, 2013) e de Hong Kong de (Mok, Y. L., & Chung, T. S., 1997). No caso da Áustria, o valor encontrado é para uma interrupção de 12 horas e no caso da Nova Zelândia uma interrupção de 8 horas. O valor para Austrália – Vitória foi obtido pela ponderação dos CENS (custo da energia não suprida) encontrados para os intervalos de duração de 20 minutos, 1, 2, 4, 8 e 24 horas com suas respectivas probabilidades e somando os valores ponderados. Por último, os valores da Itália e Suécia são para uma interrupção de 2 horas, os do Brasil para uma interrupção entre 60 e 120 minutos, e a Noruega, Grã Bretanha e Hong Kong com interrupções de 1 hora. Em todos os casos, a metodologia utilizada foi o de pesquisas (preferências declaradas).

Já os dados da Irlanda do Norte, República da Irlanda de (Leahy, E. & Tol, R.S.J., 2011), Holanda de (de Nooij, M., Koopmans, C. & Bijvoet, C., 2007), da Alemanha de (Growitsch, C., Malischek,

Avaliação dos Custos Relacionados às Interrupções de Energia Elétrica e suas Implicações na Regulação

R., Nick, S., & Wetzel, H., 2013), dos EUA de (Sullivan, M.J., Mercurio, M. & Schellenberg, J., 2009) e de Chipre de (Zachariadis, T. & Poullikkas, A., 2012) foram estimados usando a abordagem de função de produção. Em todos os países em questão, a duração da interrupção considerada é de 1 hora.

A Tabela 7 apresenta os valores do CENS residencial comercial e industrial, obtidos da revisão de literatura, atualizados monetariamente para dólares de 2012.

**Tabela 7 – CENS Residencial, Comercial e Múltiplo para diversos países em dólares ppp 2012.**  
**Fonte: Enerq, 2014. Elaboração própria.**

País	CENS Residencial (USD/kWh)	CENS Comercial (USD/kWh)	CENS Industrial (USD/kWh)
Alemanha	17,32	16,03	3,18
Austrália – Vitória	4,14	28,62	10,46
Áustria	1,54	7,33	7,33
Brasil	2,9	1,45	7,21
Canadá	0,64	22,17	21,41
Chipre	13,61	9,19	2,86
Espanha	9,82	10,26	3,52
EUA	4,48	22,93	22,93
Grã-Bretanha	2,9	3,59	3,59
Holanda	19,85	9,62	5,84
Hong Kong	8,38	8,74	5,15
Irlanda do Norte	26,85	19,39	5,97
Itália	30,95	86,6	30,03
Noruega	1,26	12,2	8,27
Nova Zelândia	11,34	77,69	30,87
República da Irlanda	36,68	20,88	5,97
Suécia	3,54	40,76	15,46

Os valores encontrados nos estudos foram convertidos das moedas e datas para valores dólares de 2012. Os valores dos PIBs e do consumo de energia elétrica foram obtidos da base de dados do Banco Mundial, utilizando-se dos valores mais atuais de cada país para cada indicador, em nenhum dos casos mais recentes as informações disponíveis foram mais antigas que 2009.

O PIB doméstico adotado foi o de paridade de poder de compra (PPP) de 2012, que permite melhor avaliar a capacidade de compra dos usuários domésticos. Para o cálculo do PIB domiciliar horário (PIBd/h), considerou-se a média de habitantes por domicílio de cada país e o número de horas anuais (8760 horas). A terceira coluna, múltiplo, apresenta a razão entre o CENS e o PIB doméstico horário ((USD/kWh) / (USD/h)). O PIBc/kWh é a divisão do PIB comercial pelo consumo estimado de energia do setor comercial, este último foi obtido multiplicando-se a razão entre o PIB comercial e o PIB nacional com o consumo de energia total do país. O mesmo procedimento foi adotado para o setor industrial. Os resultados estão apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8: Dados de multiplicadores de para obtenção do custo da energia não suprida (CENS) por setores residencial, comercial e industrial. Fonte: Enerq, 2014. Elaboração própria.**

País	PIBd/h	PIBc/kWh	PIBi/kWh
Alemanha	9,58	5,61	7,16
Austrália – Vitória	12,9	6,4	5,61
Áustria	11,4	5,37	4,68
Brasil	4,38	4,69	5,18
Canadá	2,15	1,32	8,36
Chipre	3,57	4,68	6,63
Espanha	10,09	5,18	6,39
EUA	5,11	3,23	4,85
Grã Bretanha	4,03	7,16	5,37
Holanda	11,13	6,63	4,69
Hong Kong	2,71	4,85	6,4
Irlanda do Norte	10,98	6,39	2,12
Itália	9,27	6,27	6,27
Noruega	4,4	2,12	3,23
Nova Zelândia	9,17	2,93	1,52
República da Irlanda	11,24	8,36	2,93
Suécia	1,84	1,52	1,32

A Tabela 9 apresenta os múltiplos encontrados para os três setores analisados e aplicados ao Brasil. Nota-se clara diferença entre a média e a mediana, apontando que para alguns países a relação entre custo da energia não distribuída e PIB é maior do que a média internacional.

**Tabela 9 - Médias e medianas dos múltiplos por setor – Aplicação ao Brasil**

Setor	Média Internacional	Mediana Internacional	Indicador PIB - Brasil	CENS Obtido (U\$/kWh) - Média	CENS Obtido (U\$/kWh) - Mediana
Residencial	1,59	1,24	4,38	\$6,95	\$5,42
Comercial	7,00	2,86	4,69	\$32,84	\$13,40
Industrial	3,56	1,86	5,18	\$18,43	\$9,66

A maior dispersão de valores de múltiplos para os setores Comercial e Industrial fez com que os valores médios fossem maiores que o dobro dos valores medianos. Assim, é prudente que a mediana seja empregada como referência, visto que o Brasil aparece entre os menores valores.

Os resultados dos valores (mediana) em R\$/kWh são apresentados na Tabela 10. Utiliza-se da mesma conversão entre dólares e reais adotada no relatório 1 (paridade poder de compra 2015).

**Tabela 10: CENS em R\$/kWh obtidos através da meta-análise com valores da mediana**

Setor	Resultados esperados para o custo da interrupção no Brasil em R\$/kWh (paridade poder de compra 2015)
Residencial	R\$ 13,87
Comercial	R\$ 34,31
Industrial	R\$ 24,73

#### 5.4 Experiências internacionais e análise de aplicação

A experiência internacional sugere a utilização de pesquisas de custo da interrupção ou de dados macroeconômicos para a quantificação do custo da energia não suprida em cada jurisdição ou País.

Nota-se também que não é possível se definir um valor exato ou confiável para o custo da energia não suprida utilizando-se dados de pesquisas externas. Tal valor só deve ser usado como comparativo quando não há dados de pesquisas internas. O Relatório 3a deste projeto oferece custos das interrupções para diferentes regiões do Brasil e valores agregados do custo da

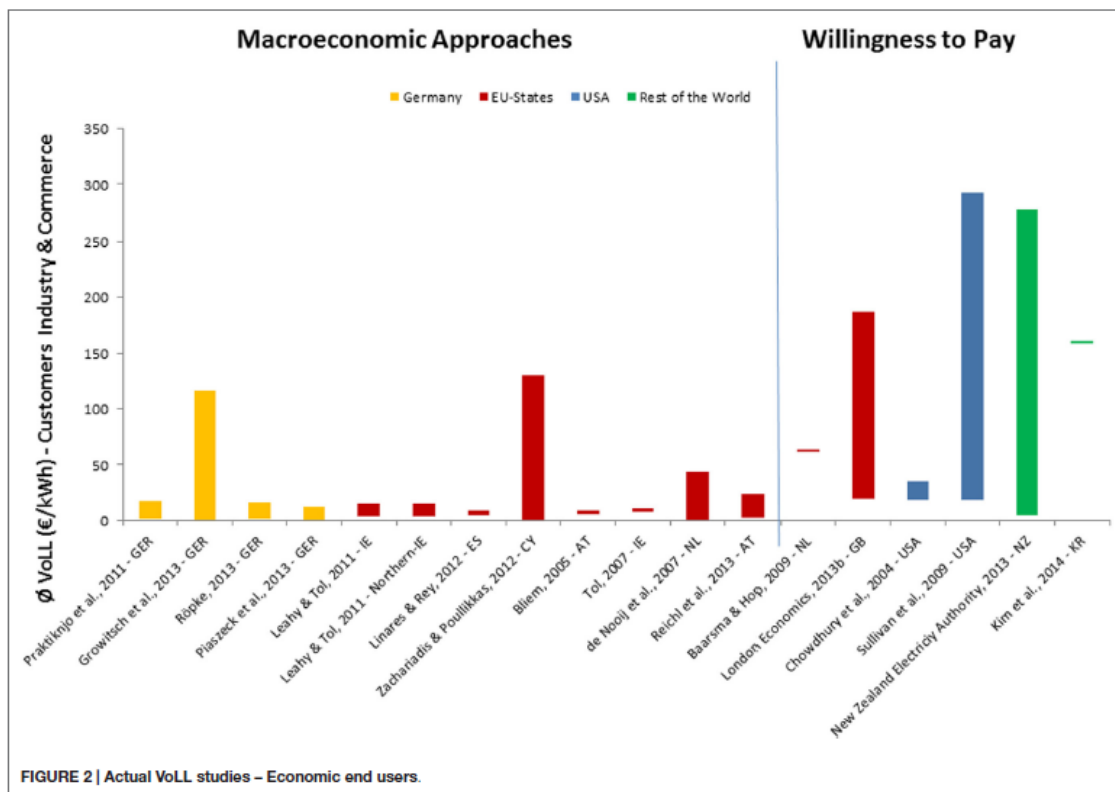
energia não suprida para o país, sendo hoje o melhor valor para tal comparação, não sendo apropriado a utilização de valores da pesquisa internacional.

Os valores médios calculados para cada setor apresentados na Tabela 10 aplicados ao Brasil são indicadores para verificação se os custos da interrupção calculados através de abordagem direta ou indireta estão se aproximando da realidade internacional.

A utilização de dados da função de custo da interrupção obtidos de pesquisas anteriores também não é recomendada. A comparação visual entre os resultados da pesquisa de Massaud et al. (1994) e de Sullivan et al. (2015) evidencia claramente uma diferença de comportamento de custos da interrupção entre clientes industriais, comerciais, pequenos e médios e grandes consumidores, tal como apresentado nas Figura 1 e na Figura 13: Custo da interrupção normalizado pela energia não suprida (kWh) nos Estados Unidos da América (EUA) em dólares de 2013, com base em Sullivan 2015. Elaboração própria.

**Assim os objetivos deste relatório relativos ao cálculo da função de custo da interrupção de pesquisas anteriores não são aplicáveis.** Nesse sentido também não é aplicável a utilização dessas curvas na realidade dos municípios. Em relação à aplicação às concessionárias, deve-se entender que não existe valor de PIB calculado para as populações de cada distribuidora brasileira, não sendo possível a aplicação de uma metodologia seja de valor médio ou seja por função de custo de interrupção para cada concessionária.

Em relação a comparação entre abordagens diretas e indiretas para obtenção de custo da interrupção (e custo da energia não suprida) pode haver diferenças nos resultados. Por exemplo, em um estudo publicado recentemente por SCHRODER e KUCKSHINRICHS (2015) procurando avaliar o custo da energia não suprida na Alemanha mostra diferenças possíveis de obtenção entre métodos diretos e indiretos, sendo muito maior a variação dos valores obtidos através de abordagens diretas como a disposição a pagar (Willingness to pay), o que é esperado, dado a diversidade de clientes.



**Figura 16: Custo da energia não suprida (CENS) para Alemanha, EUA e alguns países de acordo com abordagens de cálculo de custo da interrupção indiretas (Macroeconomic Approaches) e diretas (Willingness to Pay). Fonte: SCHRODER e KUCKSHINRICH (2015)**

Em relação ao uso de cenários nas pesquisas diretas o ponto fundamental é garantir que os principais impactos sejam medidos. Sullivan (2015) aponta que muitos fatores podem ser importantes no levantamento dos dados da interrupção, no entanto há poucos fatores para o cálculo do custo da interrupção. Nesse contexto é fundamental que as pesquisas aos consumidores sejam realizadas de forma a se poder comparar resultados obtidos a nível nacional.

### 5.5 Comentários finais a respeito dos resultados do Relatório 3.a

No relatório 3a são apresentados os resultados de custo de interrupção utilizando métodos econométricos, agrupados por estado, por região e por tipo de consumidores. A Tabela 11 extraída do relatório 3a apresenta os resultados agrupados para o Brasil e por regiões, de maneira que se possam compará-los com os resultados quantitativos e qualitativos desse relatório 3b.



**Tabela 11: Custo Unitário das Interrupções esperado não programado por Setor, Região e Total País (R\$/kWh)**

Sector	Nacional	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
Industrial	13.9	23.7	11.7	13.8	17.3	6.6
Comercial e Serviços	18.1	9.6	8.3	30.6	24.1	8.7
Poder Público	12.3	9.2	11.3	15.5	12.4	13.9
Serviço Público	7.5	11.6	3.9	11.5	7.6	11.4
Rural e Rural Irrigante	12.4	12.4	8.1	22.0	8.2	18.4
Residencial	19.7	18.9	18.4	16.5	20.8	19.0
Baixa Renda	4.4	4.9	4.9	4.1	3.2	4.5
<b>Média Região</b>	<b>15.7</b>	<b>15.7</b>	<b>11.3</b>	<b>19.2</b>	<b>18.8</b>	<b>11.6</b>

O primeiro aspecto de comparação é sobre os cenários e a escolha dos setores. Na literatura internacional os valores de custo de interrupção são apresentados, no mínimo, para clientes residenciais e não residenciais. Também é comum a apresentação dos resultados para três setores: residencial, comercial e industrial. Eventualmente os estudos apresentam valores para os demais setores, tais como o setor de serviço público, ou de clientes rurais. Claramente a opção de escolha de clientes é relacionada com a necessidade de apresentar dados para a sociedade ou para os principais setores econômicos, o que pode variar de país para país.

Outro fator que não foi observado na literatura é a presença de diferentes classes de clientes residenciais. Nesse ponto a análise deve levar em consideração outros aspectos, sobretudo a universalização do acesso e do consumo de energia elétrica. Grande parte dos estudos sobre custo da interrupção são feitos em países nos quais a eletrificação urbana e rural aconteceu há muitas décadas<sup>6</sup> e atualmente os estudos de custo da interrupção tem se voltado para avaliar a presença de geração distribuída (ver Schroder e Kuckshinrichs, 2015). De fato, a universalização não é um tema recorrente nos estudos de custo de interrupção. Entretanto esse poderia ser o caso do Brasil, para o qual a universalização do acesso e do uso foi realizada de maneira acelerada nas últimas décadas. Em relação aos valores apresentados no relatório 3a, eram esperadas diferenças entre os clientes residenciais e residenciais baixa renda, em decorrência do modelo econômico utilizado. A diferença observada entre clientes residenciais e residenciais baixa renda pode servir de base para comparação entre as preferências dos clientes (p. ex. entre tarifa e nível de qualidade), a serem levantadas em uma pesquisa de custo de interrupção feita diretamente com os consumidores.

O formato de apresentação de resultados observada no relatório 3a, através de valores únicos para cada setor agregado, variando somente pelo nível de agregação (Estado, Região, Nação) é decorrente do modelo adotado. Normalmente estudos macroeconômicos apresentam somente o valor de custo da interrupção através da ENS em R\$/kWh. Os estudos através de pesquisa direta procuram apresentar também a função de custo da interrupção. Obter funções de custo

<sup>6</sup> A Irlanda seria uma exceção.

da interrupção a partir de dados de custo da ENS exige um esforço de arbitragem, que seria facilitado caso houvesse funções (ou curvas) de custo da interrupção obtidas recentemente para o país. Como apontado na análise crítica desse relatório (capítulo 5.4) não é recomendado o uso do custo da ENS para obter a função de custo da interrupção com os dados disponibilizados.

Em relação aos valores obtidos para os três setores, nota-se que há grande proximidade dos valores. O uso de abordagem macroeconômica apresenta valores mais confiáveis do que os apresentados através da meta-análise, como foi observado na análise crítica dos resultados. Duas questões surgem: os valores serem abaixo do esperado ou os valores serem acima do esperado. Ao analisarmos os diversos estudos internacionais sobre custo da interrupção notamos grande dispersão nos resultados.

Ao verificarmos os resultados apresentados no relatório 1 e neste relatório observamos que os valores de custo da interrupção para clientes residenciais estaria entre R\$ 8,00 e R\$ 80,00 (convertidos para valores de paridade por poder de compra de 2015). Nesse caso, os valores obtidos no relatório 3a estariam dentro do intervalo observado, mas poderiam ser objeto de questionamento, pois se situam no primeiro quartil do intervalo. Por outro lado, quando se observam os resultados obtidos para os EUA, verifica-se que os valores estão adequados. O próprio resultado final de cerca 5 bilhões de Reais para o Brasil mostra que o valor é significativo, representando o maior custo total da interrupção para o caso brasileiro.

Utilizando-se de análise similar, o intervalo de valor de custo de interrupção para atividades econômicas, de acordo com a literatura observada, deveria estar entre R\$4,00 e R\$200,00, já excluindo os extremos. O resultado da meta análise aponta para valor entre R\$ 25-35, que assim como o valor residencial, estaria no primeiro quartil. O valor observado nas regiões pelo método econométrico varia entre R\$6-30. Diferente dos clientes residenciais, o valor de custo da interrupção para os clientes com atividade econômica pode ser significativo para interrupções de pequena duração, que não impactam tanto em ENS, mas impactam em custos para os consumidores. Nesse caso, o valor do custo da interrupção poderia estar sendo subvalorado. Cabe observar que não é possível calcular o valor de custo da interrupção nesses casos sem a realização de uma pesquisa diretamente com o consumidor (ver Relatório 2). Essa análise é corroborada pela maioria dos estudos comparando custos obtidos em métodos econométricos e em métodos de pesquisa direta ao consumidor.

Assim, os valores obtidos para os setores estão compatíveis com o esperado em nível internacional. Pode haver uma melhoria no cálculo do custo das interrupções através de pesquisa direta ao consumidor, sobretudo para os clientes com atividades econômicas. Entretanto, até que seja feita tal pesquisa, os valores levantados pelo método econométrico devem servir para balizar políticas públicas relacionadas com a qualidade do fornecimento de energia elétrica no contexto de energia não suprida.

## 6 REFERÊNCIAS (COM AS REFERÊNCIAS DO RELATÓRIO 1, 2 & 3)

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil) (ANEEL). **Resolução normativa n. 024/2000.**, 2000.

———. **Nota técnica No. 130/2009 SRD-ANEEL**, 2009.

———. **Evolução do Desempenho dos Indicadores de Qualidade**, 2014.

———. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**, 2014.

AJODHIA, V.; VAN GEMERT, M.; HAKVOORT, R. **Electricity outage cost valuation: a survey**. Proceedings of CEPSI, 2002.

ANDERSSON, R., TAYLOR, L. **The social cost of unsupplied electricity: A critical review**. Energy Economics, v. 8, n. 3, p. 139-146, 1986.

ARROW, K.; SOLOW, R.; PORTNEY, P.; LEAMER, E.; RADNER R.; SCHUMAN, H. **Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation**, 1993

AUSTRALIAN ENERGY REGULATOR (Austrália). **Electricity distribution network service providers - Service target performance incentive scheme**, Final decision, Melbourne, 2008.

———. **Annual Benchmarking Report - Electricity distribution network service providers**, 2015.

BAARSMA, B., Hop, J. P. **Pricing power outages in the Netherlands**. Energy 34 (2009) 1378–1386, 2009.

BALDUCCI, P.J. et al. **Electrical Power Interruption Cost Estimates for Individual Industries, Sectors, and U.S. Economy**; Prepared for the US Department of Energy. Contract DE-AC06-76RL01830, Pacific Northwest National Laboratory, Richland, WA, USA, 2002.

BECKER, G. S. **A Theory of the Allocation of Time**. The economic journal, v. 75, n. 299, p. 493-517, 1965.

BEENSTOCK, M. U.; GOLDIN, E.; HAITOVSKY, Y. **Response bias in a conjoint analysis of power outages**. Energy Economics, v. 20, n. 2, p. 135-156, 1998.

BENAVENTE, J. M. et al. **Estimando la demanda residencial por electricidad en Chile: el consumo es sensible al precio**. Cuadernos de Economía v. 42, n. 125, p. 31-61, 2005.

———. **El costo de falla residencial en Chile: Una estimación usando la curva de demanda**. Revista de Análisis Económico, v. 20, n. 2, p. 23-40, 2005.

BERNSTEIN, S.; AGURTO, R. **Use of outage cost for electricity pricing in Chile**. Utilities Policy, v. 2, n. 4, p. 299-302, 1992.

---

Avaliação dos Custos Relacionados às Interrupções de Energia Elétrica e suas Implicações na Regulação

- BILLINTON, R.; TOLLEFSON, G.; WACKER, G. **Assessment of electric service reliability worth**. *Electrical Power & Energy Systems*, v. 15 n. 2, p. 95–100, 1993.
- CAMARGO, P. T. **Custo Social da Energia Elétrica**. 203f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Fundação Getúlio Vargas. Rio de Janeiro, 1989.
- CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS (Eletrobrás). **Relatório da Pesquisa Sobre Custo de Interrupção no Fornecimento de Energia Elétrica**, 1991.
- CENTRO DE ESTUDOS EM REGULAÇÃO QUALIDADE DE ENERGIA (ENERQ). **Projeto de P&D : Avaliação da oportunidade de serviços diferenciados para melhoria da qualidade, eficiência da rede e modicidade tarifária**. Publicação restrita. São Paulo, 2009.
- COUNCIL OF EUROPEAN ENERGY REGULATORS. **Third Benchmarking Report on Quality of Electricity Supply**. Council of European Energy Regulators, Electricity Working Group, Quality of Supply Task Force, 2005.
- . **5th Benchmarking report on quality of electricity supply**. Council of European Energy Regulators, Electricity Working Group, Quality of Supply Task Force, 2012
- COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA (Chile). **Estudio del Costo de Falla en el Sistema Interconectado Central**, 1986.
- COOPER, H.; HEDGES, L.V.; VALENTINE, J.C. (Ed.). **The Handbook of Research Synthesis and Meta-Analysis**. Russell Sage Foundation, 2009.
- CRUZ, M. P. **Metodologia para avaliação dos impactos econômicos associados a problemas de qualidade de energia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- CYRILLO, I. O et al. **Consumers' Perceived Economical Evaluation of Power Quality**. In: 20th International Conference on Electricity Distribution, CIRED. Praga, 2009.
- CYRILLO, I. O. **Estabelecimento de metas de qualidade na distribuição de energia elétrica por otimização da rede e do nível tarifário**. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Potência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-19072011-102800>. Acesso em: 2015-10-15.
- DE NOOIJ, M.; KOOPMANS, C.; BIJVOET, C. **The Value of Supply Security: The Costs of Power Interruptions: Economic Inputs for Damage Reduction and Investment in Networks**. *Energy Economics*, v. 29, n. 2, p. 277-295, 2007.
- EPRI(ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE). **Outage Cost Estimation Guidebook, Research Project 2878-04**. Prepared by Freeman, Sullivan & Company, California, 1995.

ELETROBRÁS; “**Relatório da Pesquisa Sobre Custo de Interrupção no Fornecimento de Energia Elétrica**”. Março, 1991.

ELETROBRÁS; PROCEL (programa nacional de conservação de energia elétrica). **Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) - Pesquisa de Posses de Equipamentos e Hábitos de Uso – Ano base 2005, classe residencial. Relatório Brasil**. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/>

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2015: Ano base 2014**. Rio de Janeiro, 2015.

ENERQ-USP. **Projeto de P&D Metodologias de Revisão Tarifária sub-projeto 5 : Qualidade Técnica e Comercial**. Publicação restrita. São Paulo, 2014

ENERGY RESEARCH INSTITUTE. **Electricity Outage Cost Study**. Chulalongkorn University, 2001. Disponível em <http://www.eppo.go.th/power/ERI-study-E/ERI-ExeSummary-E.html>

ESPAÑA. Lei 2/2002, de 25 de abril de 2002. De Protección de la Calidad del Suministro Eléctrico en Extremadura. **Boletín Oficial del Estado**, n. 37, de 12 de febrero de 2013, p. 32-48

———. Orden ECO/797/2002, de 22 de marzo de 2002. Por la que se aprueba el procedimiento de medida y control de la continuidad de suministro eléctrico. **Boletín Oficial del Estado**, n. 89, de 13 de abril de 2002, p. 14170-14176.

———. Real Decreto 222/2008, de 15 de febrero de 2008. Por el que se establece el régimen retributivo de la actividad de distribución de energía eléctrica. **Boletín Oficial del Estado**, n. 67, de 18 de marzo de 2008, p. 16067-16089.

ETO, J. H.; HAMACHI, L. K. **Cost of Power Interruptions to Electricity Consumers in the United States (U.S.)**; Ernest Orlando Lawrence, Berkeley National Laboratory, Environmental Energy Technologies Division; LBNL-58164, 2006.

ETO, J. H.; HAMACHI, L. K. **Understanding the Cost of Power Interruptions to U.S. Electricity Consumers**; Ernest Orlando Lawrence, Berkeley National Laboratory, Environmental Energy Technologies Division; LBNL-55718, 2004.

FUMAGALLI, E.; LO SCHIAVO L.; L.; DELESTRE, F. **Service Quality Regulation in Electricity Distribution and Retail**. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2007.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**, 3ª Edição. EDUSP, São Paulo, 2008.

GOMES P.; SCHILLING M. Th.; **Custo de Interrupção: Conceituação, Metodologia de Avaliação, Valores Existentes e Aplicações**. In: XIV SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Belém. Pará, 1997.

GOUVÊA, M. R. **Bases conceituais para o planejamento de investimentos em sistemas de distribuição de energia elétrica.** Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Universidade de São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

GOUVÊA, M. R. et al. **Análise de Taxas de Falha em Transformadores de Distribuição.** Relatório CED – 052 / EQPT 001 / RL 001 / OR. Centro de Excelência em Distribuição de Energia Elétrica. IEE/USP – ELETROPAULO – CESP – CPFL. São Paulo, 1992.

GROWITSCH, C. et al. **Social cost-efficient service quality - Integrating customer valuation in incentive regulation: Evidence from the case of Norway;** Energy Policy v. 38, n. 5, p. 2536-2544, 2010.

———. **The costs of power interruptions in Germany-an Assessment in the light of the Energiewende.** EWI Working Paper, 2013.

GUIMARÃES, L. C. S. **O Custo da Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica.** Informativo CODI – Comitê de Distribuição de Energia Elétrica. Rio de Janeiro, 1986.

HIDEKI, E. et al. **Determinação do custo de interrupção de energia elétrica de clientes industriais AT/MT,** Relatório final do projeto de P&D, ANEEL, 2001.

HOFMANN, M.; SELJESETH, H.; VOLDEN, G.H.; KJOLLE G.H., **Study on Estimation of Cost due to Electricity interruption and Voltage Disturbance.** Noruega. (Realizado pelo Sintef para CEER), 2010.

HSU, G. J. Y.; CHANG P.; CHEN T. **Various methods for estimating power costs. Some implications and results for Taiwan,** Energy Policy v. 22 n. 1 p. 69-74, 1994.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERS. **Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices.** IEEE Std 1366-2003. ISBN: 0738138894, 2003.

ITANSUCA-SINERGÍA. **Estudio de costos de racionamiento de electricidad y gas natural.** Informe Final de Consultoria preparado para la UPME, 2004.

JAMASB, T.; OREA, L.; POLLITT, M. G. **Estimating Marginal Cost of Quality Improvements: The Case of the UK Electricity Distribution Companies.** Energy Economics v. 34 n.5 p. 1498-1506, 2012

JAMASB, T.; NEPAL, R.; TIMILSINA, G. R. **A quarter century effort yet to come of age: a survey of power sector reforms in developing countries.** World Bank Policy Research Working Paper, n. 7330, 2015.

JARAMILLO, P.; SKOKNIC, E. **Costo Social de las Restricciones de Energía Eléctrica.** ENDESA, 1973

JUCÁ, A. S. **Avaliação do Relacionamento Entre Consumidores e Concessionárias na Solução de Conflitos por Danos Elétricos: Proposta de Adequação.** 178p. Tese (Doutorado em Engenharia

Elétrica), Universidade de São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

KAGAN, N. et al. **Regulação da Qualidade do Fornecimento**. In: Hage, Fabio S. El; Delgado, Marco A. P. (Org.). *Regulação Técnica e Econômica em Monopólios Naturais: Reflexões conceituais e metodológicas no setor de distribuição de energia elétrica*. Rio de Janeiro: Synergia cap. 6. p. 269-345, 2015

KHATIB, H. **Economics of Reliability in Electrical Power Systems**, Technicopy Limited, England, 1978.

———. **Financial and Economic Evaluation of Projects in the Electricity Supply Industry**, Institution of Electrical Engineers, 1997.

LEAHY, E.; TOL, R.S.J. **An estimate of the value of lost load for Ireland**. *Energy Policy*, vol. 39, no. 3, pp. 1514-1520, 2011

LONDON ECONOMICS. **Estimating the Value of Lost Load. Briefing paper prepared for the Electric Reliability Council of Texas, Inc.** London Economics International LLC, 2013.

———. **The Value of Lost Load (VoLL) for Electricity in Great Britain**. Final report for OFGEM and DECC, 2013.

LINWEBER, D.; McNULTY, S. **The Cost of Power Disturbances to Industrial & Digital Economy Companies**. Electric Power Research Institute, 2001.

MAGALHÃES, C.H.N. et al. **Avaliação do custo social de interrupção do fornecimento de energia elétrica do lado da demanda no estado de São Paulo**. XVI SNPTEE, Campinas, 2001.

MAGALHÃES, Cecília Helena Negri de. **Recursos operativos no planejamento de expansão de sistemas de potência**. 2009. Tese (Doutorado em Sistemas de Potência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MARQUES, R. M. B. **Ferramenta computacional para avaliação do impacto econômico da qualidade da energia elétrica no setor de produção das indústrias**; Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Ceará, Fortaleza, 2006.

MASSAUD, A. G.; SCHILLING, M. Th; HERNANDEZ, J. P. **Electricity restriction costs**. In: *Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings - IET*, 1994, p. 299-304.

MATSUKAWA, I.; FUJII, Y. **Customer preference for reliable power supply: using data on actual choices of back-up equipment** *The Review of Economics and Statistics*, p. 434-446, 1994.

MERCADOS ENERGÉTICOS CONSULTORES. **Actualización de los costos de racionamiento de electricidad y gas natural en Colombia**. Informe Final, informe de consultoría preparado para a UPME, 2011.

MOK, Y. L.; CHUNG, T. S. **Prediction of domestic, industrial and commercial interruption costs by relational approach.** In Advances in Power System Control, Operation and Management, 1997. APSCOM-97. Fourth International Conference on (Conf. Publ. No. 450) vol. 1, p. 209-215. IET, 1997.

MUNASINGHE, M.; GELLERSON, M. **Economic Criteria for Optimizing Power System Reliability Levels,** The Bell Journal of Economics, v. 10, n. 1 p. 353-65, 1979.

MUNASINGHE, M. **The Economics of Power System Reliability and Planning;** The World Bank and The John Hopkins University Press, Baltimore; ISBN 0-8018-2276-9; EEUU, 1979.

OFFICE OF GAS AND ELECTRICITY MARKETS. **Guaranteed Standards of Performance for Electricity Distribution Companies in England, Scotland & Wales,** Ofgem, UK, 2005.

———. **Guaranteed Standards: Ofgem Guidance and Proposals on Best Practice - Electricity Distribution,** UK, 2006.

———. **Expectations of DNOs & Willingness to Pay for Improvements in Service,** Final Report.

———. **Price Controls Explained – factsheet,** 2013. Disponível em: <https://www.ofgem.gov.uk/ofgem-publications/64003/pricecontrolexplainedmarch13web.pdf>; Acesso em 11/01/2016.

PELEGRINI, M.A. et al. **Pesquisa sobre o Custo de Interrupção em Grandes Clientes** in CBQEE, 2011.

POUDINEH, R.; JAMASB, T. **Electricity Supply Interruptions: sectoral Interdependencies and the Cost of Energy Not Served for the Scottish Economy,** The Oxford Institute for Energy Studies paper EL 12.

RECKON. **Desktop review and analysis of information on Value of Lost Load for RIIO-ED1 and associated work.** Report commissioned by Ofgem, 2012.

RIVERA J. et al. **Consultoría Estudio Costo de Falla de Corta y Larga Duración SIC, SING, y SSMM,** Trabajo de Consultoria realizado para a Comisión Nacional de Energía (CNE) do Chile. Santiago, 2012.

SANGHVI, A. P. **Economic costs of electricity supply interruptions: US and foreign experience.** v. 4, n. 3, p. 180-198, 1982.

SCHILLING, M. Th.; MARANGON LIMA, J. W. **Parâmetros de Desempenho da Distribuição** In XI Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica – SENDI. Blumenau, 1992.

SCHRODER, T.; KUCKSHINRICH, W.; **Value of Lost Load - Literature review** in Frontiers in Energy Research, Volume 3, artigo 55. 2015



SERRA, P.; FIERRO, G. **Outage costs in Chilean industry**; Energy Economics v. 19, n. 4, p. 417-434, 1997.

SETRÉUS, J.; WALLNERSTOM, C. J.; BERTLING, L. **A comparative study of regulation policies for interruption of supply of electrical distribution systems in Sweden and UK**. 19th Cired 2007, Viena.

SHIGA, A. A. **Avaliação de custos decorrentes de descargas atmosféricas em sistemas de distribuição de energia**. Dissertação (Mestrado em Energia), Universidade de São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-03072007-081750/>. Acesso em: 2015-10-20.

SULLIVAN, M.J.; MERCURIO, M.; SCHELLENBERG, J. **Estimated Value of Service Reliability for Electric Utility Customers in the United States**. Lawrence Berkeley National Laboratory, 2009.

SULLIVAN, M.J.; SCHELLENBERG, J. et al. **Updated Value of Service Reliability Estimates for Electric Utility Customers in the United States**. Lawrence Berkeley National Laboratory, 2015.

SURVEY RESEARCH CENTER. **A Survey of the Implications to California of the August 10, 1996 Western States Power Outage**; Consultant Report for the California Energy Commission. Disponível em <http://www.energy.ca.gov>. 1997

SYSTEP INGENIERIA Y DISENOS. **Costo de falla de larga duración en el SING. Informe Final definitivo**. Preparado para la Comisión Nacional de Energía (Chile). Santiago, 2009.

TANURE, J. E. P. S.; **Análise comparativa de empresas de distribuição para o estabelecimento de metas de desempenho para indicadores de continuidade do serviço de distribuição**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2000.

———. **Proposta de procedimentos e metodologia para estabelecimento de metas de qualidade (DEC e FEC) para concessionárias de distribuição de energia elétrica através da análise comparativa**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Universidade de São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

TEIXEIRA, M. D. et al. **Estratégia para o Cálculo dos Custos Associados à Qualidade de Energia Elétrica em Consumidores Industriais**. In Conferência Brasileira sobre Qualidade de Energia v.1, 2011.

TELSON, M. L. **The economics of alternative levels of reliability for electric power generation systems**; The Bell Journal of Economics; vol. 6, n. 2 p. 679-694, 1975.

TRENGEREID, F. **Quality of supply regulation in Norway**. In Proceedings of 17th International Conference & Exhibition on Electricity Distribution, Barcelona, Spain, 2003.

VAUGHAN, W. J. et al. **Central tendency measures of willingness to pay from referendum contingent valuation data: issues and Alternatives in project analysis;** (06/99) ENV-130; E. Inter-American Development Bank.

WAMPOLD, B. E., AHN, H., Kim, D. **Meta-analysis in the Social Sciences: A Useful Way to Make Sense of a Series of Findings from a Large Number of Studies.** *Asia Pacific Education Review*, v. 1, n. 1, p. 67-74, 2000.

ZACHARIADIS, T.; POULLIKKAS, A. **The Costs of Power Outages: A Case Study from Cyprus.** *Energy Policy*, vol. 51, no. 1, pp. 630-641, 2012.