



AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL NO BRASIL

Juliano Vianna Amaral Bacelo Ferrario

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientadores: Laura Silvia Bahiense da
Silva Leite
Luiz Fernando Loureiro
Legey

Rio de Janeiro
Agosto de 2012

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA
RESIDENCIAL NO BRASIL

Juliano Vianna Amaral Bacelo Ferrario

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Examinada por:

Prof. Laura Sílvia Bahiense da Silva Leite, D.Sc.

Prof. Luiz Fernando Loureiro Legey, Ph.D.

Prof. Lúcio Guido Tapia Carpio, D.Sc.

Prof. Virgílio José Martins Ferreira Filho, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ, BRASIL
AGOSTO DE 2012

Ferrario, Juliano Vianna Amaral Bacelo

Avaliação do impacto da qualidade de energia elétrica residencial no Brasil/ Juliano Vianna Amaral Bacelo Ferrario. – Rio de Janeiro: UFRJ / COPPE, 2012.

X, 45 p.: Il.; 29,7 cm.

Orientadores: Laura Silvia Bahiense da Silva
Leite
Luiz Fernando Loureiro Legey

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/
Programa de Engenharia de Produção, 2012.

Referências Bibliográficas: p. 44-45

1. Custo do Déficit. 2. Déficit de eletricidade. 3. Falta de luz. I. Leite, Laura Silvia Bahiense da Silva *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título

À minha irmã Mariana e ao meu pai Afonso
Por todo amor e companheirismo
E à minha mãe Denise
Que deve estar tagarelando orgulhosa com os outros anjos
Sobre a alegria de ver este sonho realizado

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me trouxe capacidade para enfrentar o desafio e persistência para não desanimar.

A meus parentes e familiares, base fundamental para minha felicidade, principais fontes de alegria e aprendizado.

A meus orientadores, pelo comprometimento em todos os momentos, pelo carinho e didática nos momentos de explicação, e pela amizade.

A meus colegas de grupo de estudo de energia, essenciais para base de discussões no primeiro ano de tese e pesquisa bibliográfica.

A meus colegas de trabalho, que souberam entender os meus momentos de ausência.

Agradecimento à banca examinadora, por sua disponibilidade e interesse no momento de defesa desta tese.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M. Sc.)

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL NO BRASIL

Juliano Vianna Amaral Bacelo Ferrario

Agosto / 2012

Orientadores: Laura Silvia Bahiense da Silva Leite

Luiz Fernando Loureiro Legey

Programa: Engenharia de Produção

Uma das principais dúvidas em qualquer tipo de negócio é a decisão de quanto investir, uma vez que o investimento é proporcional ao nível de serviço prestado. No caso do mercado de eletricidade não é diferente. Neste mercado, é preciso cautela para o controle do abastecimento de eletricidade nos diversos setores da economia, seja nas residências, no setor de serviços ou nas indústrias. Para monitorar o binômio investimento versus nível de serviço é preciso valorar a qualidade da energia elétrica fornecida. O objetivo desta dissertação é apresentar e discutir algumas metodologias para a estimação da qualidade do serviço de eletricidade, e apresentar um estudo de caso realizado com consumidores residenciais.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M. Sc.)

EVALUATION ON THE IMPACT ABOUT QUALITY OF THE RESIDENTIAL
ELECTRIC POWER IN BRAZIL

Juliano Vianna Amaral Bacelo Ferrario

August / 2012

Advisors: Laura Silvia Bahiense da Silva Leite

Luiz Fernando Loureiro Legey

Department: Industrial Engineering

One of the key questions in any kind of business is deciding how much to invest, since the investment is proportional to the service level. In the case of the electricity market it is not different. In this market, caution is needed to control the supply of electricity in different sectors of the economy, whether in homes, industry or in the service sector. To monitor the tradeoff between investment and service level there is a need to evaluate the cost of power interruptions. The objective of this dissertation is to present and discuss some methods for estimating the cost of power interruptions, and present a case study conducted with residential customers.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO	1
1 INDÚSTRIA DA ENERGIA ELÉTRICA.....	2
1.1 <i>Histórico.....</i>	2
1.1.1 O projeto da usina hidrelétrica de Belo Monte	6
1.2 <i>Matriz Energética Brasileira</i>	6
1.2.1 Energia Eólica no Brasil	8
1.3 <i>Peculiaridade: Incerteza.....</i>	9
2 CUSTO DO DÉFICIT	11
2.1 <i>Custo da Falta – Exemplo de Logística.....</i>	11
2.2 <i>Custo da Falta – Exemplo de Pesquisa Operacional.....</i>	13
2.3 <i>Custo da Falta Energética.....</i>	15
2.3.1 Déficit de potência e de energia	16
3 METODOLOGIAS DE CÁLCULO DO CUSTO DO DÉFICIT	18
3.1 <i>Investimento de backup</i>	19
3.2 <i>Valor Perdido de Produção</i>	23
3.3 <i>Matriz Insumo-Produto.....</i>	26
3.4 <i>Entrevista com consumidores</i>	29
4 PESQUISA DE CAMPO: ESTIMANDO O CUSTO DO DÉFICIT	
RESIDENCIAL	31
4.1 <i>Data de Aplicação.....</i>	31
4.2 <i>Amostra Pesquisada</i>	31
4.3 <i>Metodologia utilizada</i>	32
4.4 <i>Revisão de Metodologia.....</i>	33
4.5 <i>Análise de Resultados</i>	34
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	43
6 BIBLIOGRAFIA	44

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Inauguração da primeira instalação de iluminação elétrica permanente do país, na Estação Central da Estrada de Ferro D. Pedro II (RJ).....</i>	<i><u>224</u></i>
<i>Figura 2 - Inauguração da primeira linha de bondes elétricos, pela Companhia Ferro-Carril do Jardim Botânico (CFCJB).....</i>	<i><u>332</u></i>
<i>Figura 3 – Barragem de 15 metros da Usina de Parnaíba</i>	<i><u>332</u></i>
<i>Figura 4 – Inauguração de Paulo Afonso I.....</i>	<i><u>443</u></i>
<i>Figura 5 – Usina de Piratininga.....</i>	<i><u>443</u></i>
<i>Figura 6 – Usina de Tucuruí, primeira hidrelétrica de grande porte construída na Amazônia.....</i>	<i><u>443</u></i>
<i>Figura 7 – Usina de Itaipu, uma das maiores em produção de energia do mundo....</i>	<i><u>554</u></i>
<i>Figura 8 - Incerteza na gestão hidrelétrica</i>	<i><u>10409</u></i>
<i>Figura 9 - Exemplo de Logística</i>	<i><u>121211</u></i>
<i>Figura 10 – Residência abastecida com energia elétrica de fonte solar.....</i>	<i><u>222220</u></i>
<i>Figura 11 – Residência com aquecimento de água com fonte solar</i>	<i><u>232324</u></i>
<i>Figura 12 – Matriz Insumo Produto Brasileira 2000-2005 (ilustração).....</i>	<i><u>272725</u></i>
<i>Figura 13 – Formulário através do Googleform.....</i>	<i><u>323230</u></i>
<i>Figura 14 – Formulário físico (em papel).....</i>	<i><u>343432</u></i>
<i>Figura 15 – Processo de mudança de unidade do Custo do Déficit.....</i>	<i><u>404038</u></i>

ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Evolução da capacidade de Geração por energético (em MW).....</i>	<i><u>998</u></i>
<i>Tabela 2 – Descrição dos componentes do custo do déficit por usuário primário</i>	<i><u>161615</u></i>
<i>Tabela 3 – Curva do Custo do Déficit</i>	<i><u>191917</u></i>
<i>Tabela 4 – Comparação entre geradores a Diesel e a Gás Natural</i>	<i><u>212119</u></i>
<i>Tabela 5 – Matriz Insumo Produto brasileira de 2005 relativa ao impacto do setor de Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana.....</i>	<i><u>282826</u></i>
<i>Tabela 6 – Custo do Déficit por duração e setor (em um dia de semana no verão)</i>	
<i>.....</i>	<i><u>282826</u></i>

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Matriz Energética Brasileira (Capacidade de Geração)	<u>776</u>
Gráfico 2 - Matriz Energética Brasileira (Geração efetiva)	<u>887</u>
Gráfico 3 - Relação entre PIB e consumo de energia elétrica - Brasil	<u>232322</u>
Gráfico 4 - Relação entre PIB e consumo de energia elétrica - Argentina	<u>242422</u>
Gráfico 5 - Relação entre PIB e consumo de energia elétrica - China	<u>242423</u>
Gráfico 6 - Relação entre PIB e consumo de energia elétrica - USA	<u>252523</u>
Gráfico 7 – Divisão de renda da primeira amostra (400 respondentes)	<u>353533</u>
Gráfico 8 – Evolução temporal das respostas da primeira amostra (400 respondentes)	<u>353533</u>
Gráfico 9 – Divisão de renda da amostra	<u>363634</u>
Gráfico 10 – Pizza da frequência de falta de eletricidade	<u>363634</u>
Gráfico 11 – Visão 3D (Frequência de falta por faixa de renda)	<u>373735</u>
Gráfico 12 – Pizza de aborrecimento pelo déficit de energia elétrica	<u>383836</u>
Gráfico 13 – Custos do déficit por faixa de renda	<u>383836</u>
Gráfico 14 – Divisão de renda da amostra x população brasileira	<u>393937</u>
Gráfico 15 – Custos do déficit amostra e Brasil (R\$/mês)	<u>393937</u>
Gráfico 16 – Regressão geométrica aplicada ao % da renda destinada a gastos com eletricidade	<u>414139</u>
Gráfico 17 – Custos do déficit Brasil: pesquisa x EPE (R\$/MWh)	<u>424240</u>

INTRODUÇÃO

Os constantes avanços da tecnologia tornam o ser humano cada vez mais dependente de energia elétrica. Independente do tipo de geração da energia (seja aproveitando uma forte afluência hídrica, um terreno com ventos constantes ou o produto de uma reação química), o consumo da energia elétrica está no cotidiano de todas as pessoas e empresas.

O objetivo desta dissertação é avaliar o impacto da qualidade do serviço de eletricidade em empresas e, principalmente, nas residências. Para tal, começamos no Capítulo 1 contextualizando a indústria da energia elétrica. Após abordar a matriz energética brasileira, fica clara uma dependência da geração hidrelétrica. Este tipo de geração possui fortes características de incerteza, pela dependência de afluência e pluviosidade.

No Capítulo 2 abordamos o assunto principal da dissertação: a qualidade da oferta de energia elétrica associada à existência de interrupções na prestação do serviço, seja por curto espaço tempo — usualmente medido pelos indicadores DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora), ou de longa duração — normalmente associada ao custo do déficit de energia elétrica. Através de pesquisa bibliográfica, referências de outros negócios ou conceitos análogos, definimos o que deve ser esperado por custo do déficit de eletricidade.

No Capítulo 3 aprofundamos o desafio em como quantificar o custo do déficit, uma grandeza altamente subjetiva. Detalhamos quatro metodologias de estimativa do custo do déficit.

Por fim, no Capítulo 4 apresentamos a aplicação e os resultados de uma pesquisa de campo, baseada na entrevista com consumidores de eletricidade (uma das metodologias proposta no capítulo anterior). Comparamos o custo do déficit da pesquisa de campo com os valores da EPE (Empresa de Pesquisa Energética), utilizado como referência de mercado nacional.

1 INDÚSTRIA DA ENERGIA ELÉTRICA

O setor de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica possui importância vital no mercado brasileiro. Também conhecido como indústria da energia elétrica, falar de sua história torna-se primordial. Para a seção a seguir, foi utilizado como referência o site “Memória da Eletricidade”, da Eletrobrás.

1.1 Histórico

Os primeiros passos da indústria elétrica brasileira se deram a partir do final do século XIX, com a construção de pequenos empreendimentos hidrelétricos e termelétricos, com capital nacional.

Em meados de 1879, D. Pedro II concedeu a Thomas Edison o privilégio de introduzir no país aparelhos e processos de sua invenção, destinados a utilização de luz elétrica na iluminação pública, como se pode ver na Figura 1, a seguir.



Figura 1 - Inauguração da primeira instalação de iluminação elétrica permanente do país, na Estação Central da Estrada de Ferro D. Pedro II (RJ)

Fonte: Eletrobrás

Em 1883, entrou em operação a primeira usina hidrelétrica do país, a Usina de Marmelos, situada no município de Diamantina (MG), aproveitando as águas do Ribeirão do Inferno, afluente do rio Jequitinhonha. Em 1892, houve a inauguração, na cidade do Rio de Janeiro (RJ), da primeira linha de bondes elétricos instalada em caráter permanente, ligando o Largo dos Leões (Botafogo) ao Largo do Machado, ilustrada na Figura 2, a seguir.

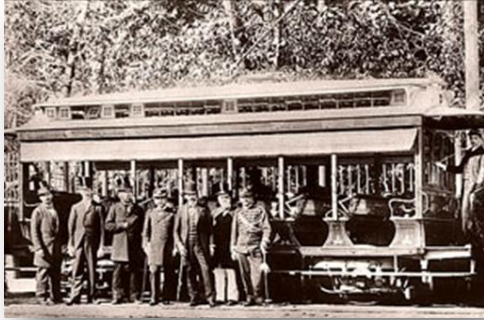


Figura 2 - Inauguração da primeira linha de bondes elétricos, pela Companhia Ferro-Carril do Jardim Botânico (CFCJB)

Fonte: Eletrobrás

As duas primeiras décadas do século XX indicaram a entrada de capital estrangeiro devido ao interesse no potencial de mercado, que se mostrava promissor.

No início do século, entra em operação a Usina Hidrelétrica de Parnaíba (ver Figura 3, a seguir), primeira a contar com barragem de mais de 15 metros. Era um marco histórico para um país que seria caracterizado por grandes usinas hidrelétricas.



Figura 3 – Barragem de 15 metros da Usina de Parnaíba

Fonte: Eletrobrás

O período de 1930 a 1940 comporta um elevado crescimento do setor elétrico, trazendo à tona a necessidade de regulamentação destas atividades. De 1950 a 1970 observa-se forte atuação pública, com investimentos principalmente na construção de grandes hidrelétricas.

Em 1954 ocorrem duas grandes inaugurações para o setor elétrico brasileiro, retratadas na Figura 4 e na Figura 5, a seguir: primeira grande hidrelétrica construída no rio São Francisco, (Paulo Afonso I); e usina de Piratininga, como primeira termelétrica de grande porte do Brasil.



Figura 4 – Inauguração de Paulo Afonso I

Fonte: Eletrobrás



Figura 5 – Usina de Piratininga

Fonte: Eletrobrás

Apesar de contemplar a inauguração das usinas de Tucuruí (Figura 6, a seguir) e Itaipu (Figura 7, a seguir), a década de 80 foi marcada por forte recessão no país e perda da capacidade de investimento do governo no setor.



Figura 6 – Usina de Tucuruí, primeira hidrelétrica de grande porte construída na Amazônia

Fonte: Eletrobrás



Figura 7 – Usina de Itaipu, uma das maiores em produção de energia do mundo

Fonte: Eletrobrás

Este fato deflagrou a necessidade de, a partir dos anos 90, iniciar-se uma forte e constante mudança no setor, seguindo tendências internacionais, com privatizações e permissão de concorrência nos segmentos de geração e comercialização de energia elétrica. O ano de 1997 foi marcado por muitas privatizações, das quais algumas podem ser destacadas:

- Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia, em leilão realizado no dia 31 de julho;
- Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), em leilão realizado no dia 21 de outubro;
- Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL), em leilão realizado no dia 5 de novembro;
- Empresa Energética de Mato Grosso do Sul (Enersul), em leilão realizado no dia 19 de novembro;
- Centrais Elétricas Matogrossenses (Cemat), em 27 de novembro;
- Empresa Energética de Sergipe (Energipe), em leilão realizado no dia 3 de dezembro;
- Companhia Energética do Rio Grande do Norte (Cosern), em leilão realizado no dia 12 de dezembro.

O modelo setorial atual, implementado pelo governo do presidente Luís Inácio Lula da Silva em 2004, está em fase de maturação, tentando permitir a competição e garantir o atendimento do mercado, com uma expansão consistente da geração e uma operação com o menor custo possível.

1.1.10 projeto da usina hidrelétrica de Belo Monte

A usina hidrelétrica de Belo Monte é um projeto do planejamento energético brasileiro que está sendo implantada no Rio Xingú, no estado do Pará. Este empreendimento deve acrescentar mais de 11 mil megawatts de capacidade instalada à matriz energética nacional. Com essa potência, será a segunda maior hidrelétrica do Brasil, atrás apenas da usina de Itaipu, que possui 14 mil megawatts de potência e é considerada binacional, pois é administrada por Brasil e Paraguai.

Um dos exemplos de PPP (Parceria Público Privada), o projeto de Belo Monte está sendo implantado pela Norte Energia (Nesa), consórcio vencedor do leilão realizado em Abril de 2010. A Nesa é composta por 49,9% da Eletrobrás e 50,1% de diversas empresas brasileiras privadas.

A decisão de investir em energia hidrelétrica para ampliar a matriz energética nacional foi reforçada pelo compromisso voluntário assumido pelo Brasil, em 2009, de reduzir as emissões de CO₂ em quase 40% até 2020.

O projeto também prevê maior eficiência e proteção social e ambiental. O atual projeto é muito diferente do projeto original Kararaô apresentado em 1989, pois reduziu de forma significativa a área alagada. No entorno de Belo Monte existem 10 terras indígenas, e nenhuma delas será alagada. Segundo dados da EPE (Empresa de Pesquisa Energética), a relação entre capacidade de geração por área alagada de Belo Monte é de 20 MW/km², superior a de outras usinas do país, como Serra da Mesa (0,7 MW/km²), Tucuruí (3,45 MW/km²) e Itaipu (10 MW/km²). A média nacional é de 2,04 MW/km².

Também segundo estudos da EPE, o investimento estimado para a construção da usina de Belo Monte é de R\$20,3 bilhões (preços de dezembro de 2008), sendo R\$3,3 bilhões destinados aos programas sociais e ambientais propostos.

1.2 Matriz Energética Brasileira

Antes de apresentar a matriz energética brasileira, precisamos definir a diferença entre capacidade e energia gerada. E essa diferença fica explícita quando lembramos as equações do ensino médio escolar: energia é igual à potência multiplicada pelo tempo. Ou seja, potência é a capacidade de gerar energia ao longo de um período. E é por isso que a capacidade de geração de energia elétrica é medida como potência (em GW) e a energia gerada é medida como energia de fato (em GWh).

Como existem diversas fontes de energia com preços diferentes, quando a capacidade de geração é maior do que a demanda, é importante privilegiar as fontes mais baratas no momento da geração de fato da energia. Uma analogia seria, por exemplo, quando diversas famílias precisam comprar 500kg de açúcar no mercado. O mercado possui 10 marcas com capacidade de vender 100 kg cada. É natural que as famílias escolham as marcas mais baratas (nesse caso, as cinco mais baratas). Ou seja, a matriz de capacidade de venda de açúcar do mercado terá os 10 produtos, porém, a matriz de venda efetiva de produto corresponderá somente ao consumo requerido. E é claro que, o percentual relativo aos produtos mais baratos cresce ao migrarmos da matriz de capacidade para a matriz de venda.

Este processo, de ordenar as fontes de energia elétrica por ordem crescente de custo e privilegiar as mais baratas até suprir a matriz de necessidade, é conhecido no setor elétrico como ordem de mérito.

Pode-se observar tal diferença ao se comparar o Gráfico 1 e Gráfico 2, a seguir, que mostram a matriz energética brasileira em termos de capacidade instalada de geração de energia elétrica e de geração efetiva de energia elétrica, respectivamente. O Brasil possui ampla capacidade de geração de energia de fonte hidrelétrica, que por ser mais barata, fica ainda mais destacada quando analisamos a geração de fato. Segundo os dados da (EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2011), a fonte hidrelétrica corresponde a 68% da capacidade instalada, e 78% da geração efetiva. Vale lembrar que PCH e CGH são, respectivamente, pequenas centrais hidroelétricas e centrais geradoras elétricas.

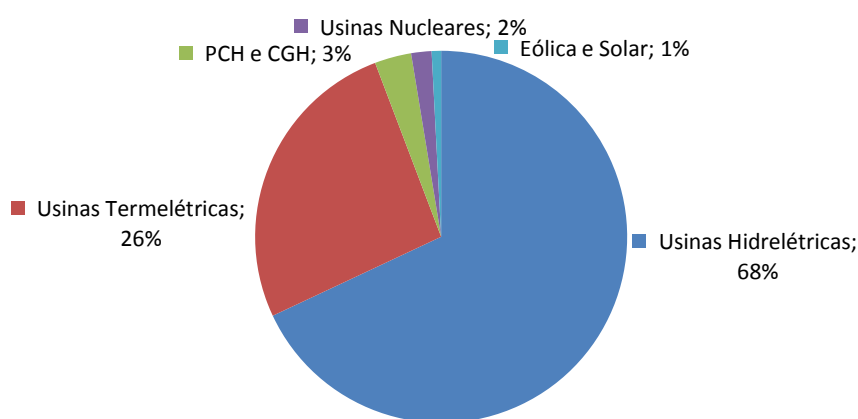


Gráfico 1 - Matriz Energética Brasileira (Capacidade de Geração)

Fonte: EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2011)

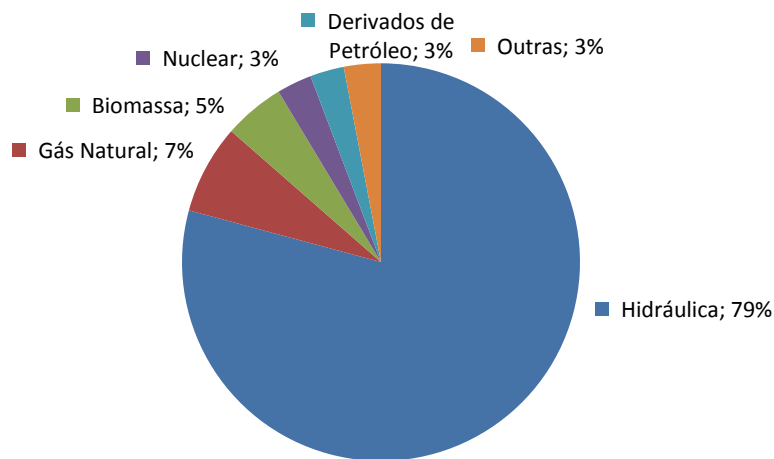


Gráfico 2 - Matriz Energética Brasileira (Geração efetiva)

Fonte: EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2011)

Existem em torno de 2.200 empreendimentos energéticos em operação no país, com capacidade de mais de 100 GW.

Do total de empreendimentos, em torno de 850 são hidrelétricas, que correspondem a 68% da capacidade de geração energia elétrica do país, ou seja, 78 GW. Dados do Ministério de Minas e Energia avaliam que o potencial energético dos rios brasileiros pode chegar a 258GW e que apenas 28.2% é aproveitado. As três grandes bacias hidrográficas do país (Amazonas, São Francisco e Paraná) cobrem 72% do território nacional e concentram 80% do volume de água do país. Uma força hídrica que impressiona o mundo e sustenta a demanda por energia.

Além do potencial, o custo também deve ser considerado. A energia gerada por água, além de limpa, é renovável e barata. Hidrelétricas, como Belo Monte, por exemplo, produzem energia a R\$78 MW/h, enquanto que o valor para usinas a gás situa-se em torno de R\$200, e para usinas eólicas cerca de R\$150. Esta última será detalhada a seguir.

1.2.1 Energia Eólica no Brasil

Para entender melhor sobre o movimento de crescimento desta nova fonte energética renovável, é essencial falar de seu grande motivador, o PROINFA. Criado através da lei nº10.762, de 11/11/2003, o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica é coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e gerenciado pela ELETROBRÁS.

O PROINFA estabeleceu para sua primeira fase a contratação de 3,3 GW no Sistema Interligado Nacional, produzidos pelas fontes: eólica, biomassa e pequenas

centrais hidrelétricas (PCH). O Programa conta com forte auxílio de financiamento do BNDES, para atratividade do negócio. E o aumento desta fonte de energia na matriz brasileira fica claro na Tabela 1, a seguir.

Ano	Hidro	Termo	Eólica	Nuclear
1990	45.558	6.835		657
1991	46.616	6.868		657
1992	47.709	6.684	0,1	657
1993	48.591	6.975	0,1	657
1994	49.921	7.051	1	657
1995	51.367	7.097	1	657
1996	53.119	7.025	1	657
1997	54.889	7.426	1	657
1998	56.759	7.788	6	657
1999	58.997	8.507	19	657
2000	61.063	10.623	19	2.007
2001	62.523	11.706	19	2.007
2002	65.311	15.118	22	2.007
2003	67.793	16.703	29	2.007
2004	68.999	19.725	29	2.007
2005	70.857	20.264	29	2.007
2006	73.433	20.957	237	2.007
2007	76.871	21.325	247	2.007
2008	77.870	23.817	414	2.007
2009	79.291	24.315	602	2.007
2010	80.703	29.689	928	2.007

Tabela 1 - Evolução da capacidade de Geração por energético (em MW)

Fonte: EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2011)

Porém, observa-se que o fator de capacidade (percentual de utilização em relação à capacidade máxima) que as usinas eólicas estão operando se encontra abaixo das expectativas feitas pelo governo, que eram de 30% a 40%. Em dezembro de 2009, o governo realizou o 2º Leilão de Energia de Reserva, primeiro leilão exclusivo para contratação de energia proveniente de fonte eólica, com ideia de suprimento a partir de 01/07/2012. O preço médio do MWh ficou em R\$148,39, segundo (Salino, 2011).

1.3 Peculiaridade: Incerteza

A distribuição de energia elétrica no Brasil tem o objetivo de atender a carga com qualidade e ao menor custo possível, atendendo as restrições técnico-operativas e ambientais, como uso múltiplo da água (irrigação, navegação, pesca, turismo, etc.), controle de cheias, etc.

Desta forma, há necessidade de otimização dos recursos energéticos disponíveis, representados pelos estoques existentes nos reservatórios das usinas hidrelétricas.

Porém, como afluência não é determinística (depende de chuvas e outros fatores não determinísticos), o processo de decisão pode gerar custos de falta ou excesso.



Figura 8 - Incerteza na gestão hidrelétrica

Fonte: O autor

Pode-se acompanhar a lógica pela Figura 8, acima. Quando se estima que a afluência futura dos rios será baixa, é racional escolher pela economia de água. Se esta previsão acontecer, os níveis médios de reservatório ficarão aceitáveis. Todavia, um erro nesta previsão pode gerar aumento constante nos níveis do reservatório, levando, provavelmente ao vertimento (perda de água).

Quando se estima que a afluência futura será alta, a escolha se altera para não economizar água e supor que os níveis de reservatório continuarão altos da mesma forma. O problema acontece no caso de erro da previsão, podendo o nível de água descer a um determinado ponto que resulte na interrupção de geração de energia elétrica.

2 CUSTO DO DÉFICIT

O custo do déficit (ou falta) pode ser interpretado por diversos aspectos ou visões. Neste capítulo, são apresentadas as visões sob a ótica de logística, de pesquisa operacional (ligado à otimização matemática) e do trabalho: custo do déficit de eletricidade.

2.1 Custo da Falta – Exemplo de Logística

Também conhecido como Custo da Venda Perdida, o Custo da Falta ocorre quando uma determinada empresa não consegue abastecer o mercado com a quantidade demandada pelo seu produto. Assim, a falta de produtos para atender a demanda prejudica uma das principais dimensões do nível de serviço logístico, a disponibilidade.

Entre a série de complicações decorrentes da falta de produto podem-se destacar o resultado negativo para a marca e a perda de fidelidade dos clientes, que acabam recorrendo a outras marcas e produtos substitutos. Esse resultado poderia ser avaliado como um possível custo da venda perdida, mas isso exigiria uma parcela de arbítrio em sua mensuração. Uma maneira conservadora de avaliar esse custo, desconsiderando as questões relativas à imagem da marca e à fidelidade do cliente, é avaliar exclusivamente o prejuízo relativo a não vender o produto devido a sua indisponibilidade (Nigel Slack, 2002). Mas quando tentamos quantificar essa perda, todos os fatores devem ser levados em consideração, inclusive os subjetivos.

Para facilitar o entendimento, vamos utilizar o exemplo de uma operação logística. O exemplo ilustrativo é de uma operação logística de transporte de grãos. O grão é produzido no interior do nordeste brasileiro e deve ser consumido no interior do sudeste. Para tal, ele executa uma série de transportes e armazenagens:

- Um primeiro transporte rodoviário até à ferrovia mais próxima, equivalente a 1 hora.
- Após a primeira perna rodoviária, o produto segue via ferrovia para próximo do Porto de Salvador, equivalente a 3 horas.
- Como a ferrovia não liga diretamente ao porto, existe um carrossel rodoviário que transporta a carga até o Porto, equivalente a 1 hora.
- No porto, o produto fica estocado até a passagem do próximo navio contratado. Esta armazenagem pode chegar a 3 dias.

- A carga segue no modal marítimo até o Porto de Santos, em um tempo equivalente a 12 horas.
- Transporte rodoviário de Santos até a ferrovia mais próxima, equivalente a 1 hora.
- Transporte ferroviário para o interior paulista, equivalente a 1 hora.
- Carrossel rodoviário entre o final da linha férrea e a fábrica, de 1 hora.
- Estoque na fábrica.
- E finalmente, consumo na fábrica.

No momento do transporte marítimo, podem-se escolher duas armadoras. E existe um transporte alternativo basicamente ferroviário pelo interior. A ilustração da cadeia está na Figura 9.

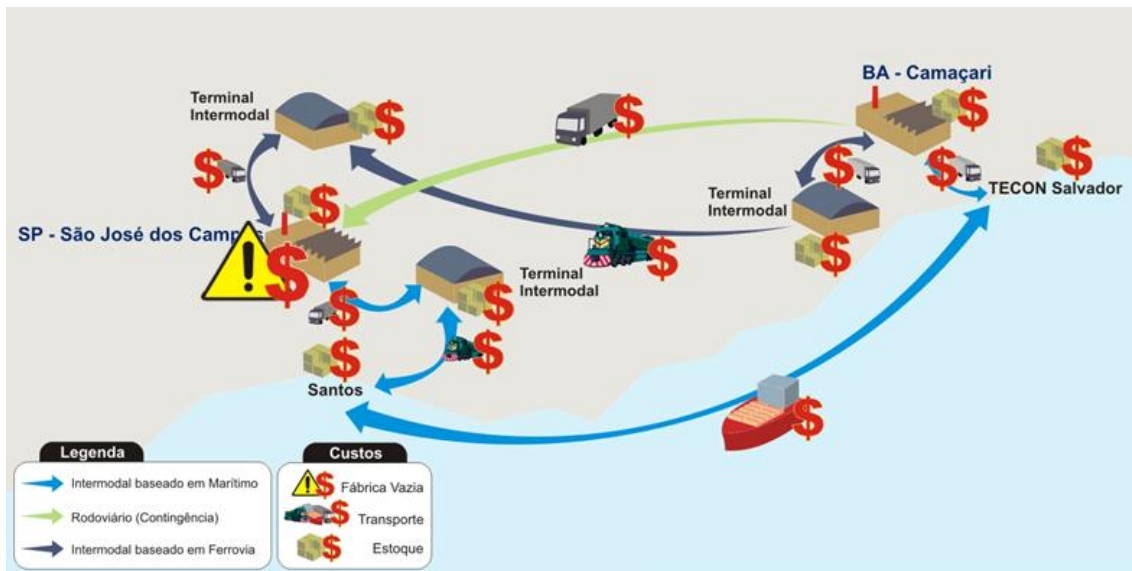


Figura 9 - Exemplo de Logística

Fonte: O autor

Todas as pernas de transporte e armazenagens possuem custos e limites. Se a quantidade total de containers no sistema for alta, a tendência é de altos custos de estoque, e tempo elevado para devolução do container, gerando custo de *demurrage*.

Demurrage significa uma multa que é aplicada pelo armador ao seu cliente que está utilizando um container pelo atraso na sua devolução. O armador normalmente estabelece um prazo para a devolução do container, em média uma semana após o seu desembarque, mas podendo variar de acordo com o que for negociado com o armador.

Porém, se a quantidade total de containers no sistema for baixa, os estoques serão baixos, e as variabilidades no transporte podem ocasionar a parada da fábrica por falta de insumo.

Esse custo da fábrica parada possui diversos problemas. O valor dos produtos que deixaram de ser produzidos e vendidos (se houver sempre demanda) representa uma perda gritante para empresa. Além disso, existe o custo de perder o cliente, que é bastante subjetivo como dito anteriormente. Em alguns casos pode envolver até custos de manutenção da máquina principal.

Algumas empresas estimam que este custo da falta seja de cem mil reais por hora de produção interrompida. E este custo deve entrar na conta de um problema de PO com objetivo de minimização de custos.

Vale ressaltar que o custo da falta, ou da fábrica parada, está intimamente ligado ao % de utilização da mesma. Para 100%, o custo da falta tem de ser altíssimo. Mas se a fábrica admite paradas resultando na utilização de até 98,5%, o custo da falta é bem inferior.

2.2 Custo da Falta – Exemplo de Pesquisa Operacional

O exemplo que vamos considerar é conhecido como problema do jornaleiro. Este problema é um clássico na área de otimização, possuindo vasta literatura a respeito.

José é um jornaleiro. Toda manhã ele vai ao editor do jornal e compra uma quantidade específica de jornais a um preço por unidade. Essa quantidade é limitada superiormente por um valor limite, pois José tem um poder de compra finito. Ele vende seus jornais a um preço por unidade. José possui um acordo com o editor do jornal: qualquer jornal não vendido pode ser devolvido ao editor, que paga um preço por ele, obviamente inferior ao preço de custo comprado por José.

O dilema de José diz respeito à demanda diária por jornal, que é incerta. Se ele comprar um número muito grande de jornais corre o risco de não vendê-los e perder dinheiro com isso. Por outro lado, se comprar poucos, José pode não atender a demanda e deixar de faturar dinheiro, além de correr o risco de perder clientes. Segundo a formulação matemática:

$$\min \quad c^T x + \sum_{i=1}^n \max \{s_i(b_i - x_i), h_i(x_i - b_i)\}$$

$$\text{s. a.} \quad c^T x \leq A$$

$$x \geq 0$$

OU

$$\min \quad c^T x + s^T y^- + h^T y^+$$

$$\text{s. a.} \quad x + y^- - y^+ = b$$

$$c^T x \leq A$$

$$x \geq 0$$

n: número de itens

b_i : demanda pelo item i

A: Limite de orçamento do jornaleiro

c_i : custo do item i

h_i : custo de devolução do item i

s_i : custo da falta do item i

Permitindo um pensamento mais abstrato, o dilema do jornaleiro e o desafio da gestão hidrelétrica (contido na Figura 8) são análogos. De fato, existem muitas coisas em comum, e um processo de suporte a decisão torna-se essencial.

Após a decisão (independente de qual), existe um custo de fabricação, tanto de energia (custo da geração), quanto de jornal (custo de compra junto ao fornecedor).

$$\min \quad c^T x + \sum_{i=1}^n \max \{s_i(b_i - x_i), h_i(x_i - b_i)\}$$

Custo de Geração (circulado em $c^T x$)

Custo do déficit (circulado em $h_i(x_i - b_i)$)

Custo da sobra, e no limite do estoque é vertimento (circulado em $s_i(b_i - x_i)$)

$$\text{s. a.} \quad c^T x \leq A$$

Gerção < Capacidade total (circulado em $c^T x \leq A$)

$$x \geq 0$$

OU

$$\min \quad c^T x + s^T y^- + h^T y^+$$

$$\text{s. a.} \quad x + y^- - y^+ = b$$

$$c^T x \leq A$$

$$x \geq 0$$

Quando o jornaleiro subestimar a demanda, e produzir menos que o necessário, haverá déficit, refletido em um custo do déficit, geralmente vinculado a insatisfação do cliente por suas necessidades não supridas. Este déficit existe tanto na falta de jornal quanto na falta de energia.

No caso oposto, quando a demanda do jornaleiro é inferior ao esperado, sobra jornal. Assim como sobra água no reservatório, sobra jornal na banca. A maioria dos jornais não pode ser vendida no dia seguinte, mas uma revista mensal, pode. Assim como a água, que pode ser utilizada para produção futura. O problema é que o processo de pedido de produtos continua (assim como a chegada de chuva), e no limite do estoque da banca (ou do tamanho do reservatório), existe sobra de produto, que no caso hidrelétrico, é desperdiçado em forma de vertimento.

2.3 Custo da Falta de Eletricidade

O custo do déficit de eletricidade possui conceito muito similar aos apresentados anteriormente. A energia elétrica não deixa de ser um produto, e as pessoas que utilizam energia são consumidores deste produto. Porém, o custo do déficit possui dois agravantes:

- Não é uma fábrica que interrompe seu funcionamento somente. São diversas residências, escritórios, hospitais, escolas e etc. E estes consumidores são altamente dependentes;
- Os consumidores não tem a opção de mudar de fornecedor. Talvez com a tecnologia de SmartGrid (rede elétrica inteligente, que utiliza os avanços de tecnologia de informação para integrar a rede elétrica) isto se torne possível, mas hoje quando há apagão, não há alternativa. Existem outros métodos de obtenção de energia, como geradores elétricos ou placas fotovoltaicas, mas estes são investimentos que não podem ser decididos em curto prazo.

Na Tabela 2, a seguir, podem-se observar os diferentes componentes (diretos e indiretos) do custo do déficit de eletricidade. Desde componentes amplamente qualitativos, como perda de lazer e stress, até quantitativos e bem representativos, como custo de manter um recurso parado ou perda com danos e estragos.

Usuário Primário de Eletricidade	Componente direto do custo do déficit	Componente indireto do custo do déficit
Residencial	<ul style="list-style-type: none"> - Inconveniência, perda do lazer, stress - Estoque estragado - Danos a equipamentos - Efeitos na saúde e segurança 	<ul style="list-style-type: none"> - Componentes do custo do déficit de outros residentes ou empresas
Indústria, Agricultura e Comércio	<ul style="list-style-type: none"> - Custos de oportunidade na utilização dos recursos, como empregados, equipamentos ou terrenos - Custos com perda de configuração e setup de equipamentos - Danos e estragos a estoque - Efeitos na saúde e segurança 	<ul style="list-style-type: none"> - Custos de outras empresas clientes da empresa impactada - Custos de consumidores da empresa impactada - Externalidades de saúde e segurança
Infraestrutura e serviço público	<ul style="list-style-type: none"> - Custos de oportunidade na utilização dos recursos, como empregados, equipamentos ou terrenos - Danos e estragos a estoque 	<ul style="list-style-type: none"> - Custos envolvendo os cidadãos usuários dos serviços - Efeitos na saúde e segurança - Custos sociais, decorrentes de vandalismos e saques

Tabela 2 – Descrição dos componentes do custo do déficit por usuário primário

Fonte: Munasinghe (1988)

Vale ressaltar que o déficit energético é muito impopular, e muitos cientistas políticos (como podemos observar em Marcondes (2008) e Goldenberg (2003)) creditam a derrota do PDSB em 2002 ao racionamento de energia ocorrido em 2001.

2.3.1 Déficit de potência e de energia

Segundo Loureiro *et al.* (2009), existem basicamente dois tipos básicos de déficits de eletricidade: déficit de potência ou interrupção e déficit de energia:

- O *déficit de potência ou interrupção* ocorre quando há perda de continuidade, de curta duração, no fornecimento de eletricidade, sem possibilidade de aviso imediato aos consumidores. Este tipo de déficit acontece, geralmente, por falhas em equipamentos de geração, transmissão ou distribuição de energia elétrica;
- O *déficit de energia*, que traz como consequência um racionamento, tem em geral uma duração maior e é de natureza estrutural. Possui ainda, impactos econômicos e sociais mais amplos que as interrupções, e é, em geral, previsível. Decorre normalmente de uma deficiência estrutural de disponibilidade de energia, sendo causado: por insuficiência de energia armazenada nos reservatórios devido à ocorrência de situações hidrológicas críticas, pelo atraso de obras importantes para o sistema, ou pela insuficiência de investimentos na expansão em relação ao crescimento real da demanda.

Os indicadores de qualidade estudados no setor são Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC). O DEC é definido como Intervalo de tempo que, em média, no período de observação em cada unidade consumidora do conjunto considerado ocorreu descontinuidade da distribuição de energia elétrica. Já o FEC é definido como número de interrupções ocorridas, em média, no período de observação em cada unidade consumidora do conjunto considerado. (Resolução ANEEL nº 24, de 27 de janeiro de 2000)

Neste trabalho, o *custo do déficit* é abordado basicamente sob a ótica do consumidor residencial. Apesar de haver uma relação entre o déficit de energia e o déficit de potencia, no escopo desta dissertação quando avaliamos o custo do déficit para o consumidor estamos essencialmente nos referindo ao déficit de potência ou de interrupção.

3 METODOLOGIAS DE CÁLCULO DO CUSTO DO DÉFICIT

Segundo De Vries (2003), exemplos de déficit de eletricidade na história recente de mercados liberalizados (como Califórnia, Noruega, Suécia, Brasil e Itália) geram uma dúvida razoável sobre a habilidade dos órgãos reguladores em manter a energia elétrica estável a preços razoáveis. Neste cenário, com o nível de serviço se afastando de 100%, um estudo sobre estimativa do custo do déficit possui grande valia.

Yellagoud (2010) discorre sobre os diferentes impactos que o não suprimento de eletricidade pode ocasionar. Podem ser diretos ou indiretos, econômicos ou sociais, e até de curto período ou longo período. Estimar os custos diretos, usando análise de dados e estatística avançada pode ser um grande desafio, assim como monetarizar o tempo de lazer perdido (Bliem, 2009).

O termo confiabilidade possui um horizonte amplo de definições, sendo impossível associá-lo a uma única (Popoola, 2011). Porém, em um ponto de vista inclinado a Engenharia, pode-se defini-lo como a probabilidade de um sistema elétrico apresentar desempenho nas condições adequadas por um período estável, como milhares ou milhões de horas. Sullivan (2009) mapeou nove desafios que a literatura já apresentou para entender melhor esta confiabilidade elétrica e possível estimativa de custo do déficit:

1. “Estimar do custo do déficit para economia dos Estados Unidos;
2. Estabelecer o custo marginal da capacidade de geração para fins de fixação de tarifas elétricas;
3. Avaliar custos da carga adicional sobre os sistemas de transmissão;
4. Avaliar benefícios econômicos em investimentos nas linhas de transmissão;
5. Avaliar benefícios econômicos em investimentos na distribuição;
6. Utilizar técnicas de priorização e otimização na definição de alternativas de distribuição, minimizando o déficit;
7. Avaliar os custos e benefícios de subestações;
8. Estabelecer o valor econômico e o custo/benefício dos investimentos em Smart Grid;
9. Melhorar a os projetos e soluções de energia para aqueles com maior disposição a pagar para evitar o déficit.”

LaCammare (2004) cita o estudo do *Electric Power Institute*, em 1993, que estimou o custo do déficit dos Estados Unidos em US\$ 26 Bi por ano, além do estudo

de *Sandia National Laboratory*, que em 1998 estimaram US\$ 150 Bi por ano, e novamente do *Electric Power Institute*, que em 2001 atualizou o custo para US\$ 119 Bi por ano. Por fim, após variações de US\$26 Bi a US\$400 Bi, LaCammare (2004) estimou o custo da falta energética nos Estados Unidos como chegando a US\$80 Bi por ano.

No Brasil, os órgãos ligados ao Ministério de Minas e Energia utilizam duas estimativas de custo do déficit. A primeira é calculada (e atualizada com frequência) pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). É calculada em quatro patamares, como se pode observar na Tabela 3, a seguir. A outra estimativa é publicada pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética), em forma de patamar único. A publicação vigente (17/01/2012) é de R\$3100/MWh (Atualização do Valor para Patamar Único de Custo do Déficit, 2012).

Patamares (% de Redução de Carga – RC)	Custo do Déficit (R\$/MWh)
0% < RC ≤ 5%	1.206,38
5% < RC ≤ 10%	2.602,56
10% < RC ≤ 20%	5.439,12
RC > 20%	6.180,26

Tabela 3 – Curva do Custo do Déficit

Fonte: Aneel (13/12/2011)

Vale ressaltar que o valor de patamar único possui os quatro patamares como insumo. O ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), em seu Planejamento Anual da Operação Energética, escolhe utilizar a estimativa do custo do déficit para input em seu modelo NEWAVE (para planejamento da operação).

Após discutir os conceitos de déficit e comprovar sua importância para sociedade, cabe uma abordagem mais quantitativa. Segundo estudos na Holanda (Nooij, 2003), existem três maneiras de mensurar o custo do déficit. Abaixo apresentamos quatro, com a adição da Matriz Insumo-Produto.

3.1 Investimento de backup

Estes investimentos podem estimar o quanto as empresas (indústrias, hospitais, e etc.) valorizam a confiabilidade de energia e proporcionalmente tendem a repelir o déficit energético. Compras de geradores elétricos, empresas que produzem sua própria energia são exemplos desses investimentos. Vale ressaltar que muitas vezes essas energias são de fontes não renováveis, como lembra Popoola (2011), que também enaltece a exploração brasileira de seu potencial hidrelétrico.

Uma conta que se pode fazer é supor, por exemplo, que a cada mês os consumidores terão 30 minutos de interrupção de energia. Ao dividir o custo (ou aluguel) de um gerador ou equipamento que garanta que o consumidor manterá seu suprimento de eletricidade pelos 30 minutos, tem-se o custo por minuto deste backup. Para algumas residências pode não valer a pena, mas a situação é diferente para hospitais ou fábricas de operação contínua.

Para explicitar um pouco mais como funciona a utilização de energia elétrica através de geradores, a seguir serão detalhadas três fontes. Inicialmente, um quadro comparativo sobre o processo de decisão entre um gerador a diesel e um gerador a gás natural. Em seguida, discorre-se sobre uma fonte energética dita como energia do futuro, e como este futuro está cada vez mais próximo: energia solar.

Em Standler (2011), indica-se que, além dos dois tipos de geradores analisados na Tabela 4, a seguir, pode-se optar por pequenos geradores da bateria (menos de 1000 watts), para evitar danos de déficit a computadores pessoais e afins.

Item Comparado	Diesel	Gás Natural
Emissões	O óleo Diesel é considerado poluente atmosférico, na medida em que os produtos da combustão, basicamente gás carbônico acompanhado de outros compostos nocivos, são expelidos para o ambiente, em alguns casos, na forma de fumaça negra.	O gás natural é considerado não poluente, embora a sua combustão produza gás carbônico (CO ₂) em elevadas proporções. Há que se considerar que o gás natural, como subproduto da produção de petróleo, necessita ser queimado, para que não seja lançado na atmosfera e produza um efeito poluente dez vezes maior.
Rendimento / Eficiência	Entre 36 e 41% com combustível Diesel comercial "D", poder calorífico típico de 10.500 Kcal/kg. Para geração de energia, o consumo específico fica em torno de 0,26 litro por kW.h gerado em regime de carga acima de 70% da capacidade nominal do motor.	Entre 34 e 38%, para regime de carga de 80% da capacidade nominal, podendo se reduzir consideravelmente em função de cargas menores. Os valores são para poder calorífico médio de 9.400 Kcal/m ³ . Para produção de energia elétrica, estima-se um consumo específico da ordem 0,30 m ³ /kW.h gerado.
Custos	Investimento: De R\$650 a R\$800 por kW de potência instalada. Manutenção: De R\$35 a R\$50 por MWh de energia gerada.	Investimento: De R\$1.100 a R\$1.400 por kW de potência instalada. Manutenção: De R\$20 a R\$25 por MWh de energia gerada.

	Custo total: R\$0,50 por kWh gerado	Custo total: Quanto maior o volume contratado, menor o custo unitário. Para pequenos consumidores, o custo do kW.h gerado é bem superior aos R\$0,50 alcançados pelo Diesel.
Manuseio do combustível	Necessidade de armazenamento de quantidade compatível com a expectativa de uso do grupo gerador. Cuidados adicionais e medidas de segurança para prevenir riscos de incêndios e vazamentos.	Não há armazenamento de combustível, sendo o gás canalizado e suprido pela concessionária.
Recomendação geral	Recomendado para todas as aplicações como fonte de emergência. Relação peso/potência menor Pouco recomendado para as aplicações de cogeração.	Uso limitado como fonte de emergência. Relação peso/potência maior Fortemente recomendado para as aplicações de cogeração.

Tabela 4 – Comparação entre geradores a Diesel e a Gás Natural

Fonte: José Cláudio Engenharia, www.joseclaudio.eng.br/geradores/Diesel_versus_gas.html

Como se pode observar na Tabela 4, dependendo da necessidade do usuário, pode-se indicar um tipo de gerador ou o outro. E o essencial, este usuário quer minimizar o seu déficit de eletricidade. E este usuário possui outra opção, como a energia solar.

O sistema de energia solar residencial é formado basicamente de um painel solar, de um inversor de corrente e de baterias, onde é feita a armazenagem da eletricidade. Depois que as células fotovoltaicas absorvem a luz solar, a eletricidade gerada em forma de corrente contínua pode ser enviada ao dispositivo de armazenagem (ou não). Antes da utilização e distribuição pela casa, essa corrente passa através do inversor de corrente, transformando o que antes era corrente contínua em corrente alternada. A corrente alternada então é distribuída através das caixas de distribuição e por toda casa, como a corrente elétrica convencional.

Células fotovoltaicas são criadas a partir de pelo menos uma camada de material semicondutor como o silício. Essas células são integradas nos painéis que então são anexados a paredes ou telhados. A luz do sol atinge o painel, e a corrente elétrica é gerada através da camada semicondutora. Pode-se ilustrar pela Figura 10, a seguir.

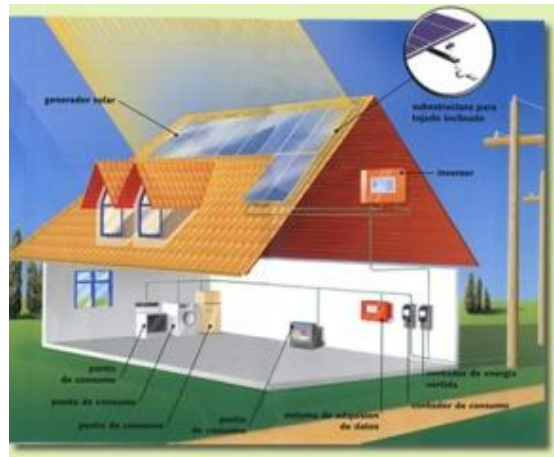


Figura 10 – Residência abastecida com energia elétrica de fonte solar

Fonte: Criar MLT Empresarial

As células fotovoltaicas são produzidas em diversos tamanhos e potências. Diferentes cores são oferecidas para combinar as placas solares com a cor do telhado e algumas células fotovoltaicas vêm em forma de painéis transparentes para serem utilizadas em janelas e claraboias.

Uma questão geralmente mal interpretada: é necessária a luz solar direta para a produção de energia solar residencial? A verdade é que a energia solar pode ser produzida mesmo em dias nublados, mas em menores quantidades. Sendo assim, é correto afirmar que o contato não direto da luz do sol também pode gerar energia solar. Quão maior o brilho do sol, mais energia solar pode ser gerada.

No evento de painéis solares gerarem mais eletricidade do que o consumido naquele momento, a energia em excesso pode ser armazenada em baterias para ser utilizada em dias nublados. Em alguns sistemas elétricos (como na Holanda), quando as baterias estão cheias, a energia excedente é enviada à rede pública e "vendida" de volta à fornecedora de energia elétrica. Assim, as baterias carregadas agiriam como um estoque pulverizado de energia elétrica.

Não é o escopo da dissertação, mas um fenômeno parecido pode acontecer com o aquecimento de água, substituindo a utilização de um dos maiores consumidores de energia de uma residência: o chuveiro elétrico. Este é o sistema de aquecimento solar de água, ilustrado na Figura 11, a seguir.



Figura 11 – Residência com aquecimento de água com fonte solar

Fonte: Infoescola

3.2 Valor Perdido de Produção

O conceito de valor perdido de produção é simples. Basta uma empresa calcular o lucro que não obteve com produtos que poderiam ser produzidos em um momento de déficit.

Porém, quando desejamos aferir o custo de déficit para o país, esta conta torna-se nebulosa. Uma das propostas mais utilizadas é considerar o efeito na variação do Produto Interno Bruto (diminuição ou redução do aumento). O Gráfico 3, a seguir, comprova a correlação existente entre consumo de eletricidade e PIB de um país.

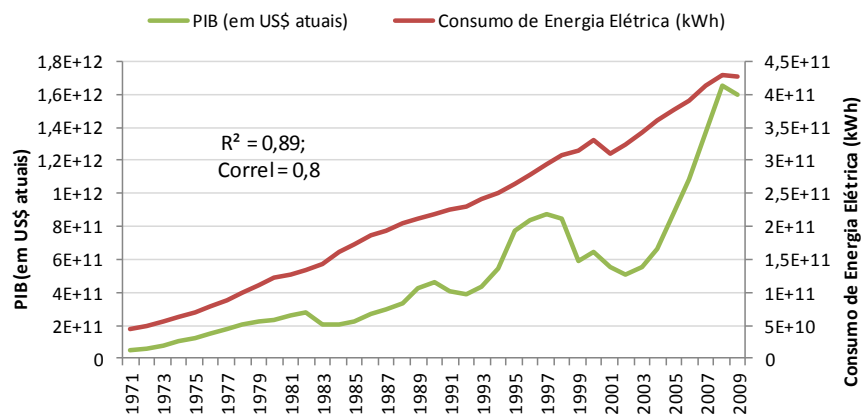


Gráfico 3 - Relação entre PIB e consumo de energia elétrica - Brasil

Fonte: Banco Mundial

O efeito é inegável. Por exemplo, no racionamento de 2001 o PIB possui um crescimento inferior a sua tendência, e isto só foi atenuado por um resultado histórico da indústria agrícola no período.

Pode-se verificar que também existe uma relação forte entre o PIB e o Consumo de energia elétrica ao se analisar os países Argentina (Gráfico 4, a seguir), China (Gráfico 5, a seguir) e EUA (Gráfico 6, a seguir).

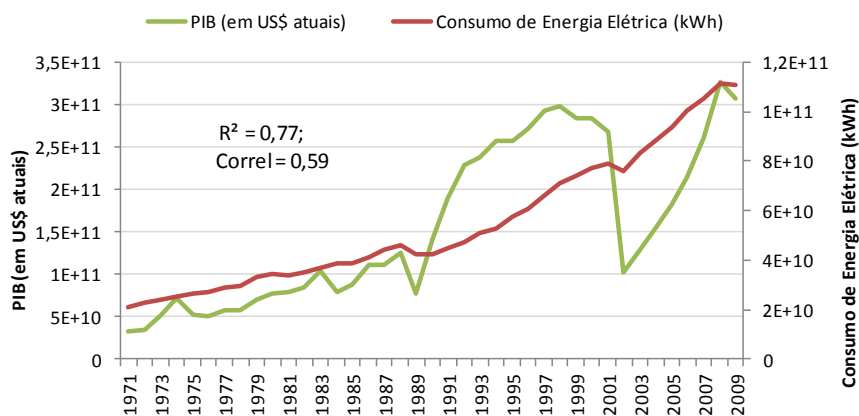


Gráfico 4 - Relação entre PIB e consumo de energia elétrica - Argentina

Fonte: Banco Mundial

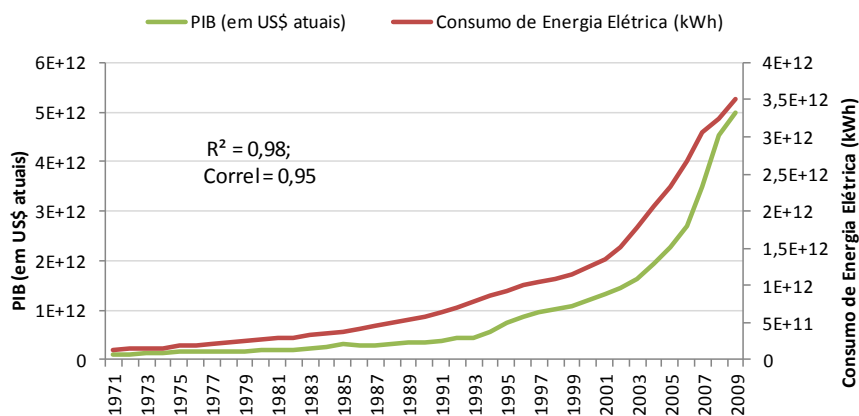


Gráfico 5 - Relação entre PIB e consumo de energia elétrica - China

Fonte: Banco Mundial

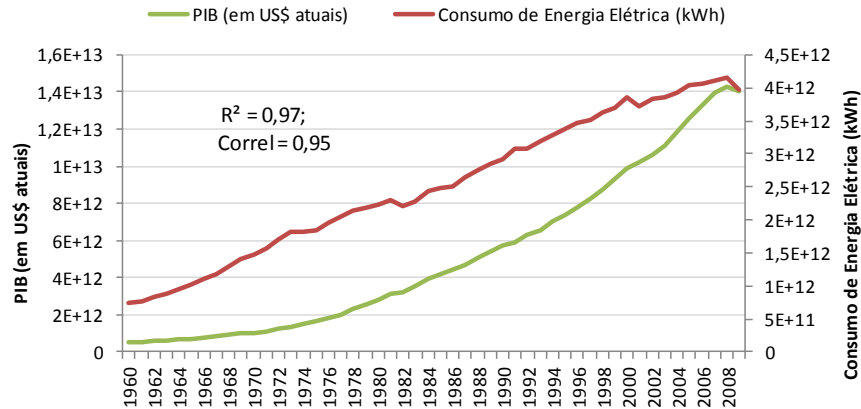


Gráfico 6 - Relação entre PIB e consumo de energia elétrica - USA

Fonte: Banco Mundial

Porém, no momento de calcular o déficit devem ser tomados muitos cuidados. Devem-se isolar as mudanças estruturais acontecidas no país que já afetariam o PIB e considerar somente o efeito do déficit. Para isto, considerar um curto espaço de tempo poderia ajudar.

Mas nem todo déficit pode ser verificado em curto prazo. O lucro da empresa poderia ser esperado no fim do mês, do bimestre ou do semestre. Surge uma necessidade transpor o lucro do seu período de déficit e aumentar o horizonte de análise.

O valor da carga perdida de uma empresa (ou conjunto de empresas) foi ênfase do trabalho de Welle (2007). Alguns fatores são determinantes para estimativa do valor da carga perdida:

- Diferença entre diferentes tipos de consumidores: O setor industrial, o setor de serviços ou o consumidor residencial possuem diferentes custos e dependências de eletricidade. Como consequência, o valor da carga perdida para cada setor tem que ser diferente;
- Diferença entre o nível de confiabilidade percebido pelo consumidor: está ligada a percepção do consumidor, que pode variar. Surpreendentemente, em locais onde existem quedas de energia em uma média de 4 vezes por semana (como no Nepal) ou 1 vez por mês (como no Brasil), os consumidores possuem uma percepção no mesmo nível;
- Diferença no momento da ocorrência: o déficit pode ocorrer em diversos momentos específicos, como no final do ano, ou no mesmo dia da semana. Naturalmente, para o consumidor residencial, interrupções de

eletricidade tendem a ser piores no verão. Também existem piores consequências se ocorrem ao longo do dia, em vez de madrugada;

- Diferença na duração: a duração também é determinante para o cálculo do custo. Quanto maior a duração, maior o custo;
- Diferenças na notificação: a informação de queda de energia pode chegar com antecedência ou não, possibilitando ao consumidor se preparar para a situação e acionar possíveis planos de contingência.

Outra maneira de estimar financeiramente as perdas decorrentes do déficit é pesquisando o andamento de processos judiciais que empresas (ou pessoas) movem quando se sentem prejudicados pela queda de energia elétrica. Em Standler (2011), confirma-se esta possibilidade ao apresentar 17 exemplos de processos judiciais nos Estados Unidos, de 1960 a 2003. Os valores de indenização solicitados são os mais diversos, como US\$ 5.735 (em 1960), US\$40.050 (em 1977), US\$276.170 (em 1999), \$102.567 (em 2005). Também em 2005, houve um caso fora do padrão. O déficit de eletricidade ocasionou falha no semáforo, influenciando em um acidente automobilístico, gerando uma indenização de US\$10.000.000 para a família da vítima.

3.3 Matriz Insumo-Produto

A terceira metodologia apresentada é a Matriz Insumo-Produto (figura 12, a seguir). É uma matriz, ou um conjunto de tabelas, que relaciona os produtos e indústrias entre si, através da dependência de insumo e produto.

A produção de Matrizes de Insumo-Produto pelo IBGE iniciou-se na década de 1970. Os objetivos iniciais do projeto eram a criação de um marco estrutural para o Sistema de Contas Nacionais e de um instrumento que orientasse o desenvolvimento das estatísticas econômicas necessárias à construção de quadros macroeconômicos.

The image shows the cover of the book 'Matriz de Insumo-Produto Brasil 2000/2005' and a detailed view of the matrix table. The cover is blue and orange, with the title in white and yellow text. The table is a grid with rows representing different sectors and products, and columns representing different input categories. The rows are labeled with 'Destino da atividade final 95' and the columns are labeled with '0201 Agricultura, pecuária, extrativa florestal', '0202 Pecuária e pesca', '0203 Produtos e gás natural', '0204 Minérios de ferro', '0205 Outros produtos minerais', and '0206 Alimentos e Bebidas'. The table contains numerical coefficients for each cell, representing the input-output relationships between the sectors and products.

Figura 12 – Matriz Insumo Produto Brasileira 2000-2005 (ilustração)

Fonte: EPE

O processo de produção de uma Matriz de Insumo-Produto pode ser observado em duas etapas. A primeira consiste em todos os trabalhos de compilação de diversas fontes de dados e na construção de quadros básicos de produção e consumo. A segunda é a aplicação de um modelo matemático que, a partir destes quadros e de hipóteses sobre a tecnologia, calcula uma matriz de coeficientes técnicos de acordo com o modelo desenvolvido por Leontief (Institute for Scientific Information, 1986, p. 272).

O objetivo básico da utilização desta matriz é estimar o quanto o déficit energético é prejudicial para cada indústria ou produto. A Tabela 5, a seguir, foi extraída da Matriz Insumo Produto brasileira de 2005, relativa ao impacto do setor de Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana (reduzida).

Setor	Fator de relação intersetorial	%	% Acumulado
Metalurgia de metais não-ferrosos	0,16	5%	5%
Outros produtos de minerais não-metálicos	0,14	4%	9%
Cimento	0,14	4%	13%
Fabricação de resina e elastômeros	0,13	4%	17%
Celulose e produtos de papel	0,11	3%	20%
Fabricação de aço e derivados	0,11	3%	23%
Produtos e preparados químicos diversos	0,11	3%	27%
Produtos químicos	0,10	3%	30%
Têxteis	0,09	3%	32%

Tabela 5 – Matriz Insumo Produto brasileira de 2005 relativa ao impacto do setor de Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana

Fonte: IBGE

A literatura possui algumas análises com um conceito semelhante à matriz insumo produto (porém sem cruzar setores entre si). Sullivan (2009) apresenta algumas divisões de déficit por setor, em empresas médias e grandes. Pode-se observar na Tabela 6^[LB1], a seguir:

Setor	Duração da interrupção				
	Momentâneo	30 min	1 hora	4 horas	8 horas
Agricultura	\$4,382	\$6,044	\$8,049	\$25,628	\$41,250
Mineração	\$9,874	\$12,883	\$16,366	\$44,708	\$70,281
Construção Civil	\$27,048	\$36,097	\$46,733	\$135,383	\$214,644
Manufatura	\$22,106	\$29,098	\$37,238	\$104,019	\$164,033
Telecomunicações	\$11,243	\$15,249	\$20,015	\$60,663	\$96,857
Comércio e Varejo	\$7,625	\$10,113	\$13,025	\$37,112	\$58,694
Financeiras	\$17,451	\$23,573	\$30,834	\$92,375	\$147,219
Serviços	\$8,283	\$11,254	\$14,793	\$45,057	\$71,997
Administração Pública	\$9,360	\$12,670	\$16,601	\$50,022	\$79,793

Tabela 6 – Custo do Déficit anual por duração e setor (em um dia de semana no verão)

Fonte: Sullivan (2009)

Os dados se referem a um público não-residencial dos Estados Unidos. Na análise dos setores, percebe-se o setor de manufaturas e construção civil muito dependente de eletricidade (pelo consequente maior custo do déficit).

É interessante perceber que o custo do déficit aumenta gradativamente com o aumento da duração do déficit. O déficit momentâneo é, em média, dez vezes mais barato que o déficit de oito horas. Porém, este déficit pode ser de cinco minutos, o que em tempo seria equivalente a noventa e seis vezes menor.

Vale ressaltar a relação destes custos com os tipos de custo do déficit diferentes trabalhados no capítulo 2. O custo do déficit ligado ao déficit de potência está mais relacionado a interrupções momentâneas e não planejadas. As outras colunas estão mais ligadas ao déficit de energia.

3.4 Entrevista com consumidores

Mais desafiador que estimar perdas na produção é estimar o custo do déficit atrelado à perda de lazer. Segundo Becker (1965), a perda de lazer pode gerar perdas quantitativas e qualitativas ao trabalho (anterior e posterior ao lazer) do empregado. A perda quantitativa envolve atrasos e faltas do empregado que teve impactos em seu tempo de lazer. A perda qualitativa tem impacto no descanso entre jornadas de trabalho, prejudicando a produtividade do trabalho na jornada seguinte ao lazer que não foi usufruído adequadamente.

Basicamente, independente do consumidor residencial não ser produtor, o seu tempo é um bem precioso. O tempo que ele pode passar em sua residência “consumindo” a companhia de sua família, amigos ou passatempos possui valor econômico. Tanto que não é incomum pessoas aceitarem salários inferiores para trabalhar próximo de suas casas ou em jornadas de trabalho mais curtas.

Nas entrevistas os consumidores são motivados a estimar financeiramente o quanto custa o déficit de energia para eles: interrupção no trabalho, no lazer, impossibilidade de execução de certos processos. Enfim, tenta-se, com as entrevistas, estimar o custo do aborrecimento causado pela falta de energia elétrica. E este custo deve ser pelo menos superior à simples multiplicação do consumo médio da residência pela tarifa praticada pela empresa contratada.

Esta estimativa é um grande desafio, pois significa quantificar o qualitativo. A impressão do consumidor é baseada na frustração e insatisfação, o que torna o tom da resposta mais emocional.

Algumas variáveis devem ser definidas na aplicação desta metodologia. A primeira delas é a amostra a ser entrevistada. A definição de data/local de aplicação

da pesquisa, ou o seu meio, possibilita inferir características da amostra. E é essencial ressaltar que esta amostra deve representar a população referida nas análises, para confiabilidade nas conclusões.

Outra definição importante é o meio que será aplicada a entrevista. Pode ser ao vivo (com interação entre o aplicador e o respondente) ou por preenchimento de questionário (físico ou eletrônico). A aplicação ao vivo demanda mais tempo, e, ao mesmo tempo que pode facilitar o entendimento do respondente (tirando dúvidas sobre o assunto, por exemplo), pode enviesar respostas, principalmente entrevistas com diversos aplicadores.

No momento da elaboração das perguntas, deve-se escolher entre perguntas abertas ou fechadas. O primeiro tipo favorece o enriquecimento da entrevista com qualquer tipo de comentário e opinião, e o segundo tipo facilita a compilação das respostas e o trabalho de dados.

Por fim, deve-se escolher o tipo de abordagem para estimativa do custo do déficit: preditiva (o quando se estaria disposto a pagar para não ter déficit) ou corretiva (quantificar o quanto o déficit aborrece).

No próximo capítulo será apresentada uma pesquisa de campo que utilizou esta metodologia como ferramenta para estimativa do custo do déficit.

4 PESQUISA DE CAMPO: ESTIMANDO O CUSTO DO DÉFICIT RESIDENCIAL

Nas entrevistas os consumidores são motivados a estimar financeiramente o quanto custa o déficit de energia. Interrupção no trabalho, no lazer, impossibilidade de execução de certos processos. Enfim, deve-se estimar o valor do aborrecimento. E este custo deve ser pelo menos superior à simples multiplicação do consumo médio da residência (por exemplo 150kWh) pela tarifa praticada pela empresa contratada (em torno de R\$0,40/kWh, sem impostos).

A fim de estimar o custo do déficit através da percepção do aborrecimento do consumidor quando de um déficit de energia elétrica residencial, realizou-se uma pesquisa de campo com entrevista.

4.1 Data de Aplicação

A pesquisa de campo foi aplicada entre 23/10/2011 e 15/01/2012.

4.2 Amostra Pesquisada

O questionário contou com 600 respondentes. Foram pessoas da cidade do Rio de Janeiro/RJ (com eventuais exceções) de todas as faixas de renda.

Segundo os conceitos de Estatística Básica presentes em DeGroot (1989), a primeira aproximação para confiabilidade do tamanho de uma amostra (n_0) é:

—

Aplicando esta fórmula na amostra utilizada, o erro (e) seria de 4,082%. Porém, a equação que relaciona o tamanho da população (N) com o tamanho da amostra (e não uma primeira aproximação), é:

—————

Que também pode ser interpretada como:

—

—————

—

Assim, tem-se que, para uma população de 200 milhões (habitantes do Brasil), uma amostra de 600 possui erro de 4,082%.

4.3 Metodologia utilizada

Foi elaborado um questionário com objetivo de ser simples e objetivo, e assim não ficar cansativo para o respondente. O objetivo principal era medir, qualitativa e quantitativamente, o grau de aborrecimento que o déficit de energia elétrica proporciona à população.

O questionário foi aplicado através da plataforma “Google Form” (Figura 13, a seguir), que possibilitou rápidas respostas, em um curto espaço de tempo e em de uma forma facilmente compilável.

Figura 13 – Formulário através do Googleform

Fonte: O autor

Os respondentes receberam o questionário por email e clicando em um link, eram direcionados às quatro questões objetivas contidas no formulário. Todos eram amigos ou colegas do autor.

A primeira pergunta, “1 – Qual sua renda familiar mensal?”, serviu para classificar as respostas das perguntas seguintes em diferentes faixas de renda.

A segunda pergunta, “2 – Qual a frequência de falta de energia elétrica em sua residência?”, ainda não media o aborrecimento do respondente, todavia identificava o insumo do aborrecimento, ou seja, a frequência do déficit de energia elétrica.

A terceira pergunta, “3 – Classifique seu grau de aborrecimento quando falta luz em sua casa durante pelo menos uma hora.”, serviu para medir de forma qualitativa o aborrecimento do respondente.

A quarta pergunta, “4 – Você poderia investir em gerador ou fontes alternativas para ter a certeza que nunca faltará energia em sua casa. O quanto você estaria disposto a pagar mensalmente por esta estabilidade?”, foi a mais importante do

questionário e foi utilizada para medir, de forma quantitativa, o custo do déficit associado ao respondente.

Após as respostas, puderam ser calculados os custos de déficit (em R\$/mês) por faixa de renda e o custo de déficit da amostra.

Apesar de a amostra não ter a mesma divisão de renda da população brasileira, através de uma simples transformação linear (utilizando a relação entre os percentis de cada faixa de renda), o custo da amostra pode aproximar o custo de déficit da população brasileira.

Mais especificamente, se “ A_i ” é o percentual da faixa de renda na amostra, “ B_i ” é o percentual da faixa de renda na população brasileira e “ CD_i ” é o custo de déficit da faixa de renda, tem-se que:

(Para n faixas de renda)

4.4 Revisão de Metodologia

Infelizmente, a metodologia inicialmente proposta mostrou-se ineficiente por um simples motivo: incidência baixa de respondentes de rendas baixas, o que fragilizaria o número final do custo de déficit Brasil (pois a maior parte do custo final seria influenciada por um custo gerado por pouquíssimos respondentes).

A solução para contornar o ocorrido foi a reaplicação do questionário, de forma física (em papel, como mostra a Figura 14, a seguir), em locais frequentados por possíveis respondentes de baixa renda (como a estação de metrô/trem da Central do Brasil, hospitais públicos, colégios públicos e margens de favelas).

Questionário sobre custo de déficit de energia elétrica

Obrigado por ajudar em minha pesquisa de mestrado. Não se preocupe, o questionário é anônimo e as respostas são tratados com sigilo

Abraços

Juliano Ferrario (UFRJ)
(21)82727757

1 – Qual sua renda familiar mensal?

Menos de R\$500 Entre R\$500 e R\$1500 Entre R\$1500 e R\$3000
 Entre R\$3000 e R\$5000 Entre R\$5000 e R\$7500
 Entre R\$7500 e R\$10000 Superior a R\$10.000

2 – Qual a frequência de falta de energia elétrica em sua residência?

Pelo menos uma vez por dia Pelo menos uma vez por semana
 Pelo menos uma vez por mês Pelo menos uma vez por trimestre
 Pelo menos uma vez por semestre Pelo menos uma vez por ano
 Menos de uma vez por ano

3 – Classifique seu grau de aborrecimento quando falta luz em sua casa durante pelo menos uma hora.

Sem aborrecimento Levemente aborrecido Aborrecido
 Muito aborrecido Revoltado

4 – Você poderia investir em gerador ou fontes alternativas para ter a certeza que nunca faltará energia em sua casa. O quanto você estaria disposto a pagar mensalmente por esta estabilidade?

Menos de R\$5 Entre R\$5 e R\$15 Entre R\$15 e R\$30
 Entre R\$30 e R\$50 Entre R\$50 e R\$100
 Entre R\$100 e R\$200 Entre R\$200 e R\$500 Mais de R\$500

Figura 14 – Formulário físico (em papel)

Fonte: O autor

Assim, a amostra foi abastecida por novos dados, e o custo do déficit de energia elétrica da amostra foi mais representativo, sendo ainda possível a transformação para o cálculo do custo do déficit do Brasil.

4.5 Análise de Resultados

Como descrito anteriormente, a pesquisa de campo foi realizada em dois momentos: um primeiro momento pela internet, e um segundo momento presencial. A execução via formulário eletrônico trouxe diversos ganhos, como:

- Facilidade no envio do formulário e início da pesquisa;
- Flexibilidade para o respondente participar da pesquisa no momento mais oportuno;
- Agilidade na consolidação dos dados: a plataforma Googleform grava automaticamente um banco de dados, em formato de Ms Excel, com todas as respostas. Registra-se inclusive a data e hora da resposta.

Assim, rapidamente foram colhidas 400 opiniões sobre o assunto. Pessoas de diversas rendas, porém com uma forte tendência às rendas mais altas, conforme pode ser visualizado no Gráfico 7, seguir.

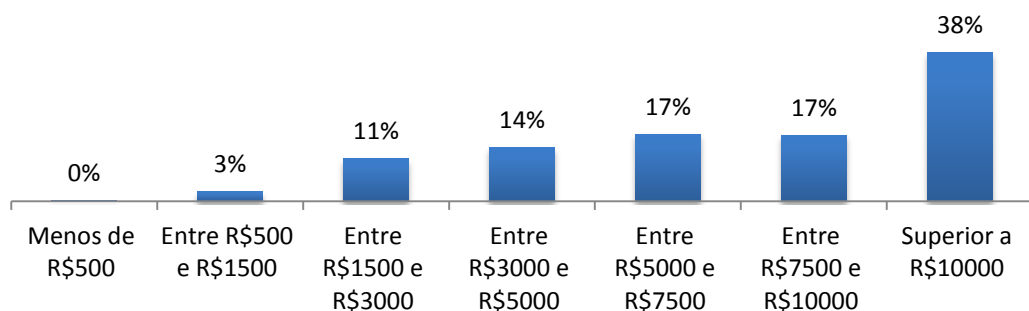


Gráfico 7 – Divisão de renda da primeira amostra (400 respondentes)

Fonte: O autor

Também foi possível registrar a tendência dos respondentes em participar da pesquisa no momento em que recebem o email. No Gráfico 8, a seguir, pode-se observar nitidamente que os momentos de envio de email com o link da pesquisa foram catalisadores de participação.

A pesquisa chegou a 400 respondentes em um tempo de aproximadamente 200 horas (8 dias).

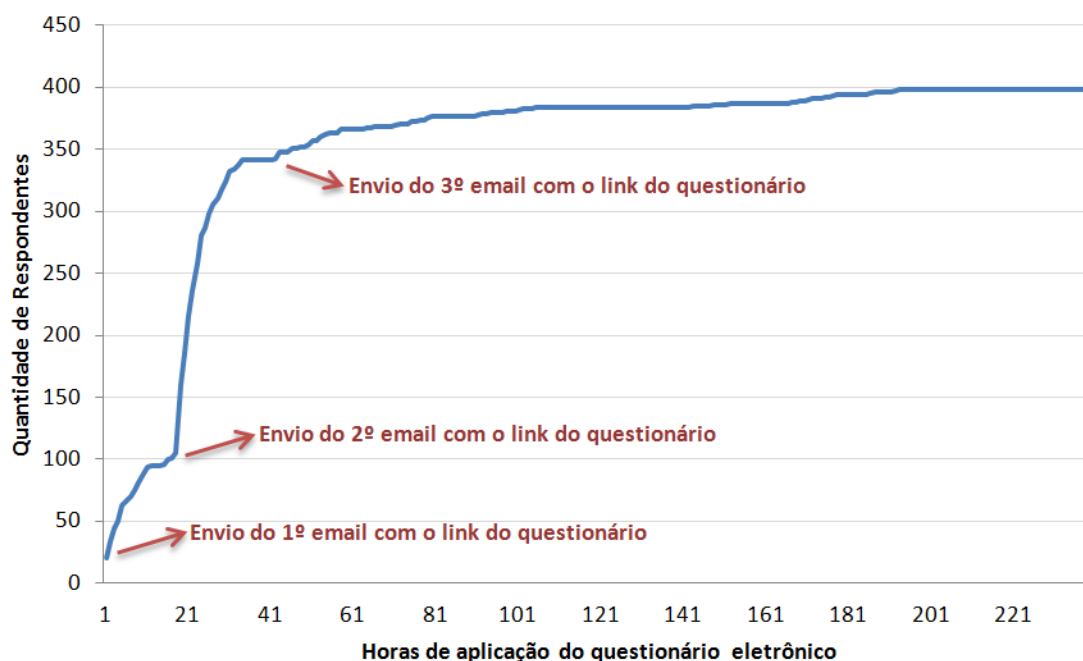


Gráfico 8 – Evolução temporal das respostas da primeira amostra (400 respondentes)

Fonte: O autor

Porém, estes dados não estavam finalizados para análise, pois a metodologia de pesquisa foi revista e novas 200 pessoas foram entrevistadas. O objetivo desta nova rodada de entrevistas era dar mais representatividade às classes de renda mais baixa, totalizando 600 entrevistados (400 eletrônicos e 200 em papel).

No Gráfico 9, a seguir, percebe-se o crescimento das duas menos faixas de renda (inferior a R\$1500). Com o novo balanceamento, a amostra ficou mais equilibrada, e 50% dos entrevistados recebia menos de R\$5000.

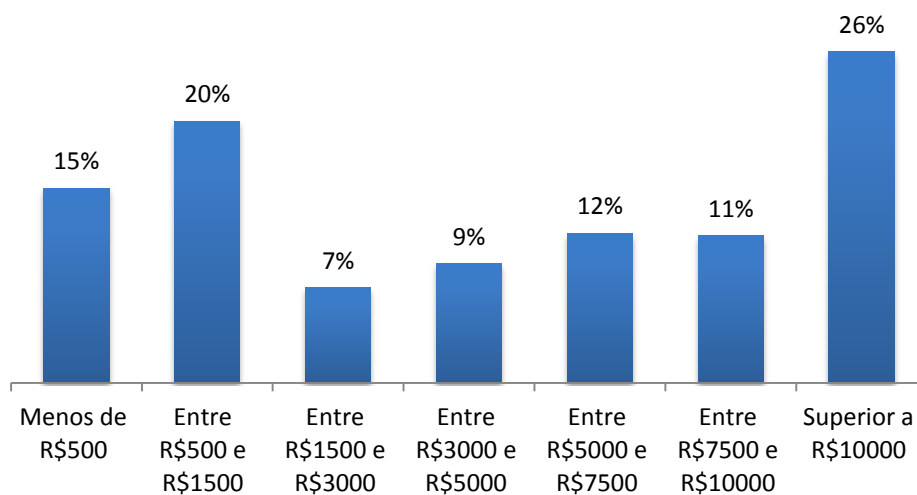


Gráfico 9 – Divisão de renda da amostra

Fonte: O autor

A tendência de quedas de energia foi percebida por uma pergunta qualitativa. Pode-se observar que 35% da amostra sofre com os problemas do déficit de eletricidade pelo menos uma vez por mês, conforme mostra o Gráfico 10, a seguir.

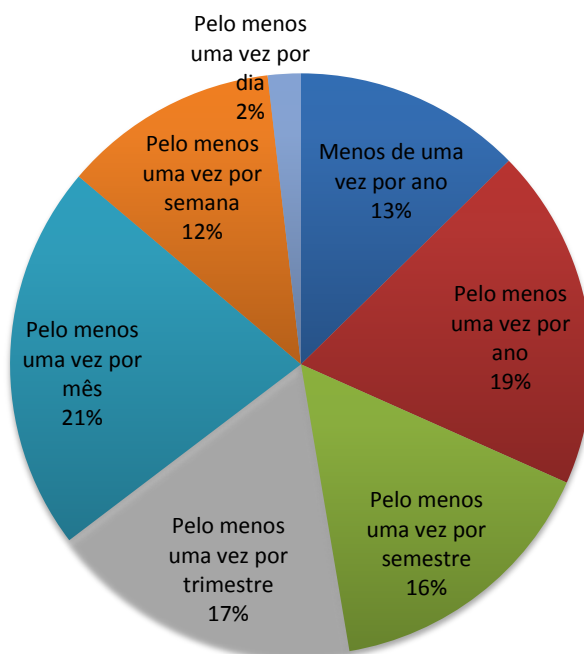


Gráfico 10 – Pizza da frequência de falta de eletricidade

Fonte: O autor

Quando analisamos as duas primeiras perguntas, é inegável a correlação entre as respostas. Pessoas com rendas mais baixas estão mais suscetíveis a transtornos deste tipo.

O Gráfico 11, a seguir, mostra exatamente esta correlação. O auxílio da visualização 3D possibilita cruzar as respostas de renda e frequência de falta de eletricidade, resultado em uma forma semelhante a um plano inclinado.

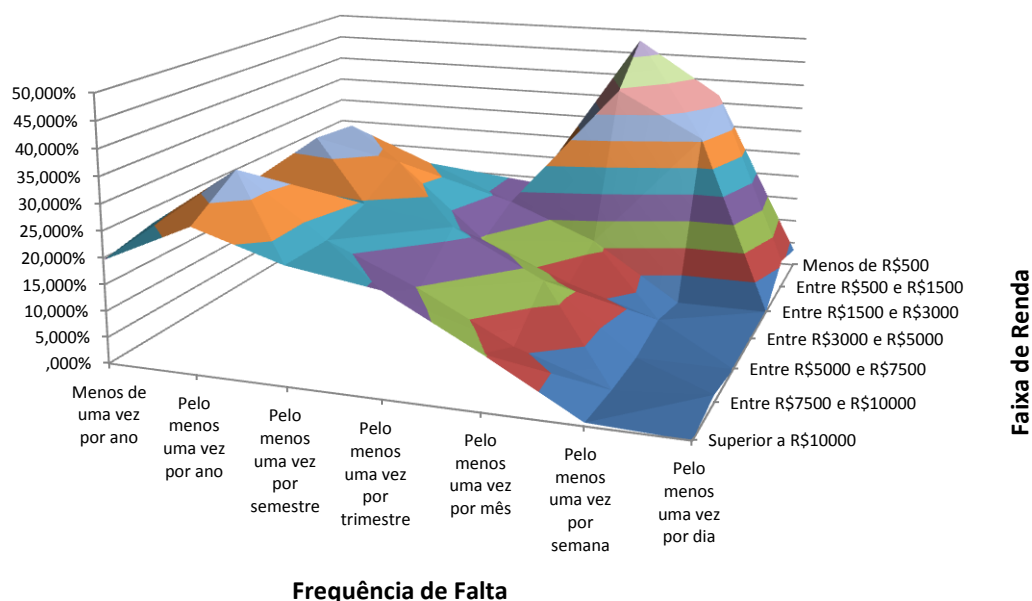


Gráfico 11 – Visão 3D (Frequência de falta por faixa de renda)

Fonte: O autor

As quedas frequentes são em casas de famílias de baixa renda. Conforme a renda da família aumenta, as faltas frequentes ficam próximas a zero, e as faltas esporádicas tornam-se dominantes.

Uma das motivações de análises do custo do déficit é a necessidade de não aborrecimento do cidadão. Em Marcondes (2008) e Goldenberg (2003), confirma-se que os problemas de eletricidade que resultaram no Racionamento de 2001 trouxeram tanta impopularidade ao governo que resultaram na derrota do PSDB nas eleições presidenciais de 2002.

A amostra considerada demonstrou grande descontentamento com o déficit energético. Enquanto 32% dos respondentes se consideraram “levemente aborrecidos” ou “sem aborrecimento”, 68% se consideraram pelo menos “aborrecidos” com a situação, conforme pode ser visto no Gráfico 12, a seguir.



Gráfico 12 – Pizza de aborrecimento pelo déficit de energia elétrica

Fonte: O autor

Através da última pergunta, foi possível calcular o custo do déficit da amostra. Quando se considera o preço mensal (em R\$/mês) que o cidadão está disposto a pagar pela segurança de energia elétrica, este número varia de R\$15 a R\$50. A média final das respostas resultou em um custo do déficit de aproximadamente 31 reais por mês, conforme pode ser visto no Gráfico 13, a seguir.

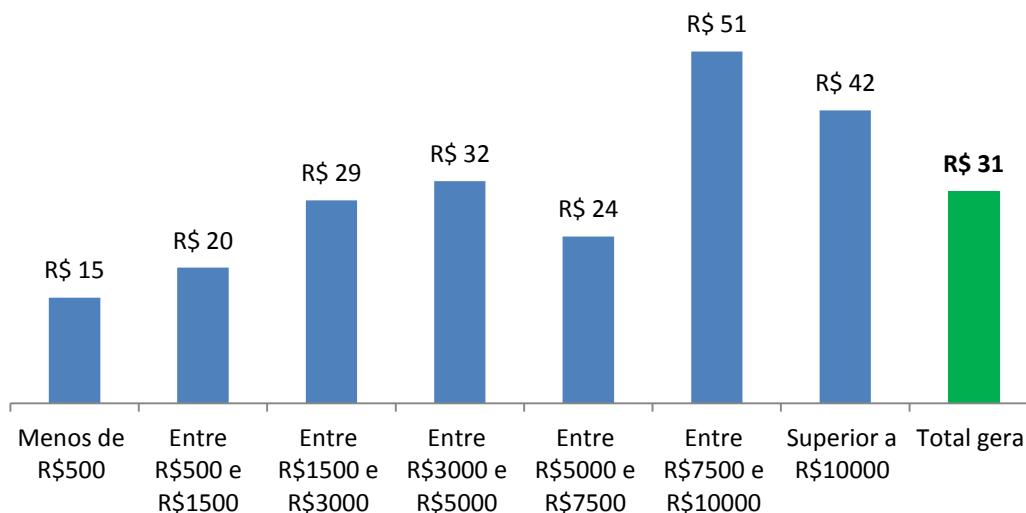


Gráfico 13 – Custos do déficit por faixa de renda

Fonte: O autor

Agora, o próximo desafio consistia em estimar o custo do déficit do Brasil através da amostra analisada. Para isso, tornou-se essencial comparar a distribuição da amostra e da população brasileira por determinadas faixas de renda, conforme mostra o Gráfico 14, a seguir.

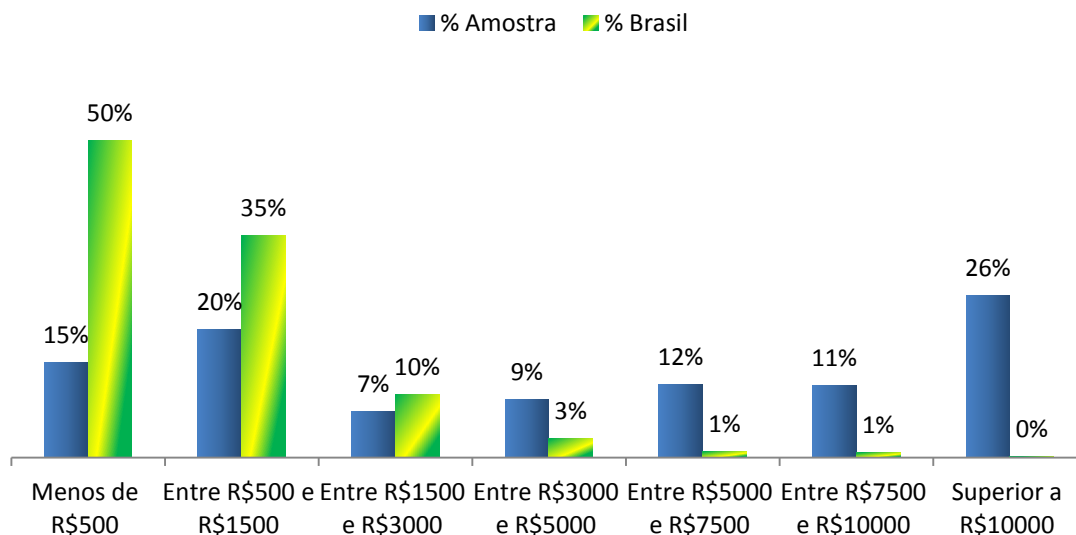


Gráfico 14 – Divisão de renda da amostra x população brasileira

Fonte: IBGE

Mesmo após o esforço para adicionar dados de respondentes de baixa renda, não surpreendentemente, a concentração destes na população brasileira supera fortemente a amostra.

Ao utilizar as equações descritas no capítulo anterior, pode-se estimar o custo do déficit da população brasileira em R\$19,13 por mês, conforme mostra o Gráfico 15, a seguir.

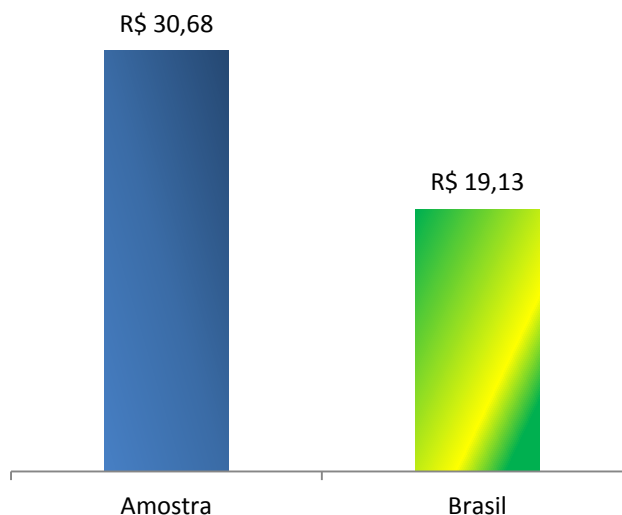


Gráfico 15 – Custos do déficit amostra e Brasil (R\$/mês)

Fonte: O autor

Porém, as análises ainda não estavam finalizadas. Diversos patamares de custo do déficit são publicados de tempos em tempos por empresas governamentais,

e uma das publicações mais aceitas é a da EPE (Empresa de Pesquisa Energética, veiculada ao Ministério de Minas e Energia). O custo do déficit de eletricidade atual é de R\$3.100, segundo a mesma entidade citada. Apesar da nossa pesquisa de campo considerar o custo do déficit apenas no âmbito residencial (sem referências ao setor industrial ou de serviços), uma comparação de valores torna-se interessante.

No entanto, a metodologia da pesquisa de campo previra a definição do custo do déficit na unidade “R\$/mês”, e a divulgação da EPE (até por ser mais abrangente e incluir a esfera industrial) utiliza a unidade “R\$/MWh”. Assim, precifica-se o transtorno a cada unidade de energia não utilizada, e não pelo mês de segurança energética.

Fez-se necessário, então, o cálculo do custo de déficit da amostra (e posteriormente do Brasil) em R\$/MWh. A Figura 15, a seguir, detalha o processo de mudança de unidade no cálculo do custo do déficit (de valor mensal para valor por MWh).



Figura 15 – Processo de mudança de unidade do Custo do Déficit

Fonte: O autor

O primeiro passo consistiu em encontrar uma publicação confiável que contivesse dados sobre a fatia da renda de uma classe destinada a gastos com eletricidade. Este passo foi concluído com a utilização da “Síntese de Indicadores Sociais - Uma análise das condições de vida”, do IBGE. Todavia, a publicação não era dividida nas mesmas faixas de renda utilizadas na pesquisa de campo.

A solução foi realizar um ajuste nos dados das faixas de renda publicados pelo IBGE, através de regressões (lineares e não-lineares), e estimar valores que encaixassem nos valores da pesquisa de campo. Foram utilizadas três tipos de regressões:

- Linear (estima “a” e “b” para o melhor ajuste de $y = a.x + b$);
- Exponencial (estima “a” e “b” para o melhor ajuste de $y = a.e^{b.x}$);
- Geométrica (estima “a” e “b” para o melhor ajuste de $y = a.x^b$).

Para comparar a qualidade e confiabilidade da regressão, utilizamos o coeficiente de determinação (também conhecido como R^2). Como os coeficientes encontrados para as 3 regressões foram 0.84, 0.92 e 0.96, estimamos os percentuais

da renda utilizados com eletricidade através da regressão geométrica, de equação $\text{percentual} = 0.5003 \times \text{faixa de renda}^{-0.383}$, conforme plotado no Gráfico 16, a seguir.

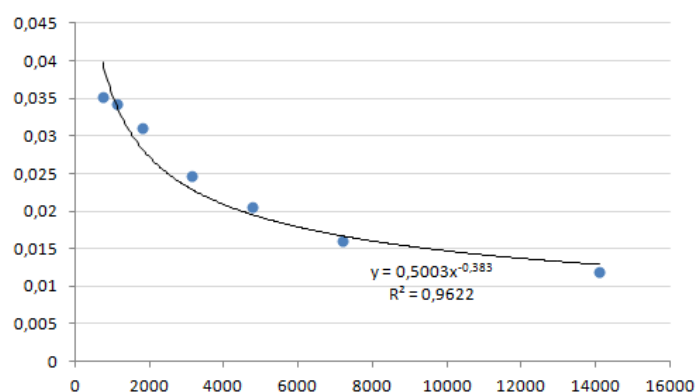


Gráfico 16 – Regressão geométrica aplicada ao % da renda destinada a gastos com eletricidade

Fonte: O autor

Com o passo 2 da Figura 15 finalizado, já tínhamos insumo para recalculer o custo do déficit (agora em R\$/MWh). Aplicando o percentual obtido na regressão pode-se estimar o custo médio de eletricidade das faixas de renda utilizadas na pesquisa. Dividindo este valor pela tarifa aplicada (utilizamos o padrão 2011/2012 da Light, de R\$0,343, acrescidos de impostos), tem-se o total de kWh consumidos por faixa mensalmente. Dividindo o custo do déficit mensal pela média de kWh consumidos por mês, tem-se o custo do déficit em R\$/kWh. E multiplicando por 1000, obtém-se a estimativa do custo do déficit em R\$/MWh, podendo comparar com o valor publicado pela EPE. E assim os passos 3 e 4 da Figura 15 foram finalizados.

O custo do déficit da amostra, ao final deste processo, ficou em aproximadamente R\$789 por Megawatt.hora, e o análogo para a população brasileira em R\$955/MWh. Um número abaixo ao calculado pela EPE (conforme se pode observar no Gráfico 17, a seguir), confirmando a tendência de ser um pouco inferior, pois apresenta apenas o viés residencial.

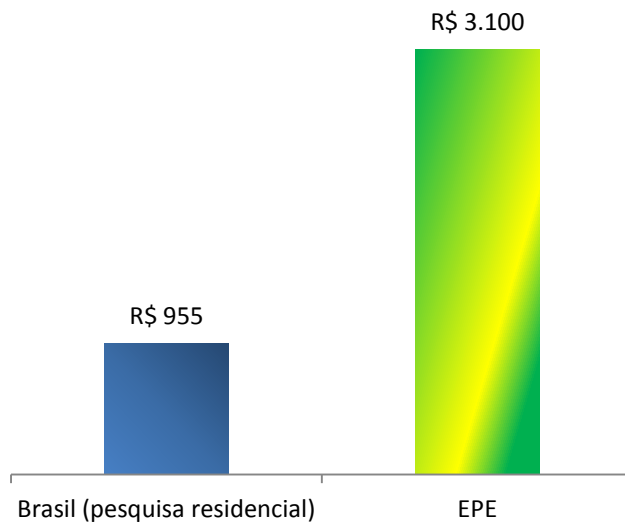


Gráfico 17 – Custos do déficit Brasil: pesquisa x EPE (R\$/MWh)

Fonte: EPE

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O objetivo desta dissertação foi apresentar e discutir algumas metodologias para a estimação do custo de déficit de eletricidade, e apresentar um estudo de caso realizado com uma dessas metodologias.

Optou-se pelo método de entrevista. O estudo de caso foi realizado na cidade do Rio de Janeiro/RJ. Foi distribuído um questionário para 600 moradores da cidade, contemplando todas as faixas de renda.

Nas entrevistas os consumidores foram motivados a estimar financeiramente quanto custa o déficit de energia para eles, ou, em outras palavras, quanto custa para eles o aborrecimento causado pela falta de energia elétrica.

Após a aplicação do questionário e a compilação dos resultados, ficou evidente que o déficit de eletricidade trazia aborrecimento significativo à maioria dos entrevistados. Por isso, mesmo classes menos abastadas se mostraram dispostas a um dispêndio financeiro mensal extra com fontes de energia alternativas para reduzir o déficit de eletricidade.

Apesar de a pesquisa não ser orientada a um custo do déficit em R\$/MWh, foi possível transformar os valores para obter uma melhor comparação com a estimativa da EPE. E a razão de 30% entre o valor de custo de déficit Brasil obtido na pesquisa e o valor praticado pela EPE confirmou a tendência do custo oriundo da pesquisa ser inferior, por apresentar apenas o viés residencial.

A seguir sugestões para trabalhos futuros:

- Ampliar a pesquisa efetuada com consumidores residenciais para outros setores da economia;
- Pesquisar onde o Brasil está no ranking do custo do déficit de eletricidade;
- Pesquisar como o custo do déficit de eletricidade se posiciona do Demonstrativo de Resultados de uma grande empresa.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADRIAAN VAN DER WELLE, B. V. D. Z. **An overview of selected studies on the value of lost load.** [S.l.]: [s.n.], 2007.

BECKER, G. S. A Theory of the Allocation of Time. **The Economic Journal**, p. 493-517, 1965.

BLIEM, M. **Economic Valuation of Electrical Service Reliability in Austria – A Choice Experiment Approach.** [S.l.]: [s.n.], 2009.

DE VRIES, L. J. The instability of competitive energy - only electricity markets. **Research Symposium European Electricity Market**, Setembro 2003.

DEGROOT, M. **Probability and Statistics.** 2a Edição. ed. [S.l.]: Addison-Wesley, 1989.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica.** [S.l.]. 2011.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional.** [S.l.]. 2011.

INSTITUTE FOR SCIENTIFIC INFORMATION. **Essays of an Information Scientist.** [S.l.]: [s.n.], v. 9, 1986. 272 p.

JOSÉ GOLDENBERG, L. T. S. P. **Reforma e Crise do Setor Elétrico no período FHC.** [S.l.]: [s.n.], 2003.

KRISTINA HAMACHI LACAMMARE, J. H. E. **Understanding cost of power interruptions to US Electricity consumers.** Berkeley, California: [s.n.], 2004.

LOUREIRO, P. G. **Custo Marginal do Déficit de Energia Elétrica.** Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2009.

MARCONDES, M. **Análises da Participação dos autoprodutores e produtores independentes de energia no setor elétrico brasileiro.** [S.l.]: [s.n.], 2008.

MICHEL J SULLIVAN, M. M. **Estimated Value of Service Reliability for Electric Utility Customers in United States.** Berkeley, California: [s.n.], 2009.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Atualização do Valor para Patamar Único de Custo do Déficit.** [S.l.]. 2012.

MUNASINGHE, M. . A. A. P. S. Reliability of Electricity Supply, Outage Costs and Value of Service: An Overview. **Energy Journal, 9 (Special Electricity Reliability Issue)**, 1988. 1-18.

NIGEL SLACK, S. C. R. J. **Administração da Produção**. [S.l.]: ATLAS, 2002.

NOOIJ, M. D. The Demand for supply security. **Research Symposium European Electricity Markets**, Amsterdam, 2003.

POPOOLA, J. J. A. A. P. T. O. A. Reliability Worth Assessment of Electric Power Utility in Nigeria: Residential Customer Survey Results. **AU J.T.**, p. 217-224, 2011.

SALINO, P. J. **Energia Eólica no Brasil: Uma comparação do Proinfa e de novos leilões**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2011.

STANDLER, R. B. **Liability of Electric Utility in the USA for Outage or Blackout**. Concord, NH: [s.n.], 2011.

YELLAGOUD, S. K. COST-WORTH ASSESSMENT OF AUTOMATED RADIAL DISTRIBUTION SYSTEM BASED ON RELIABILITY. **International Journal of Engineering Science and Technology**, p. 6149-6156, 2010.