



ANÁLISE DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA NOS SETORES BANCÁRIO, DE EDUCAÇÃO BÁSICA E POSTOS
DE GASOLINA

Mauricio Franco Mitidieri

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

Orientador: André Frossard Pereira de Lucena

Rio de Janeiro

Março de 2017

ANÁLISE DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA NOS SETORES BANCÁRIO, DE EDUCAÇÃO BÁSICA E POSTOS
DE GASOLINA

Mauricio Franco Mitidieri

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 PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Examinada por:

Prof. André Frossard Pereira de Lucena, D.Sc.

Prof. Roberto Schaeffer, PhD.

Prof. Reinaldo Castro Souza, D.Sc.

Prof. Diego Malagueta, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2017

Mitidieri, Mauricio Franco

Análise do Potencial de Geração Distribuída de Energia Solar Fotovoltaica nos Setores Bancário, de Educação Básica e Postos De Gasolina / Mauricio Franco Mitidieri. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017.

XIV, 89 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: André Frossard Pereira de Lucena

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2017.

Referências Bibliográficas: p. 75-83.

1. Energia Solar Fotovoltaica. 2. Geração Distribuída. 3. Amostragem. I. Lucena, André Frossard Pereira de. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título.

“Solar, as you know, hasn’t caught on because, I mean, a solar panel takes 32 years – It’s a 32 year payback. Who wants a 32 year payback? The fact is, the technology is not there yet.”

Donald Trump, 2012

“By 2020, solar photovoltaic is projected to have a lower LCOE than coal or natural gas-fired generation throughout the world.”

World Economic Forum, 2016

“Shine on, you crazy diamond!”

Pink Floyd – Shine on You Crazy Diamond

Agradecimentos

Aos meus pais, Denise e Jorge, pelo apoio incondicional e por sempre estarem na primeira fila aplaudindo os meus sucessos, por menores que sejam.

À minha irmã Mariana, meu eterno espelho acadêmico, pela inspiração e apoio de sempre. À Paula, pela paciência, referências cruzadas, telhados e fins de semana ao meu lado, e pelo seu amor e companheirismo ao longo dos últimos 7 anos, os primeiros de nossas vidas juntos.

À minha família, pelo ombro e sorrisos ao longo dos tempos.

Ao professor André, pela honestidade, paciência e dedicação ao meu trabalho, e por acreditar no caminho que escolhi.

Aos colegas da Promon, pelo suporte, apoio e inspiração para este tema. Um agradecimento especial ao Rodrigo, José Roberto e Juan que me guiaram pelos primeiros passos no mundo solar.

A todos do Programa pela ótima experiência que vivi nos últimos 3 anos.

A todos que em algum momento torceram por mim e estiveram ao meu lado.

À minha avó Vera que, de onde esteja, tenho certeza estará muito feliz e perfumada olhando por mim.

Ao Google, pela existência do Google Maps!

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

ANÁLISE DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA NOS SETORES BANCÁRIO, DE EDUCAÇÃO BÁSICA E POSTOS
DE GASOLINA

Mauricio Franco Mitidieri

Março/2017

Orientador: André Frossard Pereira de Lucena

Programa: Planejamento Energético

A energia solar fotovoltaica tem crescido de forma relevante no mundo, e sua expansão tem se dado tanto em grandes plantas centralizadas como em geração distribuída. Este trabalho buscou, através de uma metodologia que incluiu a amostragem de mais de 1.100 telhados espalhados pelo Brasil, estimar o potencial de geração distribuída no setor comercial e de serviços no país. A escolha dos setores estudados foi direcionada, prioritariamente, pela disponibilidade de dados, que levou à escolha dos três segmentos analisados (educação básica, agências de banco e postos de gasolina). O processo utilizado incluiu, além da amostragem dos telhados, uma análise quantitativa por setor estudado, levando em consideração diversos aspectos como tecnologias, dados meteorológicos, custos de investimento e operação e o custo do capital envolvido, de forma a quantificar não só o potencial técnico, mas também econômico envolvido nestes casos. Dessa forma, este trabalho constitui uma plataforma de análise para outros setores de serviços posteriormente.

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

ANALYSIS OF THE POTENTIAL OF DISTRIBUTED PHOTOVOLTAIC SOLAR
POWER GENERATION IN BANKING, BASIC EDUCATION AND GAS STATION
SECTORS

Mauricio Franco Mitidieri

March/2017

Advisor: André Frossard Pereira de Lucena

Department: Energy Planning

Photovoltaic solar energy has been growing significantly in the world, and its expansion has taken place both via large centralized plants and via distributed generation. This work, through a methodology that included the sampling of more than 1,100 rooftops spread across Brazil, estimated the potential of distributed generation in the commercial and services sector in the country. The availability of data drove the choice of the sectors that were studied (basic education, bank agencies and gas stations). Aside from the sampling analysis, a quantitative approach focused on the specific sectors (basic education, banking and gas stations), including aspects related to technologies, meteorological inputs, capital expenditure, operation and maintenance cost and cost of capital, in order to quantify not only the technical potential but also the economic potential involved in these cases. Therefore, this study can be a platform of analysis for other service segments in future research.

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2. | CONTEXTO DA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA DISTRIBUÍDA..... | 4 |
| 2.1 | CONCEITO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA..... | 4 |
| 2.2 | AMBIENTE INSTITUCIONAL E EVOLUÇÃO NO BRASIL..... | 6 |
| 3. | METODOLOGIA PROPOSTA | 11 |
| 3.1 | RESUMO DA METODOLOGIA..... | 11 |
| 3.2 | ESCOLHA DOS SETORES A SEREM ESTUDADOS | 13 |
| 3.3 | AMOSTRAGEM ALEATÓRIA SIMPLES..... | 13 |
| 3.4 | CONVERSÃO DE ÁREA DISPONÍVEL EM POTÊNCIA INSTALADA | 18 |
| 3.5 | POTÊNCIA INSTALADA E CONVERSÃO PARA ENERGIA GERADA | 21 |
| 3.5.1 | EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO DO PAINEL FOTOVOLTAICO..... | 22 |
| 3.5.2 | <i>PERFORMANCE RATIO</i> | 23 |
| 3.5.3 | DADOS DE RECURSO SOLAR | 24 |
| 3.6 | CÁLCULO DO CUSTO NIVELADO DE ELETRICIDADE..... | 27 |
| 3.6.1 | OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO – CUSTOS E VIDA ÚTIL | 28 |
| 3.6.2 | DEGRADAÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS..... | 29 |
| 3.6.3 | CUSTO DE INVESTIMENTO..... | 30 |
| 3.6.4 | TAXA DE DESCONTO | 35 |
| 3.7 | DISTRIBUIDORAS E ÁREAS DE CONCESSÃO..... | 36 |
| 3.8 | CUSTO NIVELADO DE ELETRICIDADE VERSUS TARIFAS DE ENERGIA | 39 |
| 4. | AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO FV NO SETOR COMERCIAL E DE SERVIÇOS | 40 |
| 4.1 | DADOS DE ENTRADA DO MODELO E PREMISSAS | 41 |
| 4.1.1 | SETORES SELECIONADOS E BASES DE DADOS | 41 |

| | | |
|---------|--|----|
| 4.1.2 | DADOS DE RADIAÇÃO SOLAR | 45 |
| 4.1.3 | TARIFAS DE ENERGIA NO SETOR COMERCIAL E DE SERVIÇOS..... | 47 |
| 4.1.4 | PREMISSAS..... | 49 |
| 4.2 | RESULTADOS | 53 |
| 4.2.1 | SETOR DE EDUCAÇÃO BÁSICA | 54 |
| 4.2.2 | SETOR DE POSTOS DE GASOLINA..... | 55 |
| 4.2.3 | SETOR DE AGÊNCIAS DE BANCOS | 56 |
| 4.3 | DISCUSSÃO DOS RESULTADOS..... | 58 |
| 4.3.1 | AVALIAÇÃO DO POTENCIAL TÉCNICO | 58 |
| 4.3.1.1 | Educação | 59 |
| 4.3.1.2 | Postos de Gasolina..... | 61 |
| 4.3.1.3 | Agências de bancos | 64 |
| 4.3.2 | ANÁLISE DO POTENCIAL TÉCNICO-ECONÔMICO..... | 66 |
| 4.3.3 | FATORES DE SENSIBILIDADE DO MODELO | 69 |
| 5. | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 73 |
| | REFERÊNCIAS | 75 |
| | Anexo A – Resultados Detalhados..... | 84 |

Lista de figuras:

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Evolução do Investimento Mundial em plantas solares de GD até 1MW, em bilhões de dólares, e crescimento ano a ano. | 5 |
| Figura 2 - Definição de micro e mini geração. | 7 |
| Figura 3 - Esquema Ilustrativo do Sistema de Compensação de Energia. | 9 |
| Figura 4- Número de conexões de usinas solares em geração distribuída (acumulado) ao fim dos anos. | 10 |
| Figura 5 - Resumo da Metodologia. | 12 |
| Figura 6 - Imagens de Satélite e área estimada do telhado. | 15 |
| Figura 7 - Exemplo de endereço comercial sem acesso ao telhado. | 17 |
| Figura 8 - Exemplo de telhado com grande fonte de sombra inviabilizando o projeto. | 17 |
| Figura 9 - Comparação da eficiência entre células e módulos fotovoltaicos. | 20 |
| Figura 10 - Gráfico com exemplos de painéis e suas eficiências. | 22 |
| Figura 11 - Radiação Solar no Plano Inclinado - Média Anual. | 26 |
| Figura 12- Garantia de Performance do Painel YGE 60 células Série 2. | 30 |
| Figura 13 - Curva de Aprendizado do setor. | 31 |
| Figura 14 - CapEx público para plantas solares residenciais (\$/kWp). | 32 |
| Figura 15 - Preço dos sistemas <i>rooftop</i> (instalados nos telhados de prédios) na Alemanha. | 32 |
| Figura 16 - Benchmark dos preços de sistemas fotovoltaicos nos EUA. | 33 |
| Figura 17 - Preços de Sistemas FV em 2015. | 34 |
| Figura 18 - Tipos de potencial de energias renováveis. | 40 |
| Figura 19 - Distribuição Geográfica das instituições de Educação Básica no Brasil, 2015 e número de estabelecimentos por etapa de ensino no Brasil, 2015. | 43 |
| Figura 20 - Distribuição dos postos de gasolina no Brasil, por região e por distribuidora. | 44 |
| Figura 21 - Divisão geográfica das agências de instituições financeiras no Brasil, 2016. | 44 |
| Figura 22 - 10 maiores distribuidoras em Potência Instalada potencial, em MWp, para o setor de educação básica. | 55 |
| Figura 23 - 10 maiores distribuidoras em Potência Instalada potencial, em MWp, para o setor de postos de gasolina. | 56 |
| Figura 24 - 10 maiores distribuidoras em Potência Instalada potencial, em MWp, para o setor de Agências de Bancos. | 57 |
| Figura 25 - Divisão do Potencial Técnico de Instalação por Região do Brasil. | 58 |
| Figura 26 - Colégio Militar de Brasília. | 59 |

| | |
|---|----|
| Figura 27 - Colégio com telhado com recortes e inclinações para Sul. | 60 |
| Figura 28 - Escola sem acesso ao telhado. | 60 |
| Figura 29 - Escola com sombras inviabilizando o aproveitamento. | 61 |
| Figura 30 - Posto de Gasolina em Trancoso/BA. | 62 |
| Figura 31 - Posto de Gasolina embaixo de prédio comercial. | 62 |
| Figura 32 - Posto de Gasolina com grande fonte de sombra ao norte..... | 63 |
| Figura 33 - Posto de Gasolina com diversas fontes de sombras ao redor..... | 63 |
| Figura 34 - Exemplo de Agência de Banco embaixo de prédio. | 64 |
| Figura 35 - Exemplo de Agência de Banco com telhado que inviabiliza o projeto. | 64 |
| Figura 36 - Exemplo de Agência de Banco com sombra ao norte, inviabilizando o telhado. | 65 |
| Figura 37 - Evolução da Eficiência de Diversas Tecnologias de Células Fotovoltaicas. | 71 |

Lista de tabelas:

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Graus de confiança e valores críticos associados..... | 14 |
| Tabela 2 - Diferentes dados de radiação global para o Brasil. | 25 |
| Tabela 3 - Estimativas de O&M..... | 29 |
| Tabela 4 - Exemplos de taxas de desconto em diversos estudos. | 35 |
| Tabela 5 - Distribuidoras e Grupos Considerados no Estudo e número de municípios atendidos. | 37 |
| Tabela 6 - Distribuidoras de Eletricidade e respectivos municípios de referência e irradiação do modelo..... | 45 |
| Tabela 7 - Distribuidoras e grupos de estudo, com suas respectivas tarifas de energia, com impostos, para o setor comercial. Data: setembro de 2016..... | 48 |
| Tabela 8 - Principais premissas e dados de entrada..... | 52 |
| Tabela 9 - Resultados Agregados da Modelagem..... | 53 |
| Tabela 10 - Resultados Macro para o Setor de Educação Básica..... | 54 |
| Tabela 11 - Resultados Macro para o Setor de Postos de Gasolina. | 55 |
| Tabela 12 - Resultados Macro para o Setor de Agências de Bancos. | 57 |
| Tabela 13 - Resultados do Potencial Econômico. | 66 |
| Tabela 14 - Distribuidoras com 3 maiores LCOEs..... | 67 |
| Tabela 15 - Distribuidoras com 3 menores LCOEs. | 67 |
| Tabela 16 - Comparação do LCOE obtido com referências internacionais*. | 68 |
| Tabela 17 - Simulação do Efeito da Taxa de Desconto na Viabilidade..... | 72 |
| Tabela 18 - Resumo dos fatores de sensibilidade analisados. | 72 |
| Tabela A.1 - Resultados Detalhados para o setor de educação básica, por grupo de estudo. | 84 |
| Tabela A.2 – Resultado detalhado para o Setor de Postos de Gasolina, por grupo de estudo. | 86 |
| Tabela A.3 - Resultado detalhado para o Setor de Agências de Bancos, por grupo de estudo..... | 88 |

Lista de abreviações:

| | |
|-------------------|---|
| " <u>ANEEL</u> " | Agência Nacional de Energia Elétrica. |
| " <u>ANP</u> " | Agência Nacional de Petróleo. |
| " <u>API</u> " | Interface de Programação de Aplicação, ou, em inglês, <i>Application Programming Interface</i> , e é um conjunto de padrões de programação que permite a construção de aplicativos e/ou funcionalidades e a sua utilização de diversas maneiras pelos usuários da ferramenta. |
| " <u>BACEN</u> " | Banco Central do Brasil. |
| " <u>CapEx</u> " | Em inglês, <i>capital expenditure</i> , ou, em português, em tradução livre, despesas de capital ou investimento em bens de capital. |
| " <u>CEMPRE</u> " | Cadastro Central de Empresas. |
| " <u>CNAE</u> " | Classificação Nacional de Atividades Econômicas, do IBGE. |
| " <u>CONFAZ</u> " | Conselho Nacional de Política Fazendária. |
| " <u>EPE</u> " | Empresa de Pesquisa Energética |
| " <u>IBGE</u> " | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. |
| " <u>FV</u> " | Fotovoltaico. |
| " <u>ICMS</u> " | Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços. |
| " <u>kWp</u> " | killowatt-pico. |

| | |
|--------------------|--|
| " <u>LCOE</u> " | Em inglês, <i>Levelized Cost of Energy</i> , ou, em português, em tradução livre, custo de energia nivelado. |
| " <u>MW</u> " | Megawatt. |
| " <u>O&M</u> " | Operação e Manutenção. |
| " <u>PIB</u> " | Produto Interno Bruto. |
| " <u>REN21</u> " | Em inglês, <i>Renewable Energy Policy Network for the 21st Century</i> . |

1. INTRODUÇÃO

A cada ano, o planeta tem disponíveis, como recursos energéticos, 359.665.000 TWh de energia (HERDERSCHEE-HUNTER, 2009). Desse enorme potencial, a energia que recebemos do sol é responsável por mais de 97% do total, com a disponibilidade de geração de 350.000.000 TWh/ano. Mesmo assim, nem sequer 7% da geração de energia elétrica mundial, de acordo com dados de 2015, é de responsabilidade de fontes renováveis, incluindo a solar (IEA, 2016), restando claro o grande potencial ainda não explorado na geração de energia elétrica, principalmente através de painéis fotovoltaicos (FV). Dentre as principais barreiras apresentadas para este potencial ainda não explorado podem-se citar as dificuldades de interconexão e balanceamento da rede com a penetração em massa de energias intermitentes, ausência de arcabouços regulatórios bem estabelecidos e o baixo fator de capacidade apresentado pela geração FV, que muitas vezes se refletem em custos ainda elevados por unidade de energia gerada (LUCKOW et al., 2015; ARDANI et al., 2017).

Diferentemente de fontes que dependem de ocorrências naturais que definem sua localização (como, por exemplo, as grandes quedas d'água que determinam as posições das hidrelétricas), a energia solar é um recurso energético que pode ser aproveitado em todos os pontos do planeta, sendo correlacionado, apenas, com as condições meteorológicas, climáticas e latitude das localidades estudadas. Isto permite uma grande flexibilidade da fonte, que pode ser desenvolvida em grandes usinas centralizadas, ou mais próximas dos pontos de consumo, na forma de pequenas plantas distribuídas.

Nesse ponto, o Brasil identifica-se com enorme potencial para a fonte solar. Comparado com outros líderes mundiais na geração fotovoltaica, como a Alemanha, o Brasil apresenta valores de radiação solar que, em seus locais menos favoráveis, são cerca de 20% superiores aos melhores pontos da Alemanha (VARELA, 2014). Projeções recentes da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) indicam cenários nos quais a energia solar pode atingir, até 2030, cerca de 25GW de capacidade instalada de geração, representando cerca de 10% da matriz de geração projetada para o mesmo ano, em termos da capacidade instalada (EPE, 2016a).

Contudo, apesar do crescimento recente e do potencial apresentado, a geração solar tem tido dificuldades em encontrar seu espaço no setor de geração centralizada no Brasil. Mesmo com a

contratação de mais de 3GWp de energia solar nos leilões organizados em 2014 e 2015, que totalizaram mais de R\$12,9 bilhões (PORTAL BRASIL, 2015; CCEE, 2017), o setor tem tido dificuldade de viabilizar todos os projetos contratados: do total de projetos vendidos nos leilões, apenas cerca de 300MWp já entraram em operação e cerca de 2,4GWp se encontram em situação de atraso, dentro dos quais mais de 500MWp se encontram sem previsão de entrada em operação, com baixa viabilidade de serem concretizados (ANEEL, 2017a). Além disso, o setor enfrentou dificuldade recentemente com o cancelamento do leilão de energia de reserva de 2016, que previa contratação da fonte solar fotovoltaica, de modo que a fonte terminou o ano sem contratação e sem previsão de um leilão em 2017 (MME, 2016).

Mesmo com as dificuldades encontradas no mercado de geração brasileiro, a geração distribuída, próxima ao ponto de consumo, passa a ser estudada com atenção, pois apresenta vantagens econômicas que podem torná-la competitiva para destravar a geração solar. Dentre essas vantagens, podem-se destacar (BARBOSA, AZEVEDO, 2013):

- a ausência dos custos de transmissão do sistema, que, por muitas vezes, podem inviabilizar as soluções de energia renovável;
- possibilidade de redução dos custos de distribuição, uma vez que as cargas próximas ao consumidor podem reduzir a carga nas redes;
- diminuição da dependência da geração centralizada despachada, mantendo algumas reservas nos centros de carga; e
- redução das perdas de transmissão e dos custos, e o adiamento do investimento de expansão da rede.

A avaliação do potencial de geração solar distribuída é, muitas vezes, associada a painéis solares nas residências, ou seja, a famílias gerando energia nas suas casas, conforme destrinchado pelo trabalho de Miranda (2013), responsável por uma estimativa bastante estruturada sobre esse potencial.

Contudo, há, ainda, diversos sítios potenciais não totalmente explorados na geração distribuída em segmentos que possuem grande expressividade na economia brasileira e que podem, também, possuir grande expressividade quanto a potencial gerador fotovoltaico. Faz-se necessário, assim, direcionar análises para esses setores. Por exemplo, o segmento comercial e de serviços é altamente pulverizado e tem abundância de informações por unidade de estabelecimento, além de ser responsável por 71,18% do PIB nacional (IBGE, 2017).

O segmento comercial e de serviços possui uma dinâmica distinta das residências e, portanto, exige uma abordagem diferente. Dessa forma, diante do potencial e crescimento da fonte solar fotovoltaica no Brasil, este trabalho teve, por objetivo, aferir, através de um procedimento metodológico por amostragem, a capacidade de geração distribuída solar em segmentos do setor comercial e de serviços no Brasil. Três segmentos foram analisados: educação básica, agências de bancos e postos de gasolina, escolhidos prioritariamente por conta da disponibilidade de dados.

A metodologia proposta partiu de um processo de amostragem dos setores e, com a criação de um perfil dos telhados disponíveis para geração solar, utilizou informações como a eficiência dos painéis comerciais, dados de radiação de pontos selecionados dentro das áreas de concessão das distribuidoras de energia, fatores de performance de plantas solares, custos de investimento e de manutenção e custo de capital para calcular o potencial técnico e econômico de geração por plantas solares FV. Para o cálculo do potencial econômico, comparou-se o custo dessa geração estimado com as tarifas praticadas no setor comercial por todo o Brasil.

Para isso, este trabalho foi, então, estruturado em 6 capítulos. Após esta introdução, o Capítulo 2 fornece um panorama sobre a geração distribuída, *framework* regulatório e avanços no Brasil e no mundo, além de uma visão global sobre o segmento comercial e de serviços no Brasil, suas segregações e relevância perante a economia nacional. No Capítulo 3, por sua vez, é descrita, de forma detalhada, a metodologia de análise utilizada, destacando todas as variáveis e explicando sua importância e finalidade. No Capítulo 4, são apresentadas as premissas, os valores utilizados e os resultados obtidos, incluindo uma análise final sobre os principais fatores de sensibilidade do modelo. Por fim, o Capítulo 5 apresenta as considerações finais, com um resumo dos resultados obtidos, limitações e pontos de melhoria observados, além de recomendações para estudos futuros.

2. CONTEXTO DA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA DISTRIBUÍDA

2.1 CONCEITO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

O conceito de geração distribuída (GD) pode ser definido, de forma simplista, como a geração de energia próxima ao ponto de consumo (OWENS, 2014). Uma pesquisa mais aprofundada, no entanto, mostra que existem diversos entendimentos diferentes sobre o conceito de GD, mesmo entre instituições do setor elétrico. Um conceito mais abrangente sobre geração distribuída, definido por SEVERINO et al. (2008, p.60), seria

GD é a denominação genérica de um tipo de geração de energia elétrica que se diferencia da realizada pela geração centralizada por ocorrer em locais em que não seria instalada uma usina geradora convencional, contribuindo para aumentar a distribuição geográfica da geração de energia elétrica em determinada região.

Mundialmente, o primeiro sistema de GD que se tem notícia foi construído por Thomas Edison, em 1882, e conectava 59 consumidores. Ao longo dos anos, com o advento da corrente alternada, a transmissão de energia se desenvolveu, o modelo de geração centralizada foi evoluindo e ganhando destaque mundialmente (MIRANDA, 2013).

Globalmente, a adição de plantas de GD solar apresentou grande evolução, saindo de um patamar de investimento de US\$ 8,5 bilhões em 2004, para US\$ 67,4 bilhões em 2015, com um pico de US\$ 79,3 bilhões em 2012 e um crescimento médio anual da ordem de 21% (FRANKFURT SCHOOL-UNEP CENTRE/BNEF, 2016). A Figura 1 mostra essa evolução no investimento de plantas solares com até 1MW de potência instalada no mundo.

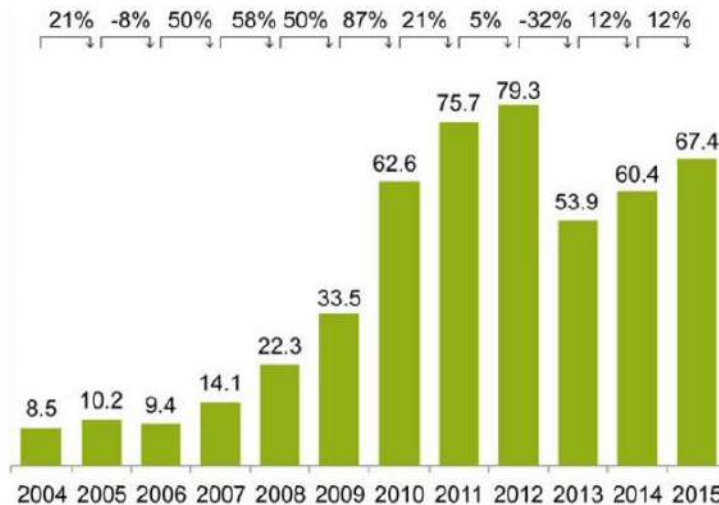


Figura 1 - Evolução do Investimento Mundial em plantas solares de GD até 1MW, em bilhões de dólares, e crescimento ano a ano.

Fonte: (FRANKFURT SCHOOL-UNEP CENTRE/BNEF, 2016)

Confirmando a expectativa lançada em 2014 por alguns estudos (IHS, 2014) de que os investimentos em GD seriam cerca de 30% dos investimentos mundiais totais em energia solar em 2015. O número de US\$ 67,4 bilhões na Figura 1 representou cerca de 25% do total mundial investido na fonte, mostrando o potencial da GD (FRANKFURT SCHOOL-UNEP CENTRE/BNEF, 2016).

Ratificando o potencial esperado pela energia solar para geração de energia elétrica, a REN21, entidade multilateral de políticas para energias renováveis, analisa que há 146 países no mundo com políticas de incentivos à expansão de energias renováveis (REN21, 2016). Dentre as diversas políticas de incentivo a GD, o *net metering*¹ tem sido utilizado de forma recorrente, sendo implementado como uma forma de estimular o autoconsumo, principalmente em residências e comércio.

A primeira conexão *net metered* do mundo ocorreu em 1979, no estado americano de Massachusetts, quando o arquiteto Steven Strong instalou um sistema solar de 5kWp no telhado da *Carlisle House* (VERZOLA, 2015). Desde então, diversos outros sistemas foram conectados

¹ O conceito de *net metering* é simples: compensação física da geração de energia no local em um determinado intervalo pré-definido (dias, meses, semanas, etc.), com um medidor bidirecional que gera cobrança relativa ao balanço físico, ou seja, cobrança do saldo de energia resultante ao fim do período (LATOÛR, 2013; POULIKKAS, KOURTIS e HADJIPASCHALIS, 2013).

à rede, e, utilizando dados de 2015, mais de 50 países possuem políticas oficiais que regulamentam e organizam o *net metering* – número que vem avançando nos últimos anos, mais que dobrando, desde 2011 (REN21, 2016). A análise do *net metering* é especialmente relevante, pois é este o mecanismo atual adotado pelo Brasil para incentivar a GD.

2.2 AMBIENTE INSTITUCIONAL E EVOLUÇÃO NO BRASIL

Em abril de 2012, o governo brasileiro, através da Aneel, lançou duas resoluções normativas com a intenção de promover a GD: a Resolução Normativa nº 481 e a Resolução Normativa nº 482, ambas publicadas em 17 de abril de 2012 (ANEEL, 2012; ANEEL, 2012b) (respectivamente, “Resolução Normativa 481” e “Resolução Normativa 482”).

A Resolução Normativa 481 teve o propósito de tornar plantas de energias renováveis localizadas, de grande porte, mais viáveis, concedendo descontos de até 80% nas tarifas de uso das redes de distribuição e transmissão (ANEEL, 2012; RUSCHEL, LANDEIRA, MITIDIERI, 2012).

A Resolução Normativa 482, por sua vez, estabeleceu regras destinadas à regulamentação e incentivo à instalação de centrais geradoras de energia elétrica de fonte solar, hidráulica, eólica, de biomassa ou de cogeração qualificada com potência menor ou igual a 1 MW, conectadas a instalações de unidades consumidoras (Central Geradora), criando os conceitos de micro e minigeração.

Pela Resolução Normativa 482, plantas com potência instalada de até 100kW eram consideradas de microgeração, enquanto plantas entre 100kW e 1MW instalados eram consideradas de minigeração. Com a revisão da Resolução Normativa 482, de 2015, a Aneel alterou esses patamares, fixando 75kW de potência instalada como o limite da microgeração (Microgeração), e o intervalo entre 75kW e 3MW de potência instalada, para fontes hídricas, ou no intervalo entre 75kW e 5MW, para as demais fontes renováveis, como o limite de minigeração (Minigeração). Esta foi a definição dada pela Resolução Normativa 687, de 2015 (ANEEL, 2015) A Figura 2 ilustra os limites vigentes atualmente (ANEEL, 2015).



Figura 2 - Definição de micro e mini geração.

Fonte: Elaboração própria.

Nesse cenário, o consumidor com Central Geradora de Micro/Minigeração poderia aderir a um sistema de compensação de energia elétrica com a distribuidora rédea que estivesse conectado (Sistema de Compensação). Por meio do Sistema de Compensação, a distribuidora faturaria ao consumidor: (i) o valor correspondente ao custo de (a) disponibilidade do sistema elétrico, em caso de clientes em baixa tensão, ou (b) demanda contratada, em caso de clientes em alta tensão, a depender da forma contratada entre si; e (ii) a tarifa de consumo correspondente à diferença entre a energia consumida e a injetada, ponderada pelo posto tarifário correspondente.

Como a regulação não previa a comercialização de energia, mas apenas o Sistema de Compensação, era esperado que houvesse a incidência de ICMS tão somente sobre o balanço, e não sobre todo o consumo elétrico. Entretanto, diversos estados passaram a cobrar o tributo sobre o total da energia consumida, contrariamente às expectativas dos consumidores e apesar da publicação do CONFAZ, datada de 22 de abril de 2015, que disciplinou a Mini e a Microgeração de energia e orientou pela não cobrança do imposto (CONFAZ, 2015).

Diante disso e, em conjunto com a publicação e autorização do CONFAZ, foi celebrado o Convênio ICMS nº 16, de 22 de abril de 2016, entre o conselho e os estados de São Paulo, Pernambuco e Goiás (ABSOLAR, 2015), com o intuito de autorizar a não incidência do ICMS nos Sistemas de Compensação (Convênio ICMS 16). Posteriormente, o Convênio ICMS 16 foi diversas vezes aditado e, hoje, conta com a adesão dos estados do Acre, Alagoas, Bahia, Ceará, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Minas Gerais (WWF, 2015), Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Rondônia, Roraima, São Paulo, Tocantins e o Distrito Federal. A questão do ICMS é chave e pode ser definitiva para o avanço do *net metering* no país.

A ANEEL estabeleceu, conforme a Resolução Normativa 687, quatro modalidades para a GD, conforme a descrição a seguir (ANEEL, 2015):

1. GD junto a carga, onde a Central Geradora é instalada no local de consumo;
2. GD em condomínios, utilizando áreas comuns do condomínio e dividindo os créditos entre os condôminos;
3. Autoconsumo remoto, onde os excedentes de energia gerados na Central Geradora são utilizados para abater o consumo de outras, de mesma titularidade, e dentro da mesma área de concessão; e
4. GD compartilhada, que permite que consumidores, reunidos em cooperativas ou consórcios, gerem energia em um ponto qualquer e compensem estes créditos dentro da área de concessão, respeitando a divisão proposta entre a cooperativa e/ou consórcio.

Pelo Sistema de Compensação, um eventual excedente não compensado em uma fatura mensal poderá ser compensado (i) contra o consumo de outras unidades consumidoras, do mesmo titular ou reunidas por comunhão de interesses de fato ou de direito, na área de atuação da distribuidora, desde que o responsável pela(s) Central(is) Geradora(s) a(s) tenha cadastrado, junto à distribuidora, para fins de compensação; ou (ii) na fatura do consumo medido em meses subsequentes. Essa compensação tão somente poderá ser exercida dentro do período de 60 meses, a contar do faturamento original.

Além disso, de acordo com a regulação, as Centrais Geradoras de Micro e Minigeração estariam dispensadas de celebrar os contratos de uso e de conexão à rede com a distribuidora: ao invés desses contratos, deveriam ser assinados apenas (i) documento de Relacionamento Operacional, para Microgeradores; ou (ii) Acordo Operativo, para Minigeradores (ANEEL, 2015).

De forma ilustrativa, a Figura 3 mostra como funciona o Sistema de Compensação de energia estabelecido no Brasil.

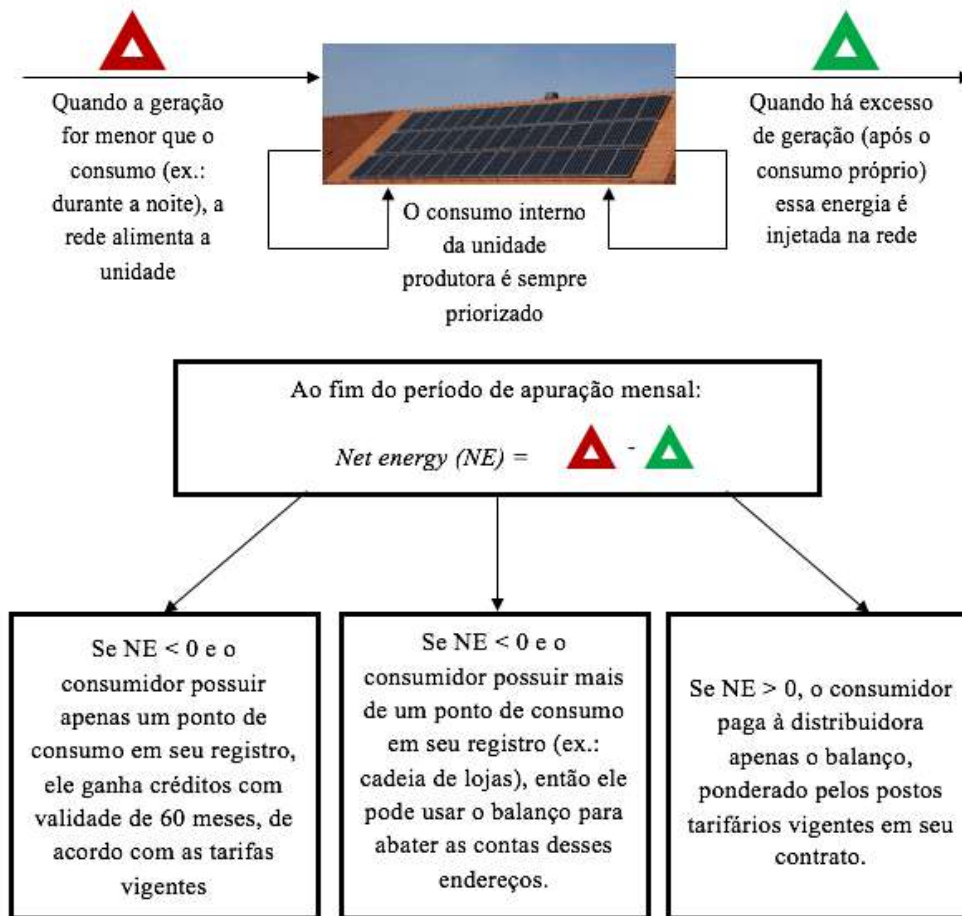


Figura 3 - Esquema Ilustrativo do Sistema de Compensação de Energia.

Fonte: Adaptado de (RUSCHEL, LANDEIRA, MITIDIERI, 2012)

Desde a implementação do Sistema de Compensação, até o fim do ano de 2016, o Brasil conectou 7.733 usinas à rede, das quais 7.643 são usinas fotovoltaicas, comprovando o potencial do uso da energia solar fotovoltaica para GD.

A Figura 4 mostra a evolução anual das conexões de usinas à rede desde 2012, ilustrando o crescimento exponencial do sistema (e consequentemente do uso da geração fotovoltaica distribuída), a uma taxa de mais de 500% ao ano neste intervalo (ANEEL, 2017b; LAMIN, 2016).

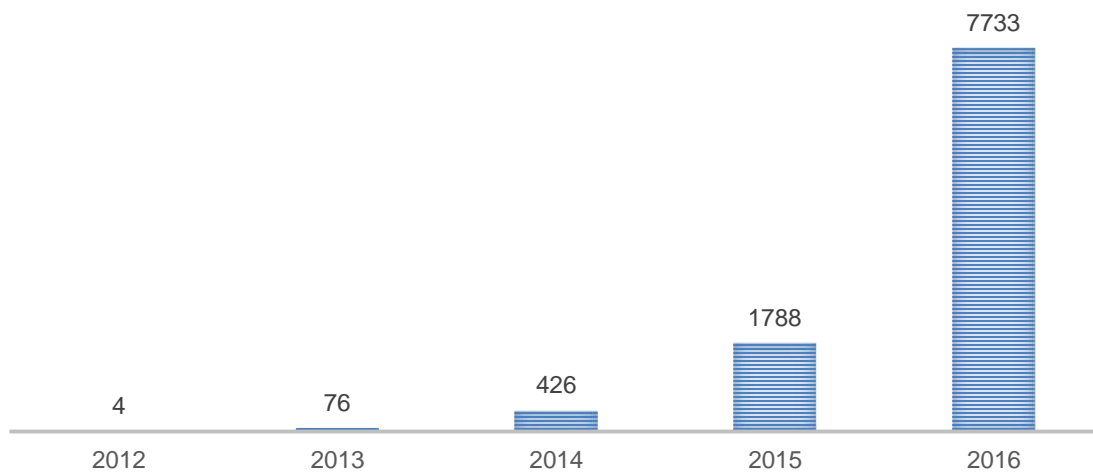


Figura 4- Número de conexões de usinas solares em geração distribuída (acumulado) ao fim dos anos.

Fonte: Elaboração própria com dados de (ANEEL, 2017b; LAMIN, 2016)

A geração distribuída e a criação do ambiente regulatório no Brasil para que esta modalidade possa avançar criam o cenário de mercado que motivou este estudo, focado no potencial de explorar a geração distribuída no setor comercial e de serviços, por meio da análise de três dos setores que compõe essa grande gama de atividades econômicas. A evolução das conexões de GD, embora ainda em estágio inicial, indica que há espaço para crescimento da modalidade no país, com uma taxa de crescimento que sinaliza algum reconhecimento deste potencial pelo mercado brasileiro.

3. METODOLOGIA PROPOSTA

3.1 RESUMO DA METODOLOGIA

De forma a avaliar o potencial técnico e econômico da geração solar distribuída no setor de serviços, foi necessário criar uma metodologia que permitisse analisar setores diversificados. Uma análise macro, incluindo todas as regiões do país, permite observarmos alguns resultados relevantes, mas uma análise localizada e mais refinada pode produzir resultados de maior precisão para regiões específicas. O presente estudo focou em uma análise macro, decorrendo dessa abordagem uma estimativa que permitiu um panorama ampliado do potencial para o Brasil.

A metodologia, resumida na Figura 5, será pontualmente dissecada no presente Capítulo e cada etapa relevante, identificada na figura, corresponde a uma seção a ser explorada na sequência. A metodologia detalhada neste capítulo será apresentada de forma geral, mas suas especificidades, dados e premissas serão apresentados posteriormente, no Capítulo 4.

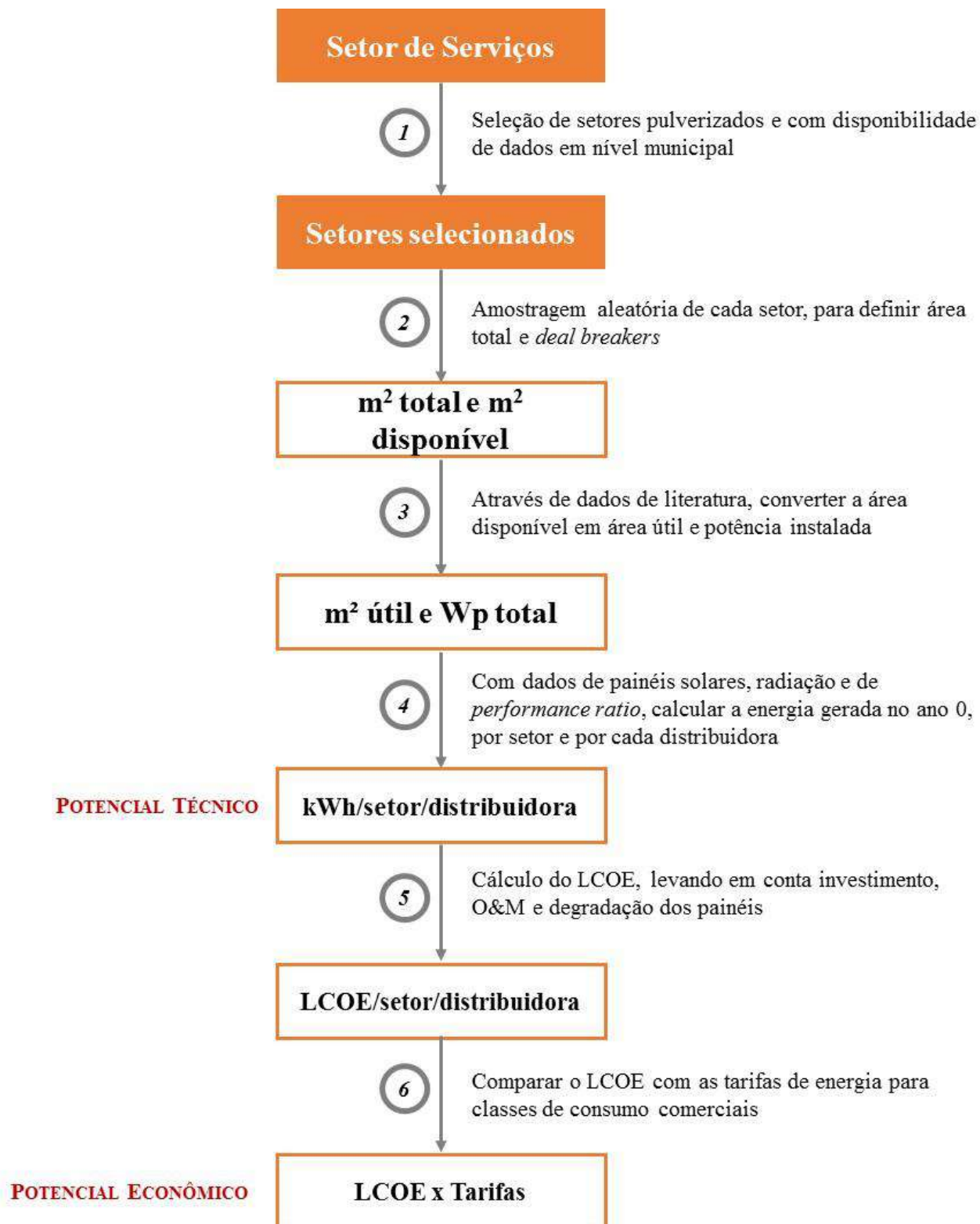


Figura 5 - Resumo da Metodologia.

Fonte: Elaboração Própria

3.2 ESCOLHA DOS SETORES A SEREM ESTUDADOS

Para a elaboração da metodologia de análise, foi preciso ponderar os mais diversos segmentos da economia, avaliando o potencial de geração de energia solar que cada um apresenta. Nessa análise, foi imperioso considerar os endereços físicos dos estabelecimentos (Unidade de Estabelecimento) dentro de cada segmento, sopesando não só a disponibilidade de telhados potenciais a serem explorados (Telhados Potenciais), mas também o potencial de geração solar desses Telhados Potenciais (Potencial Gerador de Energia). O resultado dessas considerações foi a pedra fundamental para o desenvolvimento futuro da metodologia adotada.

Para o cumprimento de nossa metodologia, foi preciso estudar setores que fossem altamente pulverizados e que tivessem uma disponibilidade de dados que permitisse uma amostragem, além de simples, totalmente aleatória. Com a riqueza de informações, seria possível não só sortear os endereços a serem estudados, mas também permitir a posterior correlação dos municípios com suas respectivas distribuidoras de energia, de forma a dar maior coerência à análise. A escolha desses setores (educação básica, agências de banco e postos de gasolina), bem como das fontes de dados, será esmiuçada no item 4.1.1.

3.3 AMOSTRAGEM ALEATÓRIA SIMPLES

Uma vez com os setores escolhidos, ao passo seguinte da metodologia cabe o procedimento de amostragem aleatória simples, no qual todos os elementos da população têm igual probabilidade de serem sorteados para compor a amostra (CORRAR; THEÓPHILO, 2011).

O procedimento adotado nesse trabalho foi o de atribuir um número para cada endereço e, em seguida, utilizar a ferramenta MS EXCEL para um sorteio aleatório. A amostragem foi feita sem reposição, para evitar que um mesmo Telhado Potencial fosse considerado duas vezes. Além disso, para casos em que a amostra não exceda o tamanho da população em 5% - como é o caso neste estudo - não há recomendação de utilização de reposição, ou seja, de recolocar o endereço que fora sorteado de volta na análise para que a mesma seja estatisticamente válida (CORRAR; THEÓPHILO 2011).

O cálculo das amostras foi feito através da Equação 1, indicada para o cálculo de tamanho de amostra para uma população finita, utilizando a proporção da população (CORRAR; THÉOPHILO, 2011):

$$N = \frac{n \cdot z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{e^2(N - 1) + z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}$$

Equação 1

onde: N = tamanho da amostra;

n = tamanho da população finita;

z = valor crítico que corresponde ao grau de confiança desejado;

e = erro máximo admitido;

p = proporção de ocorrência da variável em estudo.

Conforme LEVINE *et al.* (2008) descrevem, quando não temos o valor para a proporção da ocorrência, utilizamos o valor $p = 0,5$ para obtermos um resultado conservador. Caso a proporção seja diferente, o que teremos é apenas um intervalo de confiança reduzido.

O valor crítico para alguns graus de confiança típicos está na Tabela 1:

Tabela 1 - Graus de confiança e valores críticos associados

| Grau de confiança | Valor crítico associado |
|-------------------|-------------------------|
| 90% | 1,6449 |
| 95% | 1,9600 |
| 99% | 2,5758 |

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de (LEVINE *et al.*, 2008)

A medição da área de telhado da amostra foi feita através de imagens de satélite, utilizando aquelas disponibilizadas no Google Maps e um API (*Application Programming Interface*) desenvolvido pelo site DaftLogic (DAFTLOGIC, 2016), que permite o cálculo da área estimada para um polígono, o qual será definido como o Telhado Potencial do endereço sorteado. Abaixo, na Figura 6, segue um exemplo da ferramenta, mostrando a área estimada de Telhado Potencial para o prédio do Ministério de Minas e Energia, em Brasília. A área estimada seria de 1847,25 m².



Output : Current Area

1847.25 m² | 0.00 km² | 0.46 acres | 0.18 hectares | 19883.64 feet² | 0.00 square miles | 0.00 square nautical miles

Figura 6 - Imagens de Satélite e área estimada do telhado.

Fonte: (DAFTLOGIC, 2017)

Uma vez identificado e medido o Telhado Potencial, foi necessário verificar a incidência de algum fator que impossibilite o Potencial Gerador de Energia. Essa etapa foi particularmente importante ao estudo, uma vez que nem todo Telhado Potencial possui Potencial Gerador de Energia. Dentre os fatores inibidores, destacamos os seguintes (Fatores de Telhados Impossibilitados):

1. Telhados com planos inclinados voltados para azimutes Sul, Sudeste e Sudoeste (GAGNON *et al.*, 2016; EPE, 2012);
2. Fontes de sombra muito relevantes que possam reduzir a produção de forma muito significativa, inviabilizando a instalação de painéis solares (GROUMPOS, KHOUZAM, 1986; IZQUIERDO, RODRIGUES, FUEYO, 2008);

3. Telhados com menos de 10 m², que são muito pequenos para receber painéis solares (GAGNON *et al.*, 2016);
4. Endereços comerciais situados no térreo de endereços comerciais e/ou residenciais, que não possuem direito de uso do telhado, impossibilitando a implantação de painéis solares.

Neste trabalho, uma análise qualitativa dos Fatores de Telhados Impossibilitados foi conduzida conjuntamente com a aferição da área de Telhado Potencial, isto é, se fosse verificada a existência de um ou mais Fatores de Telhados Impossibilitados em um determinado Telhado Potencial, ele seria considerado impossibilitado de receber um painel solar (Telhado Impossibilitado). O resultado final desta análise foi um percentual de Telhados Impossibilitados, que foi, posteriormente, aplicado à metragem quadrada total auferida na amostragem, para transformar a medida de m² total em m² disponível (Área Disponível).

A análise das fontes de sombra foi conduzida de forma empírica: cada endereço era analisado tanto para a identificação da direção de potenciais fatores de sombreamento, quanto utilizando a visão da rua dos endereços analisados para identificação visual das potenciais fontes de sombra relevantes. Este ponto, inclusive, foi chave para aumentar o número de telhados analisados, visto que endereços sem vista da rua somente foram considerados na amostra se não tivessem nenhuma fonte de sombra ao redor nas imagens de satélite (ou seja, se fossem visivelmente isolados de outros prédios, construções ou quaisquer outros tipos de fonte de sombra como árvores de maior porte).

As Figuras 7 e 8 mostram dois exemplos de endereços que seriam incluídos como Telhados Impossibilitados:



Figura 7 - Exemplo de endereço comercial sem acesso ao telhado.

Fonte: (GOOGLE, 2017)

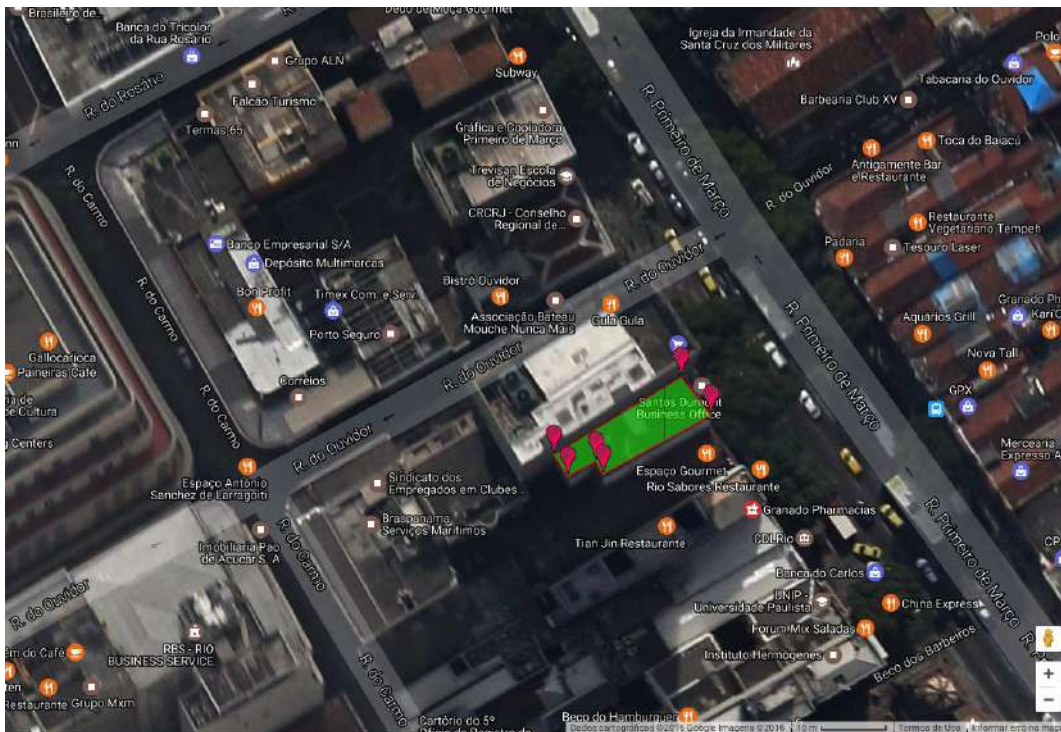


Figura 8 - Exemplo de telhado com grande fonte de sombra inviabilizando o projeto.

Fonte: (DAFTLOGIC, 2017)

O resultado dessa amostragem foi a obtenção de uma área média para cada Unidade de Estabelecimento dos setores estudados, além de um fator percentual de Telhados

Impossibilitados de receber as plantas solares. Partindo do número total de Unidades de Estabelecimentos de cada setor, chegamos às equações abaixo, que ilustram o resultado final da amostragem.

$$A_{média,j} \cdot N_j = A_{total,j}$$

Equação 2

$$A_{total,j} \cdot (1 - f_j) = A_{disponível,j}$$

Equação 3

onde: $A_{média,j}$ = área média do telhado do setor j, em m²;

N_j = número de endereços do setor j;

$A_{total,j}$ = área total auferida para o setor j, em m²;

f_j = fator percentual de telhados impossibilitados para o setor j;

$A_{disponível,j}$ = área disponível de telhados para o setor j, em m²;

j = setor estudado.

3.4 CONVERSÃO DE ÁREA DISPONÍVEL EM POTÊNCIA INSTALADA

Uma vez que a amostragem anterior forneceu a medida da Área Disponível para cada setor estudado, o passo seguinte foi calcular, com base na Área Disponível, a potência dos painéis solares nela instalados (Potência Instalada).

Por conta de diferenças de metodologias e tipologias de prédios, diversos autores obtiveram resultados bastante distintos sobre qual seria a porcentagem da Área Disponível de um telhado que conseguiria, de fato, receber painéis solares (WIGINTON, NGUYEN, PEARCE, 2010). Esses estudos levam em consideração tanto acidentes naturais dos telhados, tais quais caixas d'água, respiradores, grelhas de respiração e chaminés, como também um fator que corrige as áreas caso os telhados sejam planos.

Neste estudo, a etapa de amostragem já desconsiderou os prédios com Fatores de Telhados Impossibilitados, assim como foi feito no estudo de LEHMANN, PETER (2003), cuja metodologia calculava uma fração do telhado efetivamente disponível para prédios e/ou segmentos de prédios que já haviam sido designados como apropriados para receber painéis solares. Embora o fator apresentado por LEHMANN, PETER (2003) seja bastante elevado, adotamos seu estudo como

referência, pois, além de desconsiderar os Telhados Impossibilitados, incorpora possíveis ganhos de utilização em telhados planos – a instalação dos painéis com inclinação permite uma utilização otimizada do espaço, afetando a potência que pode ser instalada por m².

Os números deste estudo são similares aos obtidos em GAGNON *et al.* (2016), que fazem distinção entre o fator utilizado para telhados retos e telhados inclinados.

A equação que sumariza esta etapa está abaixo:

$$A_{disponível,j} \cdot F_{Lehmann} = A_{útil,j}$$

Equação 4

onde: $A_{disponível,j}$ = área disponível de telhados para o setor j, em m²;

$F_{Lehmann}$ = fração da área útil com painéis solares;

$A_{útil,j}$ = área útil total de painéis solares para o setor j, em m²;

j = setor estudado.

Obtida a área total de painéis solares, a próxima informação necessária para o cálculo da Potência Instalada estimada é a densidade dos módulos, que é, basicamente, uma conversão de área do painel solar em Potência Instalada (Densidade de Módulo). Para a obtenção da Densidade de Módulo, a principal informação necessária é a eficiência dos painéis fotovoltaicos.

O Laboratório Nacional de Energia Renovável Norte-Americano (*National Renewable Energy Laboratory* – NREL) faz um acompanhamento detalhado da evolução da eficiência das células fotovoltaicas em escala de laboratório (NREL, 2016a). A Figura 9 ilustra a diferença entre a eficiência das células de laboratório com os painéis, também em escala laboratorial, mostrando eficiências máximas obtidas para diferentes tecnologias.

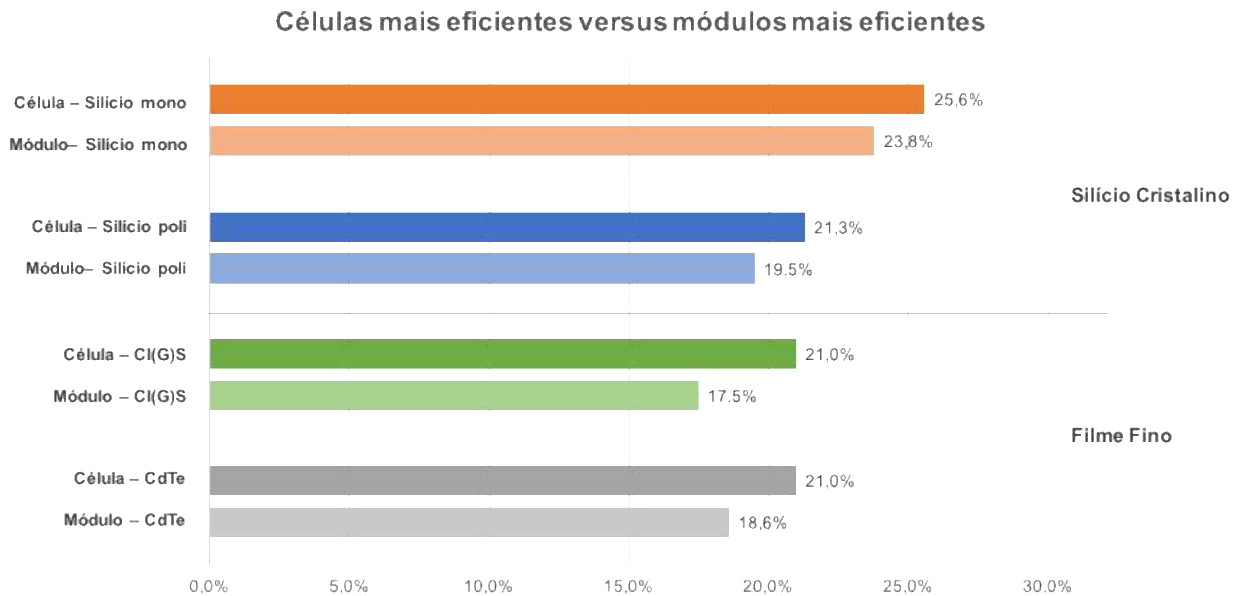


Figura 9 - Comparação da eficiência entre células e módulos fotovoltaicos.

Fonte: Adaptado de (FRAUNHOFER ISE, 2016)

Para cálculo de Potencial Técnico, definido adiante, precisa-se utilizar uma média da eficiência de sistemas fotovoltaicos comerciais. BARBOSE e DARGHOUTH (2015) indicaram uma referência de instalação de sistemas fotovoltaicos nos Estados Unidos com uma eficiência de cerca de 16%, resultando em uma Densidade de Módulo aproximada de 160Wp/m². Já estudo de FRAUNHOFER ISE (2016) indica uma média de mercado para os painéis comerciais de silício (que representaram, em 2015, cerca de 93% da produção mundial de painéis) de cerca de 17% de eficiência, que resulta em uma Densidade de Módulo de aproximadamente 170Wp/m².

Além disso, outro resultado importante da conversão da Área Disponível para Potência Instalada foi o cálculo da potência média por telhado, que foi utilizada como principal informação para as referências de investimento, no item 3.6.3.

Assim, partindo da área de painéis solares e utilizando a Densidade de Módulo escolhida, teremos as seguintes equações resumindo esta etapa e seus principais resultados:

$$A_{\text{útil},j} \cdot D_{\text{painel}} = Pot_j$$

Equação 5

$$Pot_j \cdot \frac{N_{j,i}}{N_j} = Pot_{j,i}$$

Equação 6

$$Pot_{\text{média},j} = A_{\text{média},j} \cdot D_{\text{painel}} \cdot F_{\text{Lehmann}}$$

Equação 7

onde: $A_{\text{útil},j}$ = área útil total de painéis solares para o setor j;
 D_{painel} = densidade de painel escolhida, em Wp/m²;
 Pot_j = Potência Instalada estimada para o setor j, em Wp;
 $Pot_{\text{média},j}$ = potência média, por telhado, no setor j, em Wp;
 $N_{j,i}$ = número de unidades do setor j na área de concessão da distribuidora i;
 j = setor estudado;
 i = distribuidora de energia elétrica estudada (a divisão será explicada na seção 3.5.1).

3.5 POTÊNCIA INSTALADA E CONVERSÃO PARA ENERGIA GERADA

A partir da Potência Instalada por setor, o passo seguinte foi auferir o Potencial Técnico, definido adiante estimado através do cálculo da geração para cada setor. As equações abaixo explicam os cálculos que foram realizados nessa etapa, com suas principais variáveis sendo analisadas nos itens 3.5.1 a 3.5.3.

$$A_{\text{útil},j} \cdot \frac{N_{j,i}}{N_j} = A_{\text{útil } j,i}$$

Equação 8

$$A_{\text{útil } j,i} \cdot \eta_{\text{painel}} \cdot PR \cdot Rad_{\text{latitude } i} \cdot 365 = E_{j,i}^0$$

Equação 9

onde: $A_{\text{útil } j,i}$ = área instalada estimada para o setor j na distribuidora i, em m²;
 η_{painel} = eficiência de conversão do painel fotovoltaico;
 PR = *performance ratio* ou fator de performance da planta;

Rad_{lat} = radiação incidente sobre superfície inclinada em ângulo igual à latitude local, e voltada para o Equador, em kWh/m²/dia, para a distribuidora i estudada;

$E_{j,i}^0$ = energia gerada no 1º ano de funcionamento das plantas solares.

j = setor estudado;

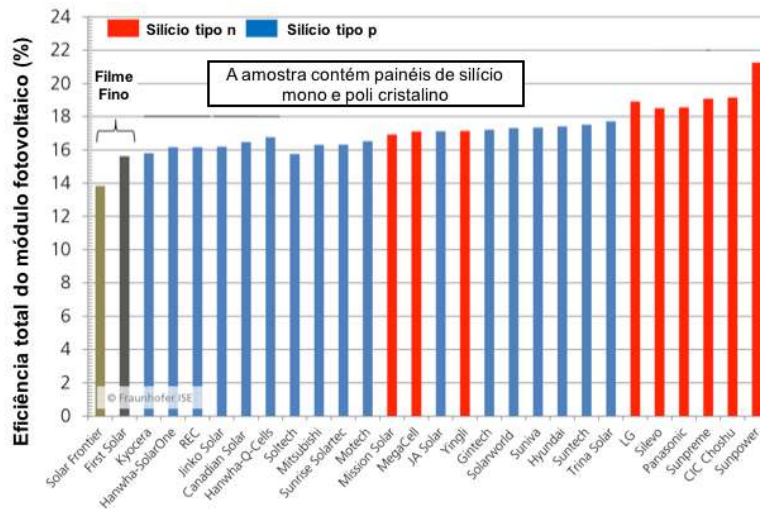
i = distribuidora de energia estudada.

O resultado final desta etapa foi a estimativa da geração de energia elétrica para o primeiro ano das plantas solares, indicando do Potencial Técnico estimado para os setores estudados.

3.5.1 EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO DO PAINEL FOTOVOLTAICO

Conforme descrito no item 3.4 acima, há diversas referências sobre a eficiência dos painéis fotovoltaicos utilizados em larga escala. Para o cálculo descrito nessa etapa, a mesma eficiência considerada no cálculo da Densidade de Módulos foi usada, de forma a manter a coerência da análise.

De forma ilustrativa, a Figura 10 mostra uma pesquisa feita pelo instituto Fraunhofer ISE (FRAUNHOFER ISE, 2016), com dados de 2015, que mostra a eficiência de alguns módulos fotovoltaicos da produção comercial corrente, com suas principais características, fabricantes e eficiência.



Nota: Estudo não-exaustivo, e baseado em módulos de maior eficiência e produzidos por empresas integradas verticalmente na produção de células e módulos fotovoltaicos. Gráfico elaborado por Jochen Bentsch, Fraunhofer ISE. Fonte: Folhas de dados das companhias. Atualizado em novembro de 2015.

Figura 10 - Gráfico com exemplos de painéis e suas eficiências.

Fonte: Adaptado pelo autor de (FRAUNHOFER ISE, 2016)

3.5.2 PERFORMANCE RATIO

O *performance ratio* (PR) é definido pela IEC (*International Electrotechnical Commission*), através de seu padrão IEC61724, como uma medida da eficiência com que uma planta solar converte a radiação solar, coletada pelos módulos, em eletricidade, quando comparada com a eficiência nominal dos módulos (MARION *et al.*, 2005).

Como o PR é uma medida independente da radiação do local, e, por conseguinte, do lugar de instalação e da orientação da instalação dos painéis, ele é uma medida muito interessante para comparar grandes quantidades de sistemas similares em locais distintos (VAN SARK *et al.*, 2012).

O PR pode ser influenciado por diversos fatores, dentre os quais pode-se destacar (MARION *et al.*, 2005; VAN SARK *et al.*, 2012; SMA, 2011; DIERAUF *et al.*, 2013, TOLMASQUIM *et al.*, 2016):

- Temperatura de operação do sistema fotovoltaico (a temperatura é o aspecto de maior influência no *performance ratio* de uma planta, podendo ocasionar variações de até $\pm 10\%$ de acordo com as variações de temperatura nas estações do ano);
- Dissipação da radiação;
- Sombreamento;
- Sujeiras nos painéis;
- Perdas ôhmicas;
- Eficiência dos inversores de frequência;
- Falhas do sistema;
- Falhas dos demais componentes;
- Descasamento (*mismatch*) entre módulos de mesmo modelo (diferenças entre as suas potências máximas);
- Eficiência do seguidor de ponto de máxima potência.

Sistemas instalados recentemente tendem a ter um *performance ratio* entre 0,6 e 0,9 (DIERAUF *et al.*, 2013). Sistemas instalados na Alemanha, por exemplo, possuem um *performance ratio* na casa dos 0,9 de forma consistente (VAN SARK *et al.*, 2012; FRAUNHOFER ISE, 2016). Em TOLMASQUIM *et al.* (2016), se faz referência a um *performance ratio* de 0,75 para sistemas no Brasil.

No caso da metodologia proposta, o uso de um *performance ratio* permitiu uma análise padronizada e conservadora, realizando uma média dos projetos potenciais, que poderiam ser mais ou menos eficientes de acordo com as características de cada local de instalação e de cada tipologia de prédio.

3.5.3 DADOS DE RECURSO SOLAR

De acordo o Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA *et al*, 2006), os valores de irradiação solar global incidente no território brasileiro são superiores ao da maioria dos países da União Europeia. Os valores máximos de irradiação solar são observados a oeste da região Nordeste, incluindo, parcialmente, o norte de Minas Gerais, o nordeste de Goiás e o sul de Tocantins.

Existem diversos dados de radiação disponíveis para acesso, que utilizam diferentes modelos climáticos nas análises (MIRANDA, 2013). No Brasil, dentre os trabalhos mais recentes de avaliação da radiação solar, destacam-se (i) o Atlas Solarimétrico do Brasil, iniciativa da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE e da Companhia Hidroelétrica do São Francisco – CHESF, em parceria com o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito – CRESESB, (ii) o Atlas de Irradiação Solar no Brasil, elaborado pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e pelo Laboratório de Energia Solar – LABSOLAR, da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, e, com maior destaque, (iii) o modelo desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em conjunto com o LABSOLAR (ANEEL, 2005; MARTINS *et al.*, 2005), no âmbito do projeto SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*), projeto financiado pelo programa de Meio Ambiente das Nações Unidas (UNEP) (Modelo INPE/LABSOLAR).

O Modelo INPE/LABSOLAR foi desenvolvido em duas definições, com uma malha de 40km e outra de 10km. O modelo combina a utilização de um arquétipo utilizado primeiramente na Alemanha e depois adaptado e refinado para o Brasil (RENNE *et al.*, 2005).

O resultado desses diversos modelos apresenta boas correlações, como mostrado por MIRANDA (2013), conforme a Tabela 2:

Tabela 2 - Diferentes dados de radiação global para o Brasil.

| Origem Dado (kWh/m ² /ano) Município | INPE/LAB SOLAR (40x40km) | INPE/LAB SOLAR (10x10km) | INPE/LAB SOLAR (20 cidades) | INPE AS (40x40km) | NREL (40x40km) | NREL AS (40x40km) | NASA (100x 100km) | △ Maior e Menor |
|---|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|----------------------|--------------------|
| Belém | 1905,3 | 1905,3 | 1915,8 | 1934,5 | 1795,8 | 1798,36 | 1843,25 | 7,2% |
| Belo Horizonte | 1912,6 | 1941,8 | 1856,4 | 1898 | 1887,05 | 1887,05 | 1883,4 | 4,4% |
| Boa Vista | 1865,15 | 1876,1 | 1921,9 | 1952,75 | 1806,75 | 1806,75 | 1825 | 7,5% |
| Brasília | 2029,4 | 2029,4 | 1962,6 | 2000,2 | 1927,2 | 1929,76 | 1949,1 | 5,0% |
| Campo Grande | 2018,45 | 2011,15 | 1927,8 | 1974,65 | 1894,35 | 1897,27 | 1861,5 | 7,8% |
| Cuiabá | 1941,8 | 1938,15 | 1948,7 | 1967,35 | 1945,45 | 1946,91 | 1846,9 | 6,1% |
| Curitiba | 1627,9 | 1682,65 | 1520,9 | 1609,65 | 1653,45 | 1653,45 | 1573,15 | 9,6% |
| Florianópolis | 1682,65 | 1675,35 | 1647,2 | 1686,3 | 1646,15 | 1649,44 | 1474,6 | 12,6% |
| Fortaleza | 1945,45 | 1952,75 | 2009,9 | 2073,2 | 1934,5 | 1935,23 | 2131,6 | 9,2% |
| Manaus | 1806,75 | 1810,4 | 1743,3 | 1901,65 | 1872,45 | 1874,64 | 1689,95 | 11,1% |
| Porto Velho | 1846,9 | 1835,95 | 1859,8 | 1887,05 | 1784,85 | 1785,95 | 1733,75 | 8,1% |
| Recife | 1868,8 | 1865,15 | 1966 | 2022,1 | 1879,75 | 1882,31 | 2149,85 | 13,2% |
| Rio de Janeiro | 1839,6 | 1872,45 | 1843,3 | 1799,45 | 1788,5 | 1789,6 | 1638,85 | 12,5% |
| Salvador | 1923,55 | 1919,9 | 1926,3 | 1945,45 | 1832,3 | 1832,3 | 1792,15 | 7,9% |
| São Paulo | 1638,85 | 1686,3 | 1678,6 | 1730,1 | 1649,8 | 1651,26 | 1693,6 | 5,3% |

Fonte: Elaboração própria a partir de (MIRANDA, 2013)

Para os cálculos de geração do modelo utilizado, de acordo com diversas referências (DE SOUSA, NERYS, 2012; LANGE, 2012; EPE, 2012; MIRANDA, 2013; PINHO *et al.*, 2014; TOLMASQUIM *et al.*, 2016) a orientação típica utilizada para estimativas é a mesma ou próxima da latitude do local, voltados para o Norte para instalações no hemisfério Sul. Nas palavras de PINHO *et al.* (2014, p.90), “Como avaliação anual da disponibilidade de irradiação solar é mais valido observar a irradiação média sobre um plano com inclinação igual à latitude e voltado para o Equador”.

Dessa forma, a informação do estudo do Modelo INPE/LABSOLAR para a irradiação média no plano com inclinação igual ao da latitude do ponto é uma informação interessante e que permite avaliar a geração de sistemas hipotéticos, que terão sua orientação estimada para este plano de inclinação equivalente à da latitude do ponto. A Figura 11 ilustra esta informação.

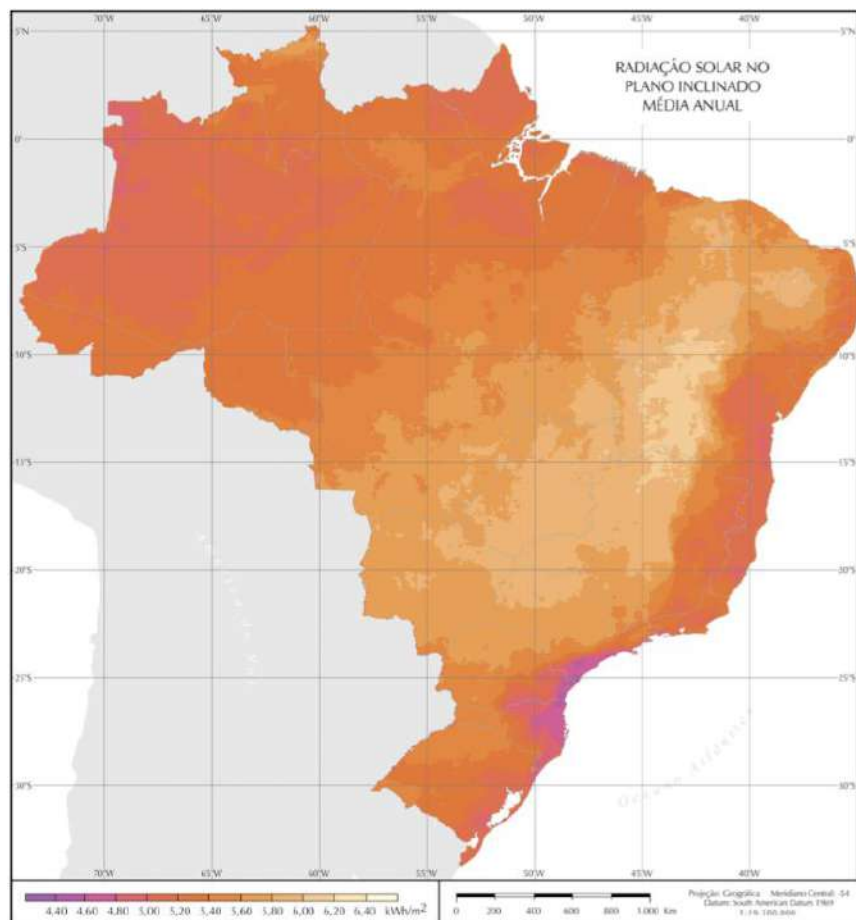


Figura 11 - Radiação Solar no Plano Inclinado - Média Anual.

Fonte: (PEREIRA et al., 2006)

Utilizando como dado de entrada a radiação no plano inclinado, podemos ter uma estimativa confiável, uma vez que a instalação dos sistemas com essas características tende a demonstrar resultados verossímeis.

Para o modelo adotado, foi necessário definir qual dado de radiação seria utilizado para cada área atendida por cada distribuidora. A metodologia adotada foi a de utilizar, como referência para cada distribuidora, o município, dentro de sua área de concessão, com o maior número de consumidores, conforme informações do SIGEL (SIGEL, 2016). A relação das distribuidoras com os respectivos municípios de referência está apresentada no Capítulo 4 a seguir.

3.6 CÁLCULO DO CUSTO NIVELADO DE ELETRICIDADE

A partir do cálculo do Potencial Técnico, o próximo passo da nossa metodologia destinou-se a calcular o potencial econômico de nosso estudo. Para isso, utilizamos o método do cálculo do custo nivelado de eletricidade (no inglês *Levelized Cost Of Electricity* – LCOE), que permite a comparação entre plantas de diferentes estruturas de custos e tecnologias (KOST *et al.*, 2013).

O LCOE é uma figura de mérito, que engloba os principais pontos que precisam ser remunerados em uma planta de energia elétrica, incluindo, mas não se limitando, ao investimento, todos os custos de operação, pagamento da dívida e retorno sobre o capital investido (NAKABAYASHI, 2015). O resultado do LCOE é um valor em Reais (R\$) por energia (kWh) produzida, que faz com que o valor presente do investimento em geração seja igual a zero, para uma dada taxa de desconto. Ou seja, ele representa a tarifa mínima que remunera o investimento em geração.

Esse indicador permite que comparar o custo da geração solar estimada com as tarifas de energia praticadas pelas distribuidoras para o setor comercial, de modo a avaliar a viabilidade econômica do sistema: quando o LCOE for inferior às tarifas da distribuidora, o sistema solar é economicamente viável (MIRANDA, 2013).

A fórmula do cálculo do LCOE (KOST *et al.*, 2013) segue na Equação 10, e algumas das suas variáveis serão estudadas em maiores detalhes nos itens 3.6.1 a 3.6.4.

$$LCOE_{j,i} = \frac{I_{j,i} + \sum_{t=0}^n \frac{C_{j,i}^{O\&M}}{(1+TD)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{E_{j,i}^n}{(1+TD)^t}}$$

Equação 10

$$E_{j,i}^n = E_{j,i}^0 \cdot (1 - d_{painei})^n$$

Equação 11

onde: $I_{j,i}$ = Investimento, em reais, para instalação do potencial solar do setor j na área de concessão da distribuidora i;

$C_{j,i}^{O\&M}$ = custo estimado de operação da Potência Instalada no setor j, na área de concessão da distribuidora i;

TD = taxa de desconto real em %;

$E_{j,i}^n$ = energia gerada no ano n de funcionamento das plantas solares.

d_{panel} = fator de degradação anual do painel fotovoltaico, em %;

j = setor estudado;

i = distribuidora de energia estudada.

Como resultado da Equação 10, tivemos um valor da energia gerada para cada setor, por distribuidora, indicando o preço potencial da energia gerada ao longo da vida útil da planta. A seção item 3.8 descreve como foi feita a comparação do LCOE com as tarifas de energia elétrica vigentes.

3.6.1 OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO – CUSTOS E VIDA ÚTIL

Dois pontos essenciais no cálculo do LCOE são (i) os custos de O&M associados à planta, e (ii) a vida útil da planta. Uma revisão na literatura fornece diversos valores para essas duas métricas, conforme relatado na Tabela 3.

Tabela 3 - Estimativas de O&M.

| Estudos | Estimativa dos custos de O&M | Vida útil (anos) |
|---------------------------------|---|-------------------------|
| NREL, 2016b | \$19-\$21/kWp instalado | 25 a 40 |
| NREL, 2016c | \$19-\$21/kWp instalado | 33 |
| TOLMASQUIM <i>et al.</i> , 2016 | 1% do investimento inicial ao ano | 20 a 25 |
| FRAUNHOFER ISE, 2016 | - | 20 |
| NAKABAYASHI, 2015 | 1% do investimento inicial ao ano | 25 |
| LUZ, LIMA, 2014 | 3% do investimento inicial ao ano | 20 a 25 |
| DE SOUSA, NERYS, 2012 | 1% do investimento inicial ao ano | 30 |
| EPE, 2012 | 1% do investimento inicial ao ano | 20 |
| MEDEIROS, 2012 | 1% do investimento inicial ao ano | 20 |
| ICF International, 2010 | \$20/kWp instalado | 25 |
| ENBAR, 2010 | 1 a 2% do investimento inicial ao ano | - |
| RODRÍGUEZ, 2002 | 1% do investimento inicial ao ano | 20 |

Fonte: Elaboração Própria.

3.6.2 DEGRADAÇÃO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Os grandes fabricantes de painéis fotovoltaicos costumam indicar, em suas garantias, vida útil de 25 anos para os painéis, garantindo cerca de 80% da eficiência nominal original dos módulos ao fim do período citado (TOLMASQUIN *et al.*, 2016). Apesar de existirem diversas referências relativas ao fator de degradação, que deveria ser utilizado em estudos de viabilidade de plantas solares (NAKABAYASHI, 2015; EPE, 2012; ICF International, 2010), um estudo recente de JORDAN e KURTZ (2012) coletou informações de mais de 2.000 sistemas fotovoltaicos, ao longo dos últimos 40 anos, com um resultado mediano de 0,5% ao ano como redução – esses resultados estão bem alinhados com os outros estudos citados e, muitas vezes, são tomados como uma referência da indústria.

A Figura 12, retirada de uma folha de dados de um fabricante de painéis (YINGLI, 2016), ilustra o processo de degradação. Vale notar que o fabricante mencionado oferece uma garantia de que, ao fim da vida útil do módulo, o mesmo ainda produziria cerca de 80% da energia original, sendo esse um fator anual maior do que os 0,5% obtidos na amostra de JORDAN e KURTZ (2012) (YINGLI, 2016).



Figura 12- Garantia de Performance do Painel YGE 60 células Série 2.

Fonte: (YINGLI, 2016)

3.6.3 CUSTO DE INVESTIMENTO

O custo do sistema fotovoltaico é uma variável chave no estudo da viabilidade da geração distribuída. Os custos dos sistemas têm caído de forma sistemática, chegando a cair a um centésimo do preço que era praticado em 1950 (TOLMASQUIM *et al.*, 2016). A curva de aprendizado do setor, que mostra o preço dos painéis fotovoltaicos vis-à-vis a capacidade de produção dos mesmos, indicando que a cada vez que a produção dobra, os custos caem cerca de 23% (FRAUNHOFER ISE, 2016). Como o custo dos painéis são parte extremamente relevante do investimento (até cerca de 60%) (MIRANDA, 2013), a curva de aprendizado mostra o potencial de redução ainda existente com a expansão global da tecnologia, conforme a Figura 13.

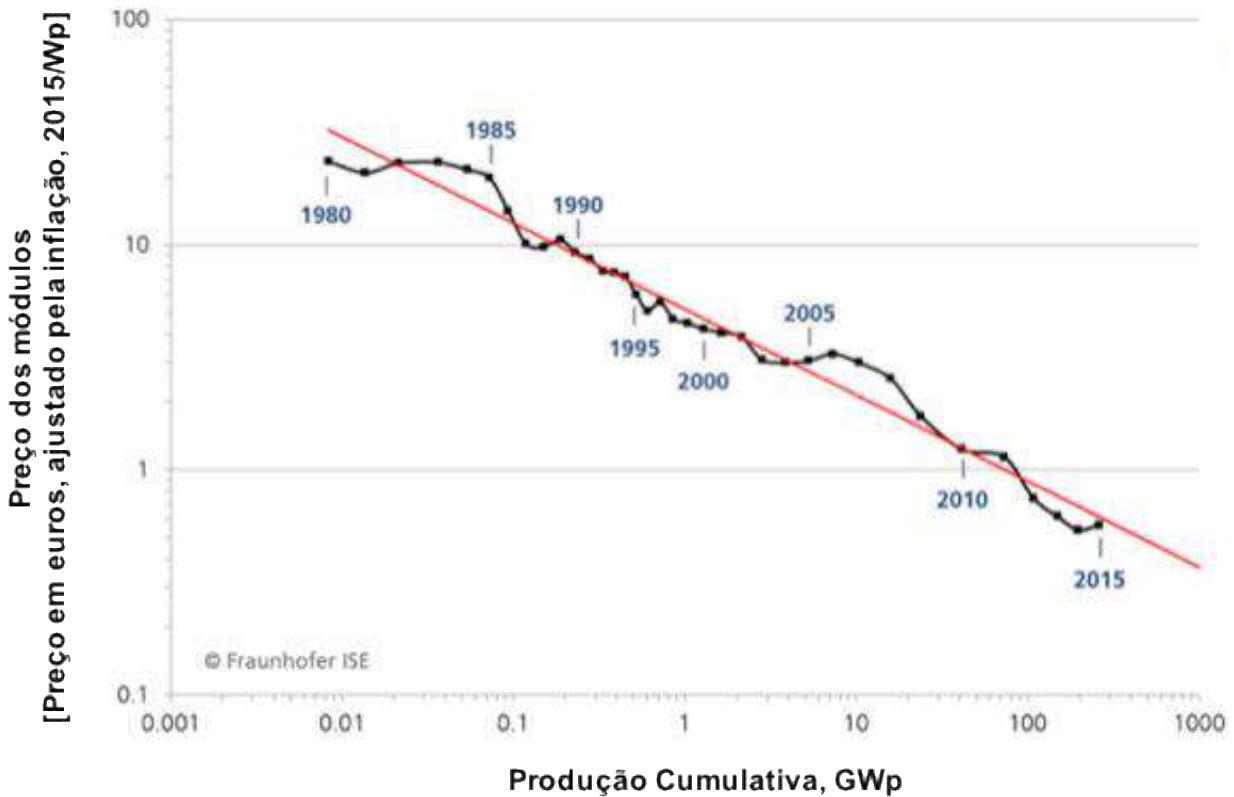


Figura 13 - Curva de Aprendizado do setor.
Fonte: Adaptado de (FRAUNHOFER ISE, 2016)

As referências internacionais de preços dos sistemas completos vêm caindo sistematicamente (FRANKFURT SCHOOL-UNEP CENTRE/BNEF, 2016; FRAUNHOFER ISE, 2016; MIRANDA, 2013; FU *et al.*, 2016) e têm forte relação com o tamanho das plantas – como esperado, o ganho de escala das plantas maiores faz com que elas tenham grandes ganhos de competitividade no CapEx² por *watt* instalado (FU *et al.*, 2016; INSTITUTO IDEAL, 2016). As Figuras 14, 15 e 16 ilustram esse efeito – a queda do custo dos sistemas ao longo dos últimos anos (com quedas que chegam a mais de 58% em um intervalo de 6 anos).

² O CapEx é utilizado neste caso como uma forma de se referir ao investimento necessário para a construção da planta solar.

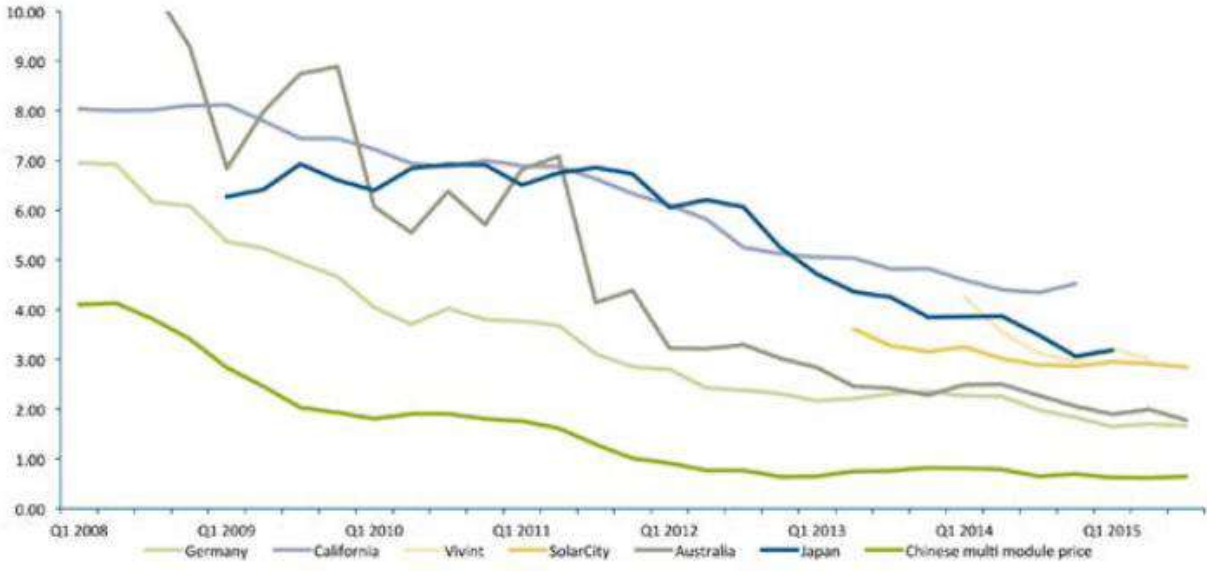


Figura 14 - CapEx público para plantas solares residenciais (\$/kWp).
 Fonte: (FRANKFURT SCHOOL-UNEP CENTRE/BNEF, 2016)

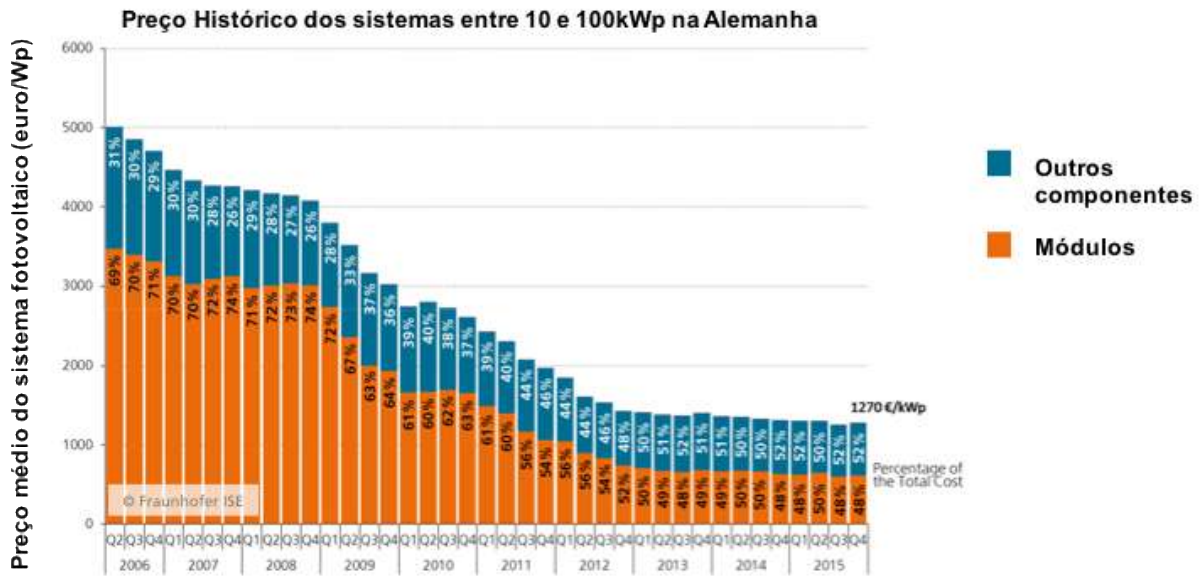


Figura 15 - Preço dos sistemas *rooftop* (instalados nos telhados de prédios) na Alemanha.
 Fonte: Adaptado de (FRAUNHOFER ISE, 2016)

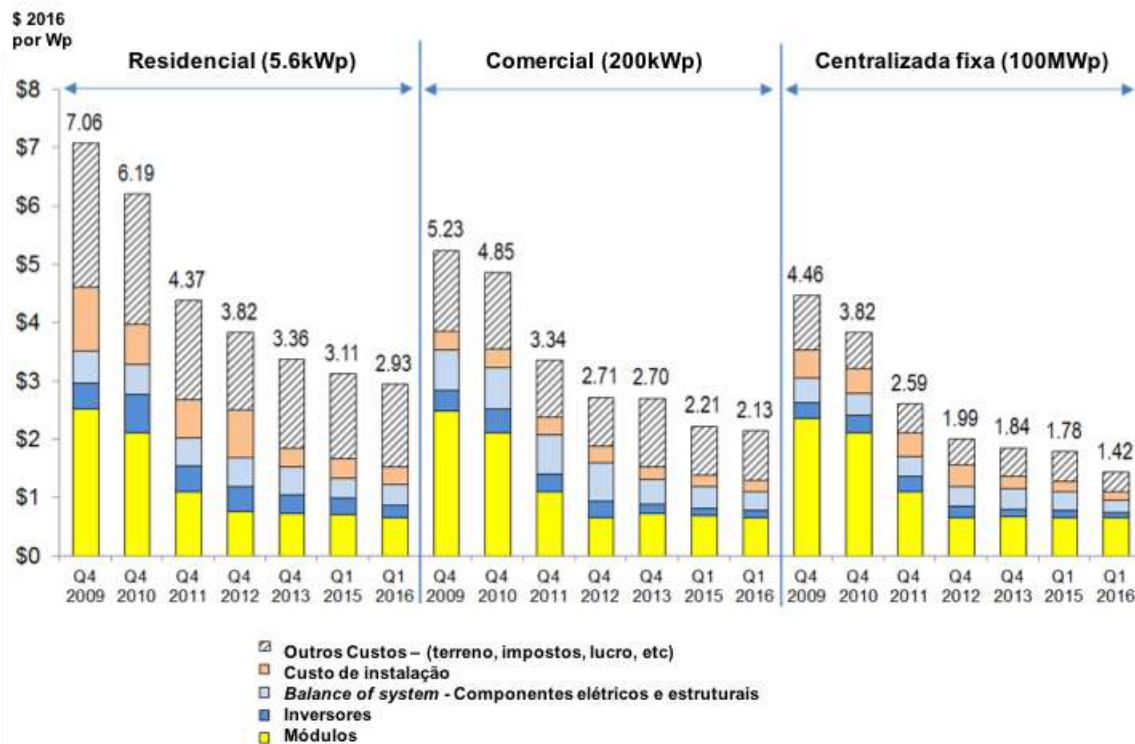


Figura 16 - Benchmark dos preços de sistemas fotovoltaicos nos EUA.

Fonte: Adaptado de (FU et al., 2016)

Como era esperado, os custos de instalação mostrados acima relatam também uma grande variação de preços relativa aos locais de instalação, configuração dos sistemas, preços locais e tributos, por exemplo.

No Brasil, além da variação de preços, ainda podemos observar que, por ainda se tratar de um mercado em estágio inicial de desenvolvimento, a variabilidade dos preços praticados ainda é muito grande. Em uma pesquisa do Instituto Ideal (INSTITUTO IDEAL, 2016), os preços relatados para a instalação de sistemas de até 5 kWp apresentou uma variação de respostas, que flutuaram desde uma faixa de 1,00 a 1,90 R\$/Wp instalado até impressionantes 15,00 R\$/Wp.

Apesar da grande variação nas respostas extremas, a pesquisa conduzida pelo Instituto Ideal mostra um panorama interessante dos preços praticados por instaladores, por empresas fabricantes de módulos e por inversores para o mercado de geração distribuída, tema deste trabalho, conforme a Figura 17.

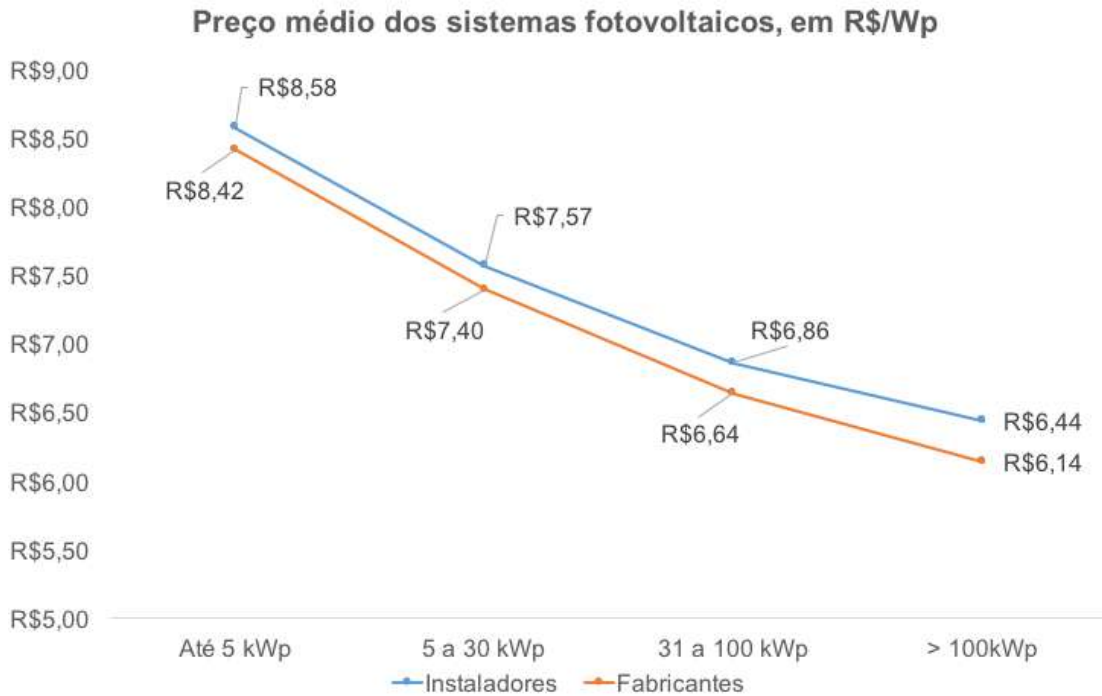


Figura 17 - Preços de Sistemas FV em 2015.
Fonte: Adaptado de (INSTITUTO IDEAL, 2016)

A pesquisa aponta para preços na casa de R\$ 6,44/Wp para sistemas com mais de 100kWp instalados – se comparado com sistemas similares nos EUA, por exemplo, com a taxa de câmbio estimada em R\$ 3,50/US\$, teríamos o preço brasileiro estimado em US\$ 1,84/Wp – cerca de US\$ 0,30, ou cerca de 13%, mais barato que o preço reportado para sistemas comerciais nos EUA, de US\$ 2,13/Wp (FU *et al.*, 2016).

Para efeitos da metodologia proposta, a abordagem assumida neste trabalho foi de usar referências de valor instalado por kWp instalado, de acordo com o tamanho da planta média estimada para cada setor. Dessa forma, será utilizada a área média de cada setor ($A_{média,j}$) e a Densidade do Módulo assumida (conforme o descrito no Capítulo 3.4) para definir o investimento utilizado em cada setor estudado.

3.6.4 TAXA DE DESCONTO

A escolha da taxa de desconto é uma parte muito importante do cálculo do LCOE. A taxa de desconto deve refletir a produtividade do capital, isto é, como o capital aplicado pode gerar investimentos produtivos, aumentando o capital investido (Taxa de Desconto).

A Taxa de Desconto representa, portanto, o custo de oportunidade do capital investido. Um exemplo metafórico e ilustrativo é pensar da seguinte forma: se uma pessoa estivesse em uma ilha deserta com R\$ 100,00, qualquer taxa de retorno acima de 0% seria aceitável, uma vez que, não havendo nenhum tipo de investimento disponível, qualquer retorno é considerado interessante (DE NEUFVILLE, 2016).

O LCOE é extremamente sensível à definição de Taxa de Desconto, que, em geral, é refletida pelo custo médio ponderado de capital (medida que leva em consideração o custo de capital próprio e de terceiros), o qual, por sua vez, reflete o risco associado ao investimento. Por isso, definir a Taxa de Desconto é um dos maiores desafios enfrentados para estimativas de LCOE em projetos energéticos, dificuldade esta agravada, ainda, pela dificuldade das taxas de desconto teóricas de refletirem a dinâmica de evolução dos custos das tecnologias de geração (DE VISSER, HELD, 2014).

A EPE publicou Nota Técnica, em 2013 (EPE, 2013), que explica as metodologias sugeridas para o cálculo da Taxa de Desconto utilizada na avaliação das alternativas de expansão do sistema de energia elétrica, apresentando diversos *benchmarks* de Taxas de Desconto assumidas por diversas pesquisas e países. A Tabela 4 mostra as Taxas de Desconto reais indicadas por EPE (2013) para vários países e o valor utilizado para o Brasil na última publicação do Plano Decenal de Energia (PDE) (EPE, 2015).

Tabela 4 - Exemplos de taxas de desconto em diversos estudos.

| Local | Tipo de taxa | Taxa (%, termos reais) |
|---------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| União Europeia (EPE,2013) | Planejamento Elétrico de Longo Prazo | 8 |
| África do Sul (EPE, 2013) | Planejamento Elétrico de Longo Prazo | 8 |
| Austrália (EPE,2013) | Planejamento Elétrico de Longo Prazo | 10 |
| Índia (EPE, 2013) | Planejamento Elétrico de Longo Prazo | 9 |

| | | |
|--|--|-----------------|
| Inglaterra (<i>Green Book, 2003</i>) | Análise de custo-benefício para políticas públicas | 3,5 |
| Europa (<i>European Commission, 2006</i>) | Análise de custo-benefício para políticas públicas | Entre 3,5 e 5,5 |
| Chile (<i>Ministerio de Desarrollo Social, 2012</i>) | Análise de custo-benefício para políticas públicas | 6 |
| Austrália (<i>Department of Finance, 2007</i>) | Análise de custo-benefício para políticas públicas | 7 |
| China (<i>Zhuang et al., 2007</i>) | Análise de custo-benefício para políticas públicas | 12 |
| Brasil (EPE, 2013) | Planejamento Elétrico de Longo Prazo | 8 |
| Brasil (PDE – EPE, 2015) | Planejamento Elétrico de Longo Prazo | 8 |

Fonte: Elaboração Própria.

Em suma, a escolha da Taxa de Desconto do modelo tem um impacto bastante significativo no cálculo do LCOE, mas é um atributo arbitrário do modelo e sempre pode ser uma fragilidade de um modelo de avaliação (EPE, 2013; DE VISSER, HELD, 2014).

3.7 DISTRIBUIDORAS E ÁREAS DE CONCESSÃO

Para que fosse feita uma análise detalhada, permitindo a comparação do LCOE calculado com as tarifas praticadas no mercado brasileiro atual, foi essencial dividir os setores estudados segundo sua localidade e a respectiva distribuidora de energia.

A metodologia utilizada para essa etapa consistiu em, através de dados do SIGEL (SIGEL, 2016), retirar uma lista que correlacionasse todos os municípios do Brasil com suas distribuidoras, assim como com dados sobre o número de consumidores, no setor de serviços e comercial, de cada município. Assim, foi possível obter uma lista com não somente as distribuidoras e seus municípios, mas também uma relação do número de consumidores do setor de serviços e comercial em cada município, dado este que foi utilizado, conforme detalhado posteriormente, na definição do dado de radiação solar utilizado para cada grupo de estudo.

Também seguindo os dados do SIGEL (SIGEL, 2016), a ANEEL agrupa diversos grupos de pequenas cooperativas dos estados de SP, SC e RS em grupos identificados como SP_COOPERATIVA, SC_COOPERATIVA e RS_COOPERATIVA, respectivamente. A Tabela 5

indica todas as 66 distribuidoras e/ou grupos que farão parte do estudo, assim como o número de municípios atendido por cada grupo. Apenas como forma de homogeneização dos dados, o número total de municípios foi checado contra dados do IBGE (IBGE, 2016), que confirmaram que a base de dados do SIGEL continha todos os municípios correlacionados com suas distribuidoras.

Tabela 5 - Distribuidoras e Grupos Considerados no Estudo e número de municípios atendidos.

| Distribuidoras | Sigla | Nº de Municípios |
|--|-------------------|-------------------------|
| AES SUL Distribuidora Gaúcha de Energia S/A | AES Sul | 124 |
| Amazonas Distribuidora de Energia S/A | Amazonas Energia | 62 |
| AMPLA Energia e Serviços S/A | Ampla | 63 |
| Bandeirante Energia S/A | Bandeirante | 27 |
| Boa Vista Energia S/A. | Boa Vista Energia | 1 |
| Caiuá Serviços de Eletricidade S/A | Caiuá-D | 24 |
| Centrais Elétricas de Carazinho S/A. | Eletrocar | 7 |
| Centrais Elétricas de Rondônia | CERON | 52 |
| Centrais Elétricas de Santa Catarina S/A. | CELESC | 267 |
| Centrais Elétricas do Pará S/A | CELPA | 144 |
| Centrais Elétricas Matogrossenses S/A. | CEMAT | 141 |
| Comp. Luz e Força Santa Cruz | CPFL Santa Cruz | 27 |
| Companhia Campolarguense de Energia | COCEL | 1 |
| Companhia de Eletricidade do Acre | ELETROACRE | 22 |
| Companhia de Eletricidade do Amapá | CEA | 16 |
| Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia | COELBA | 415 |
| Companhia de Energia Elétrica do Estado do Tocantins | ETO | 139 |
| Companhia Energética de Alagoas | CEAL | 102 |
| Companhia Energética de Brasília | CEB | 1 |
| Companhia Energética de Goiás | CELG | 237 |
| Companhia Energética de Minas Gerais | CEMIG | 773 |
| Companhia Energética de Pernambuco | CELPE | 186 |
| Companhia Energética de Roraima | CERR | 14 |
| Companhia Energética do Ceará | COELCE | 184 |
| Companhia Energética do Maranhão | CEMAT | 217 |
| Companhia Energética do Piauí | CEPISA | 224 |
| Companhia Energética do Rio Grande do Norte | COSERN | 167 |
| Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica | CEEE | 73 |
| Companhia Força e Luz do Oeste | CFLO | 1 |

| | | |
|---|---------------------|-------------|
| Companhia Hidroelétrica São Patrício | CHESP | 9 |
| Companhia Jaguari de Energia | CPFL Jaguari | 2 |
| Companhia Leste Paulista de Energia | CPFL Leste Paulista | 7 |
| Companhia Luz e Força Mococa | CPFL Mococa | 4 |
| Companhia Nacional de Energia Elétrica | CNEE | 16 |
| Companhia Paranaense de Energia | COPEL | 393 |
| Companhia Paulista de Força e Luz | CPFL Paulista | 233 |
| Companhia Piratininga de Força e Luz | CPFL Piratininga | 26 |
| Companhia Sul Paulista de Energia | CPFL Sul Paulista | 5 |
| Companhia Sul Sergipana de Eletricidade | SULGIPE | 14 |
| Cooperativa Aliança | COOPERALIANÇA | 2 |
| Departamento Municipal de Eletricidade de Poços de Caldas- DME Distribuição S.A | DMED | 1 |
| Departamento Municipal de Energia de Ijuí | DMEI | 2 |
| Elektro Eletricidade e Serviços S/A | Elektro | 224 |
| Eletropaulo Metropolitana - Eletricidade de São Paulo S/A. | AES Eletropaulo | 24 |
| Empresa de Eletricidade Vale do Paranapanema S/A | EDEVP | 27 |
| Empresa Elétrica Bragantina S/A | EEB | 16 |
| Empresa Energética de Mato Grosso do Sul | Energisa MS | 74 |
| Empresa Força e Luz João Cesa Ltda | EFLJC | 1 |
| Empresa Força e Luz Urussanga LTDA. | EFLUL | 1 |
| Empresa Luz e Força Santa Maria S/A. | ELFSM | 11 |
| Energisa Borborena Distribuidora de Energia S/A | Energisa Borborema | 6 |
| Energisa Minas Gerais - Distribuidora de Energia S.A. | Energisa MG | 65 |
| Energisa Nova Friburgo Distribuidora de Energia S/A | Energisa NF | 1 |
| Energisa Paraíba Distribuidora de Energia S/A | Energisa PB | 216 |
| Energisa Sergipe Distribuidora de Energia S/A | Energisa SE | 63 |
| Espirito Santo Centrais Elétricas S/A. | ESCELSA | 67 |
| Força e Luz Coronel Vivida Ltda. | FORCEL | 1 |
| Hidroelétrica Panambi S/A. | HIDROPAN | 2 |
| Iguaçu Distribuidora de Energia Elétrica LTDA. | IENERGIA | 6 |
| Light Serviços de Eletricidade S/A | Light | 29 |
| Muxfeldt Marin & Cia. Ltda. | MUXFELDT | 3 |
| Rio Grande Energia S/A. | RGE | 257 |
| RS_COOPERATIVA | RS_COOPERATIVA | 22 |
| SC_COOPERATIVA | SC_COOPERATIVA | 18 |
| SP_COOPERATIVA | SP_COOPERATIVA | 4 |
| Usina Hidrelétrica Nova Palma LTDA. | UHENPAL | 7 |
| TOTAL DE MUNICIPIOS | | 5570 |

Fonte: Elaboração própria com dados do SIGEL/ANEEL (SIGEL, 2016)

Em posse desses dados e utilizando informações de setores que possuem elementos sobre Unidades de Estabelecimentos em nível municipal, foi possível calcular o número de Estabelecimentos de cada setor por distribuidora, permitindo, assim, o cálculo da área instalada estimada para cada par de setor e distribuidora, conforme a Equação 6.

3.8 CUSTO NIVELADO DE ELETRICIDADE VERSUS TARIFAS DE ENERGIA

O resultado da Equação 10 é um valor em R\$/kWh, que pode ser comparado com as tarifas de energia das distribuidoras em questão, com todos os impostos incluídos, uma vez que, de acordo com a orientação do CONFAZ, sobre a energia injetada na rede via Micro e Minigeração distribuída, não há incidência de ICMS. Na prática, a orientação oficial e já seguida por diversos estados é de que o tributo seja cobrado apenas da energia propriamente consumida da rede, descontada da energia gerada (CONFAZ, 2015). Assim, um LCOE maior do que a parcela da tarifa de energia, com impostos incluídos, indicará uma viabilidade para a planta solar (MIRANDA, 2013).

O resultado final será o seguinte:

$$Se \begin{cases} LCOE_{j,i} \leq TE_i; \text{ há viabilidade econômica} \\ LCOE_{j,i} > TE_i; \text{ não há viabilidade econômica} \end{cases}$$

Equação 12

onde: TE_i = Tarifa de energia para o setor comercial e de serviços, com impostos incluídos, em R\$/kWh;

i = distribuidora estudada.

4. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO FV NO SETOR COMERCIAL E DE SERVIÇOS

A avaliação do potencial técnico e econômico das plantas solares se caracteriza pela análise do potencial de geração nos setores estudados (Potencial Técnico) e pela viabilidade econômico-financeira da solução estudada (Potencial Econômico), de acordo com premissas pré-definidas e frente aos preços de energia praticados pelas distribuidoras de energia. A Figura 18 ilustra o conceito por trás desta abordagem. Uma análise do potencial de mercado, que leva em conta diversos outros fatores qualitativos e quantitativos, não faz parte do escopo deste trabalho, já que cada setor e cada região podem ter aspectos próprios que tornam a análise pouco precisa.



Figura 18 - Tipos de potencial de energias renováveis.

Fonte: Adaptado de (GAGNON *et al.*, 2016)

4.1 DADOS DE ENTRADA DO MODELO E PREMISSAS

4.1.1 SETORES SELECIONADOS E BASES DE DADOS

Para iniciar a análise conforme a metodologia proposta, como descrito no item 3.2, foi preciso para a realização de uma amostragem simples e aleatória levantar dados de setores da economia que fossem altamente pulverizados, munidos de abundância de informações e com detalhamento de suas Unidades de Estabelecimento em nível municipal. Uma vez em posse dessas informações, foi possível avaliar os Telhados Potenciais e as distribuidoras de energia elétrica que atendiam ao município em questão.

A divisão oficial do IBGE, no âmbito da Pesquisa Anual de Serviços (PAS), divide o segmento comercial e de serviços em algumas categorias principais³ (IBGE, 2017):

- Serviços prestados às famílias;
- Serviços profissionais, administrativos e complementares;
- Transportes, serviços auxiliares aos transportes e correios;
- Serviços de manutenção e reparação;
- Serviços de informação e comunicação;
- Atividades imobiliárias; e
- Outras atividades de serviços.

Assim, de forma pragmática e não-exaustiva, verificamos que o setor comercial e de serviços é composto pelas mais diversas atividades econômicas e pode ser dividido em diversos setores. De forma a ilustrar, podemos citar, como setores relevantes, bancos, comércio varejista e atacadista, colégios e universidades, hospitais e shopping centers.

Esses setores, segundo estatísticas do CEMPRE (Cadastro Central de Empresas), compiladas pelo IBGE, com dados de 2014 (IBGE, 2016), estavam distribuídos entre 5.589.526 unidades locais⁴ de empresas no Brasil, com concentração de 51,6% na Região Sudeste. Embora nem

³ A grande diferença entre os dados do IBGE e da EPE é a inclusão do setor de transportes como um setor de serviços – por conta da sua grande parcela de consumo energético, a EPE separa o setor de transportes, sem prejuízo à análise deste trabalho.

⁴ Endereço de atuação da empresa ou outra organização que ocupa, geralmente, uma área contínua na qual são desenvolvidas uma ou mais atividades econômicas, identificado pelo número de ordem (sufixo)

todas as unidades locais fossem, de fato, endereços com Telhados Potenciais, haveria um número bastante significativo de telhados com Potencial Gerador de Energia.

Essa compilação do CEMPRE englobou todas as atividades descritas na CNAE (Classificação Nacional de Atividades Econômicas), a qual possui 96 categorias que compreendem desde agricultura e indústrias extrativas até instituições de Poder Público e o setor de serviços de forma geral. Os setores supracitados aparecem espalhados em diversas categorias da CNAE (IBGE, 2016):

- Hospitais, classificação na CNAE 86 – Saúde Humana e Serviços Sociais;
- Bancos e agências, classificação na CNAE 64 – Atividades de Serviços Financeiros;
- Comércio por atacado, classificação na CNAE 46 – Comércio por Atacado, Exceto Veículos Automotores e Motocicletas;
- Educação, classificação na CNAE 85 – Educação.

Dentro dos segmentos comercial e de serviços, neste estudo foram estudados os três setores abaixo, que foram os setores para os quais foram obtidos dados de endereços, a nível municipal, de todas as unidades cadastradas no setor, de acordo com as fontes citadas em cada um dos setores:

- Educação Básica

No Brasil, os dados do setor de Educação Básica são do INEP (Instituto Nacional de Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira) (INEP, 2016; INEP, 2017) que apresentam os dados do Censo Escolar de 2015, os quais possuem os dados separados por município.

O setor possuía, ao fim de 2015, 186.441 Unidades de Estabelecimento, distribuídas pelas regiões do país e por etapa de ensino, conforme mostra a Figura 19.

da inscrição no Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica - CNPJ, da Secretaria da Receita Federal. São consideradas as unidades locais estabelecidas no País. (IBGE, 2016)

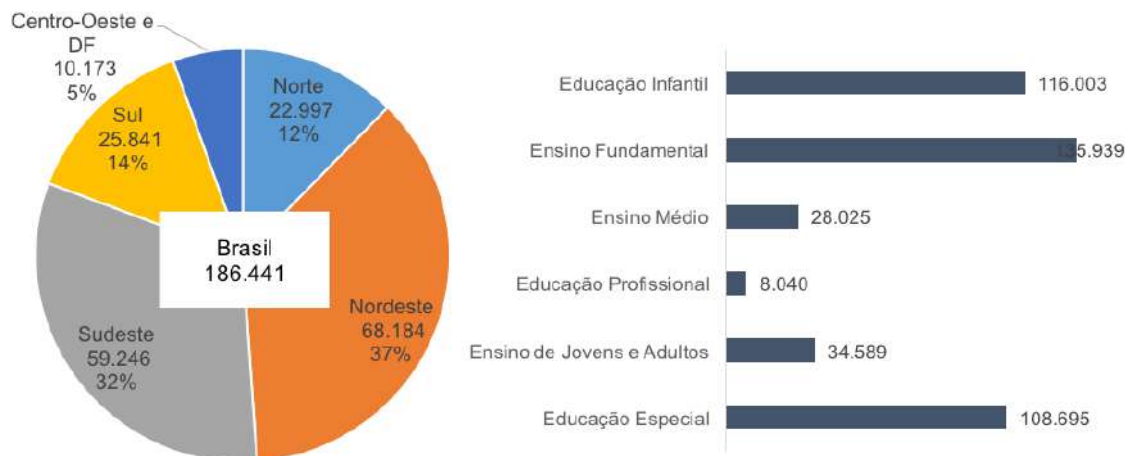


Figura 19 - Distribuição Geográfica das instituições de Educação Básica no Brasil, 2015 e número de estabelecimentos por etapa de ensino no Brasil, 2015⁵.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de (INEP, 2016)

- Postos de Gasolina

Os dados de postos de gasolina são da ANP (Agência Nacional do Petróleo) e fazem parte do cadastro obrigatório dos Revendedores Varejistas de Combustíveis Automotivos (ANP, 2016). Essas informações incluem informações sobre endereço, cadastro dos Revendedores Varejistas de Combustíveis Automotivos, Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica do Ministério da Fazenda e a existência de vínculo com algum distribuidor.

De acordo com os dados, retirados do sistema da ANP (ANP, 2016) no dia 21 de novembro de 2016, o setor era composto por um total de 41.395 postos de gasolina. A distribuição geográfica dos postos, assim como uma análise das distribuidoras associadas, segue na Figura 20.

⁵ O mesmo estabelecimento pode oferecer mais de uma etapa de ensino.

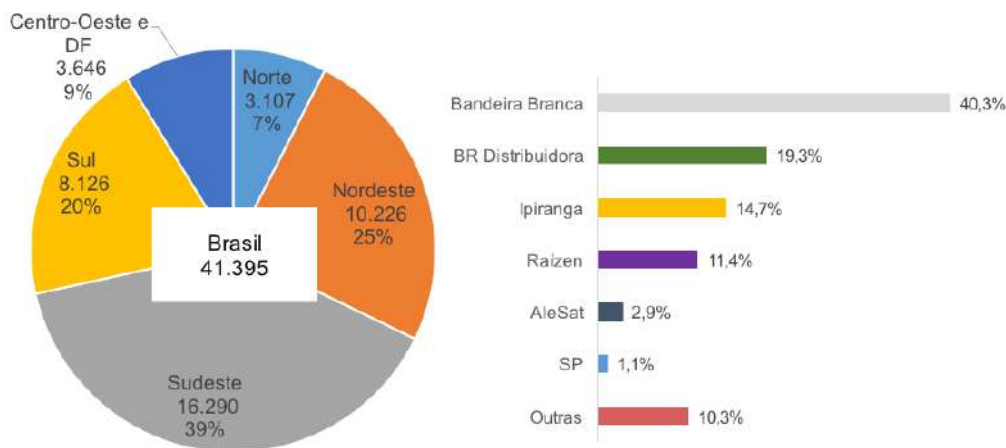


Figura 20 - Distribuição dos postos de gasolina no Brasil, por região e por distribuidora⁶.

Fonte: Elaboração própria a partir de (ANP, 2016; ANP, 2016b)

- **Agências de Bancos**

No Brasil, as agências de bancos em funcionamento, supervisionadas pelo Banco Central (BACEN), são cadastradas, atualizadas e mantidas pelo Departamento de Monitoramento do Sistema Financeiro (DESIG), daquela autarquia (BACEN, 2016). Segundo os dados do dia 30 de novembro de 2016, existe o total de 23.457 agências, distribuídas geograficamente conforme a Figura 21. O destaque vale para o município de São Paulo, que concentra cerca de 12% das agências.

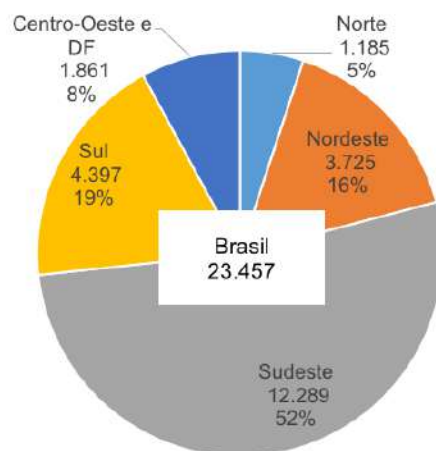


Figura 21 - Divisão geográfica das agências de instituições financeiras no Brasil, 2016.

Fonte: Elaboração própria a partir de (BACEN, 2016)

⁶ Informações de junho de 2016.

Se compararmos os dados desses três setores com os dados disponibilizados no CEMPRE (IBGE, 2016), podemos – com a ressalva das diferentes datas de referência dos dados – observar que esses setores contemplam cerca de 4,5% das unidades locais cadastradas no CEMPRE. Essa é uma limitação observada na análise – apenas uma pequena fatia do setor comercial e de serviços foi englobada na análise. Por outro lado, caso haja potencial interessante nesses setores, poderá haver potencial de extrapolar a presente análise e a própria expansão da GD solar para outros segmentos – isto é, o potencial identificado nestes três setores pode indicar um potencial interessante em outros setores não estudados, para os quais o mesmo procedimento metodológico pode ser aplicado para a identificação do Potencial Técnico e Potencial Econômico.

4.1.2 DADOS DE RADIAÇÃO SOLAR

Conforme o exposto no item 3.5.4, o dado de radiação indicado para a análise é o de irradiação média no plano inclinado, cuja fonte de informações para a presente avaliação foi a base de dados do SWERA (SWERA, 2016), que faz uso do modelo *TILT INPE High Resolution*.

De acordo com a metodologia proposta, para cada distribuidora o dado de radiação utilizado foi o do município com maior número de conexões em sua área de concessão, conforme dados do SIGEL/ANEEL (SIGEL, 2016). As coordenadas utilizadas para a extração dos dados de irradiação foram retiradas da base de dados do IBGE (IBGE, 2016). A Tabela 6 indica as distribuidoras estudadas, as cidades com maior número de conexões e o dado de radiação considerado.

Tabela 6 - Distribuidoras de Eletricidade e respectivos municípios de referência e irradiação do modelo.

| Distribuidoras (Siglas) | Município | Irradiação (kWh/m²/dia) |
|--------------------------------|--------------------------|---|
| AES Sul | Canoas - RS | 5,181 |
| Amazonas Energia | Manaus - AM | 4,984 |
| Ampla | São Gonçalo - RJ | 5,545 |
| Bandeirante | Guarulhos - SP | 5,159 |
| Boa Vista Energia | Boa Vista - RR | 5,141 |
| Caiuá-D | Presidente Prudente - SP | 5,742 |
| Eletrocar | Carazinho - RS | 5,454 |
| CERON | Porto Velho - RO | 5,118 |

| | | |
|---------------------|----------------------------|-------|
| CELESC | Florianópolis - SC | 5,055 |
| CELPA | Belém - PA | 5,237 |
| CEMAT | Cuiabá - MT | 5,527 |
| CPFL Santa Cruz | Ourinhos - SP | 5,774 |
| COCEL | Campo Largo - PR | 5,142 |
| ELETROACRE | Rio Branco - AC | 5,188 |
| CEA | Macapá - AP | 5,218 |
| COELBA | Salvador - BA | 5,403 |
| ETO | Palmas - TO | 5,656 |
| CEAL | Maceió - AL | 5,382 |
| CEB | Brasília - DF | 5,816 |
| CELG | Goiânia - GO | 5,710 |
| CEMIG | Belo Horizonte - MG | 5,688 |
| CELPE | Recife - PE | 5,185 |
| CERR | Rorainópolis - RR | 5,170 |
| COELCE | Fortaleza - CE | 5,384 |
| CEMAT | São Luis - MA | 5,307 |
| CEPISA | Teresina - PI | 5,669 |
| COSERN | Natal - RN | 5,348 |
| CEEE | Porto Alegre - RS | 5,157 |
| CFLO | Guarapuava - PR | 5,321 |
| CHESP | Ceres - GO | 5,635 |
| CPFL Jaguari | Jaguariúna - SP | 5,879 |
| CPFL Leste Paulista | São José do Rio Pardo - SP | 5,943 |
| CPFL Mococa | Mococa - SP | 5,939 |
| CNEE | Catanduva - SP | 5,902 |
| COPEL | Curitiba - PR | 5,045 |
| CPFL Paulista | Campinas - SP | 5,822 |
| CPFL Piratininga | Sorocaba - SP | 5,601 |
| CPFL Sul Paulista | Itapetininga - SP | 5,527 |
| SULGIPE | Estância - SE | 5,255 |
| COOPERALIANÇA | Içara - SC | 5,202 |
| DMED | Poços de Caldas - MG | 5,815 |
| DMEI | Ijuí - RS | 5,437 |
| Elektro | Limeira - SP | 5,964 |
| AES Eletropaulo | São Paulo - SP | 5,023 |
| EDEVF | Assis - SP | 5,809 |
| EEB | Bragança Paulista - SP | 5,576 |
| Energisa MS | Campo Grande - MS | 5,883 |
| EFLJC | Siderópolis - SC | 5,130 |

| | | |
|--------------------|--------------------------|-------|
| EFLUL | Urussanga - SC | 5,146 |
| ELFSM | Colatina - ES | 5,109 |
| Energisa Borborema | Campina Grande PB | 5,284 |
| Energisa MG | Muriae - MG | 5,485 |
| Energisa NF | Nova Friburgo - RJ | 5,394 |
| Energisa PB | João Pessoa - PB | 5,203 |
| Energisa SE | Aracaju - SE | 5,499 |
| ESCELSA | Vila Velha - ES | 5,394 |
| FORCEL | Coronel Vivida - PR | 5,537 |
| HIDROPAN | Panambi - RS | 5,453 |
| IENERGIA | Xanxerê - SC | 5,553 |
| Light | Rio de Janeiro - RJ | 5,538 |
| MUXFELDT | Tapejara - RS | 5,486 |
| RGE | Caxias do Sul - RS | 5,210 |
| RS_COOPERATIVA | Vitória das Missões - RS | 5,496 |
| SC_COOPERATIVA | Jacinto Machado - SC | 5,138 |
| SP_COOPERATIVA | Paraibuna - SP | 5,186 |
| UHENPAL | Restinga Seca - RS | 5,155 |

Fonte: Elaboração própria com dados de (SIGEL, 2016; SWERA, 2016)

4.1.3 TARIFAS DE ENERGIA NO SETOR COMERCIAL E DE SERVIÇOS

De forma similar aos dados de radiação, foi necessário obter dados sobre as tarifas do setor comercial e de serviços, com impostos.

No website da ANEEL, na seção “Tarifas” (ANEEL, 2016) é possível encontrar um relatório com tarifas médias de energia para diferentes classes de consumo ao longo dos últimos anos. O dado utilizado foi o das tarifas, com impostos, para a categoria “Comercial, Serviços e Outras”, de setembro de 2016. A tarifa utilizada reflete uma tarifa média praticada no mês de setembro – dessa forma, é possível ter uma avaliação de uma condição média desses setores para cada um dos setores analisados.

As tarifas dos três grupos (SP_COOPERATIVA, RS_COOPERATIVA e SC_COOPERATIVA) foram obtidas através de uma média ponderada das tarifas médias com impostos e a receita com impostos da venda dessa energia em cada uma das cooperativas que compõe esses grupos de estudo. Os resultados são apresentados na Tabela 7:

Tabela 7 - Distribuidoras e grupos de estudo, com suas respectivas tarifas de energia, com impostos, para o setor comercial. Data: setembro de 2016.

| Distribuidoras (Siglas) | Tarifa média com impostos para o setor comercial (R\$/MWh) |
|--------------------------------|---|
| AES Sul | 731,31 |
| Amazonas Energia | 525,00 |
| Ampla | 797,44 |
| Bandeirante | 617,32 |
| Boa Vista Energia | 476,36 |
| Caiuá-D | 561,09 |
| Eletrocar | 659,66 |
| CERON | 624,27 |
| CELESC | 602,31 |
| CELPA | 731,81 |
| CEMAT | 729,58 |
| CPFL Santa Cruz | 644,90 |
| COCEL | 620,21 |
| ELETROACRE | 601,87 |
| CEA | 330,84 |
| COELBA | 609,52 |
| ETO | 739,15 |
| CEAL | 575,83 |
| CEB | 558,56 |
| CELG | 917,87 |
| CEMIG | 712,86 |
| CELPE | 589,08 |
| CERR | 501,83 |
| COELCE | 618,00 |
| CEMAT | 587,29 |
| CEPISA | 548,78 |
| COSERN | 560,22 |
| CEEE | 708,48 |
| CFLO | 653,25 |
| CHESP | 877,36 |
| CPFL Jaguari | 517,96 |
| CPFL Leste Paulista | 562,36 |
| CPFL Mococa | 611,66 |
| CNEE | 548,25 |

| | |
|--------------------|--------|
| COPEL | 616,03 |
| CPFL Paulista | 569,19 |
| CPFL Piratininga | 609,85 |
| CPFL Sul Paulista | 578,05 |
| SULGIPE | 709,77 |
| COOPERALIANÇA | 672,32 |
| DMED | 676,11 |
| DMEI | 532,74 |
| Elektro | 604,42 |
| AES Eletropaulo | 496,43 |
| EDEVP | 574,51 |
| EEB | 651,46 |
| Energisa MS | 628,73 |
| EFLJC | 900,81 |
| EFLUL | 678,90 |
| ELFSM | 639,20 |
| Energisa Borborema | 565,03 |
| Energisa MG | 653,16 |
| Energisa NF | 804,81 |
| Energisa PB | 574,42 |
| Energisa SE | 571,76 |
| ESCELSA | 663,10 |
| FORCEL | 754,64 |
| HIDROPAN | 630,40 |
| IENERGIA | 606,18 |
| Light | 773,51 |
| MUXFELDT | 623,61 |
| RGE | 619,55 |
| RS_COOPERATIVA | 588,97 |
| SC_COOPERATIVA | 530,02 |
| SP_COOPERATIVA | 567,98 |
| UHENPAL | 889,13 |

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de (ANEEL, 2016)

4.1.4 PREMISSAS

Além dos dados de entrada, descritos acima, existem algumas premissas a serem definidas, conforme colocado no Capítulo 3 deste trabalho, que serão determinadas e brevemente explicadas abaixo.

- Tamanho das amostras

Conforme descrito pela Equação 1, foi calculado o tamanho das amostras para cada um dos três setores estudados, utilizando um grau de confiança de 95% (conforme a tabela 1).

- ✓ $n_e = 383$ (onde $j=e$ para o setor de Educação Básica);
- ✓ $n_g = 381$ (onde $j=g$ para o setor de Postos de Gasolina);
- ✓ $n_b = 378$ (onde $j=b$ para o setor de Agências de Bancos).

Dessa forma, ao longo do estudo, avaliou-se, de forma completa, um total de 1.142 Telhados Potenciais, todos distribuídos dentre os setores de educação, agências bancárias e de postos de gasolina, permeando todos os municípios brasileiros.

No percurso dessa metodologia, houve situações em que as Unidades de Estabelecimento sorteadas não foram encontradas ou que as Unidades de Estabelecimento não possuíam visualização satisfatória. Em ambos os casos, não seria possível avaliar adequadamente suas características. Nessas ocasiões, um novo sorteio sem reposição foi realizado para a escolha de nova Unidade de Estabelecimento, até que a Unidade de Estabelecimento sorteada permitisse uma análise completa de todas as variáveis.

Dessa forma, o número total de aferições de Telhados Potenciais acabou por extrapolar os 1.142 Telhados Potenciais originalmente calculados, principalmente por conta das deficiências de precisão da base de dados dos setores e da ausência de imagens fotográficas das localidades mais afastadas. Isto quer dizer que, apesar de 1.142 telhados comporem a amostra analisada, para chegar nesta quantidade de telhados, foram necessárias avaliações de um número ainda maior de telhados. Isso ocorreu pois houve telhados que não puderam compor a amostra, seja por constarem em endereços que não foram encontrados, seja pela não conclusividade na análise de Telhados Impossibilitados, causada, por exemplo, pela ausência da vista da rua nos endereços, ou também pela má definição das imagens de satélite.

- $F_{Lehmann}$

O fator proveniente do estudo de LEHMANN, PETER (2003) foi utilizado para estimar o percentual de telhados aptos para plantas solares e foi utilizado em nosso estudo, averiguando

quais dos Telhados Potenciais possuíam Potencial Gerador de Energia, uma vez descartado o Fatos de Telhados Impossibilitados. O valor utilizado, para este fator, é de 0,9.

- Eficiência do painel e Densidade de Módulo

Os dados de BARBOSE e DRAGOUTH (2015) foram utilizados, como referência, para o cálculo de eficiência do painel solar. Desse cálculo, extraímos a eficiência de 16%, valor esse que será explorado para o cálculo da Densidade de Módulo, o qual foi calculado, ao fim, em 160Wp/m².

- *Performance Ratio*

Apesar de diversos dados recentes indicarem altos *performance ratios* para plantas solares norte-americanas e europeias atuais (VAN SARK *et al.*, 2012; FRAUNHOFER ISE, 2016), DIERAUF *et al.* (2016) registrou que a temperatura tem grande efeito em sua redução.

Considerando que o Brasil possui temperaturas mais elevadas do que as dos Estados Unidos e as da Europa, optamos por adotar, neste estudo, o *performance ratio* de 0,75, em linha com o estudo de TOLMASQUIM *et al.*(2016).

- Vida útil

De acordo com a vida útil média dos painéis solares e com as mais diversas referências supracitadas no item 3.6.1, neste presente trabalho, foi adotado 25 anos para a vida útil das plantas solares.

- Custo de O&M

Conforme exposto anteriormente, no item 3.6.1, o valor assumido para o custo de operação e manutenção foi assumido como 1% do custo de investimento ao ano.

- Investimento

Para o custo de investimento, o dado utilizado foi uma média aritmética entre os valores citados por fabricantes e instaladores na pesquisa sobre o setor de GD conduzida pelo Instituto Ideal (INSTITUTO IDEAL, 2016). Os valores utilizados são citados na lista abaixo. A potência utilizada para as faixas é a $Pot_{média,j}$ conforme definida na Equação 7.

- ✓ Para plantas com até 5kWp instalados, R\$ 8,50/Wp;
- ✓ Para plantas entre 5kWp e 30 kWp instalados, R\$ 7,49/Wp;

- ✓ Para plantas entre 30kWp e 100 kWp instalados, R\$ 6,75/Wp;
- ✓ Para plantas com mais de 100kWp instalados, R\$ 6,29/Wp.

- Fator de degradação dos painéis fotovoltaicos

Há diversos estudos internacionais, como apresentado no item 3.6.2, que indicam fatores de degradação na ordem de 0,5% ao ano. Entretanto, de forma a utilizar um valor de degradação conservador, o valor de degradação assumido neste estudo foi de 0,6% ao ano.

- Taxa de Desconto

O valor assumido para a Taxa de Desconto foi de 12%a.a. em termos reais. Esta taxa é maior que as taxas observadas para estudos de políticas públicas, mas refletem um cenário mais conservador, no qual o custo de capital envolvido é mais alto que um custo referencial utilizado para a elaboração de políticas públicas.

A Tabela 8 sumariza as principais premissas assumidas.

Tabela 8 - Principais premissas e dados de entrada.

| Variável | Valor assumido (unidade) |
|--|--|
| n_j (tamanho da amostra para o setor j) | $n_e = 383$ $n_g = 381$ $n_b = 378$ |
| $F_{Lehmann}$ (Fator de Lehmann) | 0,9 |
| η_{painel} (Eficiência do Painel) | 16% |
| D_{painel} (Densidade de Módulo) | 160 (Wp/m ²) |
| PR (<i>Performance Ratio</i>) | 0,75 |
| t (Vida útil) | 25 (anos) |
| Investimento por Wp instalado | $Pot_{média, j} < 5kWp \rightarrow 8,50$ (R\$/Wp) $5kWp < Pot_{média, j} < 30kWp \rightarrow 7,49$ (R\$/Wp) $30kWp < Pot_{média, j} < 100kWp \rightarrow 6,75$ (R\$/Wp) $Pot_{média, j} > 100kWp \rightarrow 6,29$ (R\$/Wp) |
| d_{painel} (fator de degradação do painel) | 0,65% ao ano (a.a.) |
| $C_{O\&M}$ (custo de O&M) | 1% a.a. do investimento inicial |
| TD (Taxa de Desconto, em termos reais) | 12% |

Fonte: Elaboração própria.

4.2 RESULTADOS

Após a definição das premissas e obtenção das amostras, o processo metodológico foi executado para cada um dos três setores estudados, cujos resultados serão apresentados separadamente nos itens 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3 abaixo.

De forma global, a Potência Instalada estimada para os três setores foi de 30 GWp de potência nominal – cerca de 25% da capacidade nominal atualmente instalada no Brasil –, uma potência aproximadamente 500 vezes superior à Potência Instalada em usinas fotovoltaicas no Brasil (dados do dia 12 de fevereiro de 2017) de acordo com dados da ANEEL (ANEEL, 2017c). Essa potência é baseada em uma área total de Telhados Disponíveis na casa dos 210 milhões de metros quadrados, o que é próximo à área de quase 30 mil campos de futebol (IFAB, 2016).

A geração estimada para os setores estudados, durante o primeiro ano de geração⁷, totalizou massivos 45.323,24GWh e o investimento total estimado para atingir essa potência e geração seria de R\$194,81 bilhões de reais. A Tabela 9 resume os principais resultados encontrados de forma global no estudo.

Tabela 9 - Resultados Agregados da Modelagem.

| Resultado | Valor | Unidade |
|--------------------------------|---------|-----------------|
| A _{total} | 246,61 | km ² |
| A _{disponível} | 213,66 | km ² |
| Pot | 30,77 | MWp |
| I _{total} | 194.808 | milhões de R\$ |
| Geração no ano 0 | 45.323 | GWh |
| A _{disponível} viável | 170,05 | km ² |
| Pot viável | 27,21 | GWp |
| I _{total} viável | 171,97 | milhões de R\$ |
| Geração no ano 0 viável | 40.391 | GWh |

Fonte: Elaboração Própria.

⁷ A análise pressupõe que todos projetos seriam construídos e entrariam em operação na mesma data, para poder estimar a geração total potencial no ano 0, sem as perdas causadas pela degradação natural do painel fotovoltaico, conforme exposto no capítulo 3.

4.2.1 SETOR DE EDUCAÇÃO BÁSICA

Os resultados obtidos para o setor de educação básica são apresentados abaixo, na Tabela 10. A Figura 22 traz uma análise das dez distribuidoras com maior Potência Instalada potencial. Os resultados completos estão em anexo, na tabela A.1.

Tabela 10 - Resultados Macro para o Setor de Educação Básica.

| Resultado | Valor | Unidade |
|---|--------------|------------------------|
| $A_{\text{média}}$, educação básica | 1.191,27 | m ² |
| A_{total} , educação básica | 222,10 | km ² |
| $A_{\text{útil}}$, educação básica | 194,27 | km ² |
| $Pot_{\text{média}}$, educação básica | 171,5 | kWp |
| $Pot_{\text{educação}}$ básica | 27,97 | GWp |
| $I_{\text{referência}}$, educação básica | 6,29 | R\$/Wp |
| I_{total} , educação básica | 175,96 | bilhões de R\$ |
| f_j , educação básica | 12,5% | % do total de telhados |
| Geração no ano 0 | 41.190,20 | GWh |
| RESULTADOS DA ANÁLISE ECONÔMICA | | |
| $A_{\text{disponível}}$, educação viável | 158,73 | km ² |
| $Pot_{\text{educação}}$ viável | 25,40 | GWp |
| I_{total} , educaação viável | 159,75 | bilhões de R\$ |
| Geração no ano 0 viável | 37.641,43 | GWh |

Fonte: Elaboração Própria.

10 distribuidoras com maior potencial de instalação, em MWp

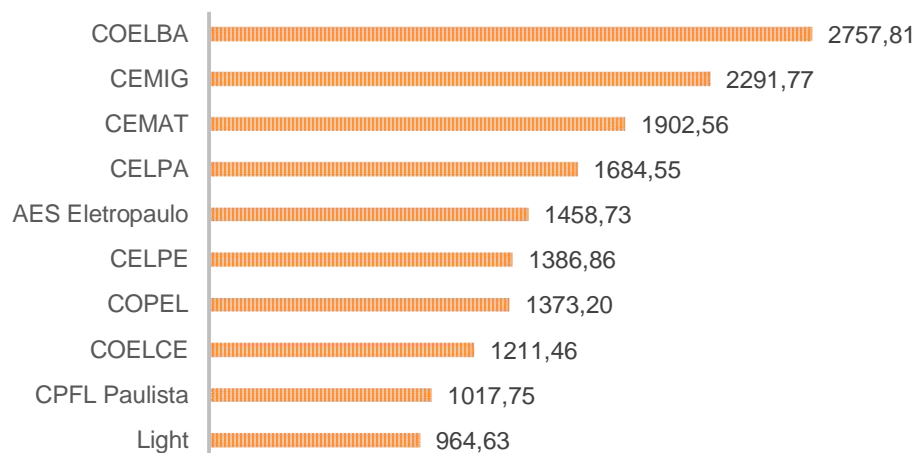


Figura 22 - 10 maiores distribuidoras em Potência Instalada potencial, em MWp, para o setor de educação básica.

Fonte: Elaboração própria

4.2.2 SETOR DE POSTOS DE GASOLINA

Os resultados obtidos para o setor de postos de gasolina são apresentados abaixo na Tabela 11. A Figura 23 traz uma análise das dez distribuidoras com maior Potência Instalada potencial. Os resultados completos estão em anexo, na tabela A.2.

Tabela 11 - Resultados Macro para o Setor de Postos de Gasolina.

| Resultado | Valor | Unidade |
|---|--------|-----------------|
| $A_{m\acute{e}dia}$, postos de gasolina | 358,70 | m ² |
| A_{total} , postos de gasolina | 14,85 | km ² |
| $A_{\acute{u}til}$, postos de gasolina | 13,80 | km ² |
| $Pot_{m\acute{e}dia}$, postos de gasolina | 51,7 | kWp |
| Pot_{postos} de gasolina | 1,99 | GWp |
| $I_{refer\acute{e}ncia}$, postos de gasolina | 6,75 | R\$/Wp |
| I_{total} , postos de gasolina | 13,41 | bilhões de R\$ |

| | |
|--|-----------------------------|
| f_j , postos de gasolina | 7,1% % do total de telhados |
| Geração no ano 0 | 2.943,10 GWh |
| RESULTADOS DA ANÁLISE ECONÔMICA | |
| $A_{\text{disponível, postos de gasolina}}$ viável | 8,09 km ² |
| $Pot_{\text{postos de gasolina}}$ viável | 1,29 GWp |
| $I_{\text{total, postos de gasolina}}$ viável | 8,74 bilhões de R\$ |
| Geração no ano 0 viável | 1.964,42 GWh |

Fonte: Elaboração Própria.

10 distribuidoras com maior potencial de instalação, em MWp

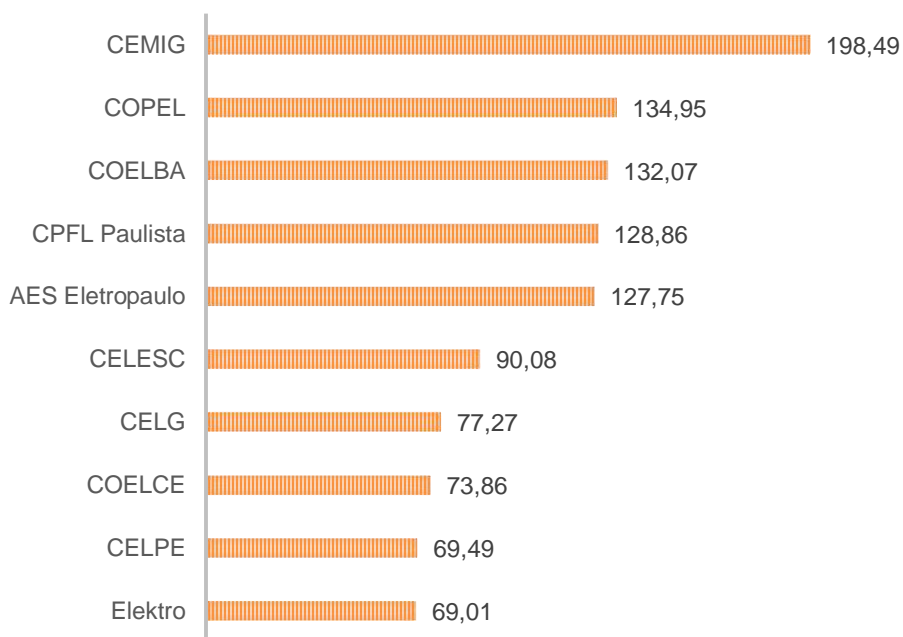


Figura 23 - 10 maiores distribuidoras em Potência Instalada potencial, em MWp, para o setor de postos de gasolina.

Fonte: Elaboração própria

4.2.3 SETOR DE AGÊNCIAS DE BANCOS

Os resultados obtidos para o setor de agências de bancos são apresentados abaixo na Tabela 12. A Figura 24 traz uma análise das dez distribuidoras com maior Potência Instalada potencial. Os resultados completos estão em anexo, na tabela A.3.

Tabela 12 - Resultados Macro para o Setor de Agências de Bancos.

| Resultado | Valor | Unidade |
|--|----------|------------------------|
| $A_{\text{média}}$, agências de bancos | 411,76 | m ² |
| A_{total} , agências de bancos | 9,66 | km ² |
| $A_{\text{disponível}}$, agências de bancos | 5,60 | km ² |
| $Pot_{\text{média}}$, agências de bancos | 59,3 | kWp |
| $Pot_{\text{agências de bancos}}$ | 0,81 | GWp |
| $I_{\text{referência}}$, agências de bancos | 6,75 | R\$/Wp |
| I_{total} , agências de bancos | 5,44 | bilhões de R\$ |
| f_j , agências de bancos | 42,1% | % do total de telhados |
| Geração no ano 0 | 1.189,94 | GWh |
| RESULTADOS DA ANÁLISE ECONÔMICA | | |
| $A_{\text{disponível}}$, agências de bancos viável | 3,23 | km ² |
| $Pot_{\text{agências de banco}}$ viável | 0,52 | GWp |
| I_{total} , agências de banco viável | 3,48 | bilhões de R\$ |
| Geração no ano 0 viável | 784,95 | GWh |

Fonte: Elaboração Própria

10 distribuidoras com maior potencial de instalação, em MWp

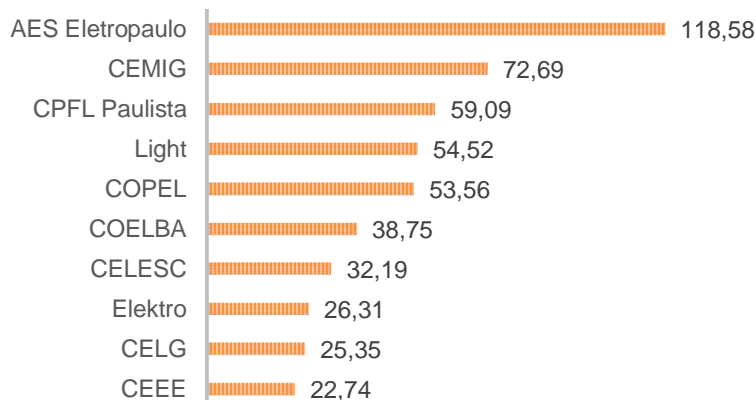


Figura 24 - 10 maiores distribuidoras em Potência Instalada potencial, em MWp, para o setor de Agências de Bancos.

Fonte: Elaboração Própria

4.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.3.1 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL TÉCNICO

Como apresentado no item 4.2, o Potencial Técnico total de instalação observado, utilizando a metodologia proposta, foi de 30,77GWp, espalhados pelas regiões do Brasil conforme mostra a Figura 25:

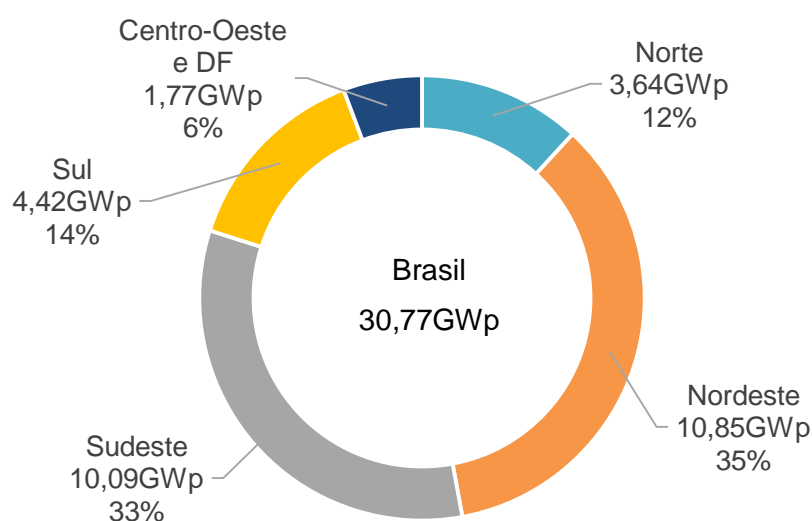


Figura 25 - Divisão do Potencial Técnico de Instalação por Região do Brasil.

Fonte: Elaboração Própria.

A figura de geração total modelada no Brasil foi, por sua vez, de 45.323,24GWh no primeiro ano, ou seja, sem os descontos anuais aplicados por conta da degradação dos painéis fotovoltaicos. Essa figura é cerca de 1.300 vezes a geração de energia elétrica gerada por usinas de geração distribuída no Brasil em 2015 (EPE, 2016b). O potencial é representativo, pois, se comparado com o consumo elétrico do setor comercial em 2015, de acordo com dados do BEN (EPE, 2016c), representaria quase 50% do total da energia elétrica consumida no ano para todo o segmento comercial, que inclui diversas outras atividades econômicas.

Os resultados setoriais, assim como exemplos retirados durante o processo de amostragem dos telhados, serão mostrados a seguir.

4.3.1.1 Educação

Com um número de telhados bastante elevado (cerca de 75% da amostra total), o setor de educação básica foi o que apresentou os valores mais significativos, até por ser composto por edificações pulverizadas de forma bastante atomizada por todo o Brasil. O maior telhado analisado apresentou uma área de 28.740m², no Colégio Militar de Brasília; e o menor telhado, 52,84m².

O maior telhado, é mostrado abaixo, na Figura 26 – note o Estádio Mané Garrincha ao lado, para demonstrar o grande tamanho do prédio.



Figura 26 - Colégio Militar de Brasília.

Fonte: (GOOGLE, 2017)

Em relação ao Fator de Telhados Impossibilitados, o setor de educação apresentou muitos telhados com problemas de inclinação – em muitos casos, os prédios possuem telhados muito recortados e com muitas faces voltadas para o Sul (a Figura 27 ilustra um dos casos mais claros). Em relação aos estabelecimentos sem acesso aos telhados (parte de um prédio com outras funções), apenas dois casos foram constatados na análise, estando um deles representado na Figura 28.

De forma geral, os principais problemas observados foram de grandes fontes de sombra (Figura 29) e de inclinação dos telhados, resultando em um Fator de Telhados Impossibilitados de 12,53%.

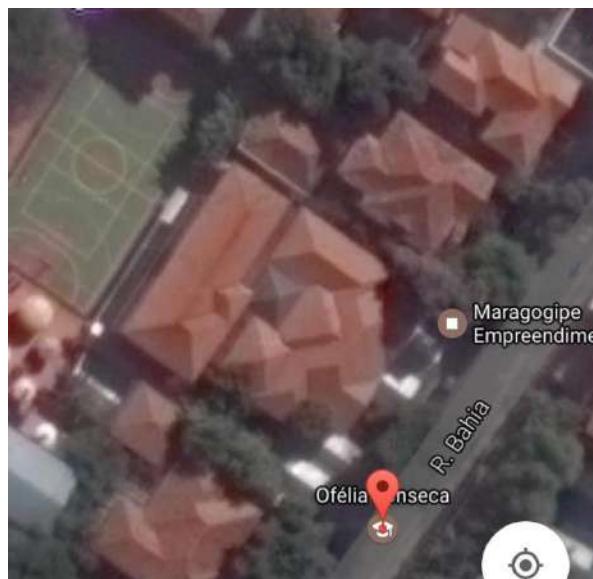


Figura 27 - Colégio com telhado com recortes e inclinações para Sul.

Fonte: (GOOGLE, 2017)



Figura 28 - Escola sem acesso ao telhado.

Fonte: (GOOGLE, 2017)



Figura 29 - Escola com sombras inviabilizando o aproveitamento.

Fonte: (GOOGLE, 2017)

Em termos da geração de energia elétrica, até por conta do tamanho médio elevado dos telhados, além da grande presença de escolas em regiões com insolação elevada (áreas de concessão da COELBA e CEMAT, por exemplo), o resultado obtido sugere um potencial de geração de 41.190,2GWh no primeiro ano. O grande destaque, em termos de destaque do potencial técnico dentre os grupos estudados, foi a geração estimada para a área de concessão da COELBA na Bahia, que representa cerca de 10% da geração estimada total pela modelagem para o setor.

4.3.1.2 Postos de Gasolina

A análise dos postos de gasolina levantou resultados bastante interessantes. Com grande destaque para postos de gasolina em estradas e avenidas mais movimentadas, o maior posto da amostra apresentou cerca de 1.500 m² de área de telhado – em contraste com o menor posto da amostra, em Trancoso, BA, que apresenta cerca de 20 m² de área, em um desenho bastante peculiar, quando comparado com a imagem usual de um posto de gasolina (a Figura 30 mostra a visualização do posto em questão).



Figura 30 - Posto de Gasolina em Trancoso/BA.

Fonte: (GOOGLE, 2017)

Conforme crença anterior à amostragem, o percentual de Telhados Impossibilitados de receber plantas solares, seja por fontes de sombra, seja por não ter acesso ao telhado, foi pequena, na casa dos 7%. As Figuras 31, 32 e 33 ilustram alguns destes casos, com destaque para a Figura 32, que mostra o único posto da amostra descartado por conta da falta de acesso ao telhado.



Figura 31 - Posto de Gasolina embaixo de prédio comercial.

Fonte: (GOOGLE, 2017)



Figura 32 - Posto de Gasolina com grande fonte de sombra ao norte.

Fonte: (GOOGLE, 2017)



Figura 33 - Posto de Gasolina com diversas fontes de sombras ao redor.

Fonte: (GOOGLE, 2017)

Do ponto de vista da geração de energia, que é a finalidade da análise de viabilidade técnica, o setor de postos de gasolina apresentou uma estimativa de geração no ano inicial (sem impactos da degradação dos painéis) de 2.943,10 GWh, com destaque para o estado de Minas Gerais (área de concessão da CEMIG e outras distribuidoras de menor porte) e das distribuidoras CPFL

Paulista e COELBA que, com cerca de 200GWh de geração estimada, demonstraram potencial muito relevante dentro do setor.

4.3.1.3 Agências de bancos

Como esperado, o setor das agências de bancos apresentou taxas de Telhados Impossibilitados altas, com muitas agências dentro de prédios (como *shopping centers* e galerias) e embaixo de prédios comerciais e residenciais. As Figuras 34, 35 e 36 retratam alguns desses casos, ilustrando o conceito. Com 42% de Telhados Impossibilitados, o setor tem uma questão vital na análise da viabilidade ligada à disponibilidade de telhados para a instalação das plantas solares.



Figura 34 - Exemplo de Agência de Banco embaixo de prédio.

Fonte: (GOOGLE, 2017)



Figura 35 - Exemplo de Agência de Banco com telhado que inviabiliza o projeto.

Fonte: (GOOGLE, 2017)



Figura 36 - Exemplo de Agência de Banco com sombra ao norte, inviabilizando o telhado.

Fonte: (GOOGLE, 2017)

Por outro lado, os telhados com Potencial Gerador de Energia Elétrica apresentaram uma área bastante interessante, com o maior banco da amostra chegando a ter uma área total de telhado de cerca de 1.600 m², enquanto a menor agência da amostra (excluindo-se as agências embaixo e dentro de outras edificações) tem área de, aproximadamente, 55 m². A área média das agências observada foi maior que a área média dos postos de gasolina - um resultado surpreendente.

A análise de geração de energia do setor mostra uma geração no ano inicial (novamente, desprezando as perdas por degradação dos painéis) de 1.189,94GWh, com grande destaque para a área de concessão da AES Eletropaulo, que tem cerca de 15% da geração, de acordo com a metodologia proposta (163,06GWh). Os números da AES Eletropaulo são esperados, pois ela atende a cidade de São Paulo, grande centro financeiro do Brasil. A segunda distribuidora que aparece nessa lista é a Light, que atende a cidade do Rio de Janeiro, a segunda maior metrópole do país e que também concentra um número elevado de agências bancárias.

4.3.2 ANÁLISE DO POTENCIAL TÉCNICO-ECONÔMICO

Depois de realizar a análise do Potencial Técnico, a avaliação do Potencial Econômico também demonstrou números representativos, com apenas cerca de 10% da Potência Instalada potencial não apresentando viabilidade econômica, de acordo com a metodologia estudada. Dessa forma, o potencial de investimento classificado como viável pelo modelo apontou uma Potência Instalada de 27,2GWp, uma potência 432,8 vezes maior do que a Potência Instalada em GD solar no Brasil, em 12 de fevereiro de 2017 (ANEEL, 2017c) – demonstrando o enorme potencial a ser destravados nos setores estudados. A Tabela 13 resume o estudo de viabilidade resultante da modelagem proposta.

Tabela 13 - Resultados do Potencial Econômico.

| <i>Área Viável (km²)</i> | <i>% total</i> | |
|-------------------------------------|----------------|------------|
| <i>Educação</i> | 158,73 | 91% |
| <i>Postos de Gasolina</i> | 8,09 | 65% |
| <i>Agências de Banco</i> | 3,23 | 64% |
| TOTAL | 170,05 | 88% |

| <i>Potência Viável (GWp)</i> | <i>% total</i> | |
|------------------------------|----------------|------------|
| <i>Educação</i> | 25,40 | 91% |
| <i>Postos de Gasolina</i> | 1,29 | 65% |
| <i>Agências de Banco</i> | 0,52 | 64% |
| TOTAL | 27,21 | 88% |

| <i>Energia Gerada Ano 0, viável (GWh)</i> | <i>% total</i> | |
|---|------------------|------------|
| <i>Educação</i> | 37.641,43 | 91% |
| <i>Postos de Gasolina</i> | 1.964,42 | 67% |
| <i>Agências de Banco</i> | 784,95 | 66% |
| TOTAL | 40.390,80 | 89% |

| <i>Investimento Viável (bilhões de R\$)</i> | <i>% total</i> | |
|---|----------------|------------|
| <i>Educação</i> | 159,75 | 91% |
| <i>Postos de Gasolina</i> | 8,74 | 65% |
| <i>Agências de Banco</i> | 3,48 | 64% |
| TOTAL | 171,97 | 88% |

Fonte: Elaboração Própria

O setor de agências de bancos, conforme descrito na seção anterior, apresentou grande perda na competitividade pela grande concentração de telhados na área de concessão da AES Eletropaulo, que inclui a região metropolitana de São Paulo e concentra muitos dos bancos do país – na região de São Paulo, as tarifas são relativamente mais baixas que em outros pontos, com níveis de radiação solar não tão favoráveis como em outros pontos do país. No outro extremo, o setor de Educação, até por sua grande pulverização geográfica, apresentou mais de 90% de viabilidade, demonstrando um potencial de investimento de quase R\$ 160 bilhões.

No cálculo do LCOE, o setor de postos de gasolina obteve resultados idênticos, já que todas as variáveis que entram na conta do LCOE são iguais e/ou proporcionais nos dois casos, diferentemente do setor de educação, que, por apresentar uma planta média de maior porte, tem o investimento referencial reduzido, gerando LCOE menor para uma mesma distribuidora.

Uma análise dos LCOEs obtidos permite observar a grande variação dos preços de energia pelo Brasil – a maior diferença entre a tarifa local e o LCOE calculado foi de R\$ 278,30 (para bancos e postos de gasolina) na área de distribuição da CEA, em Alagoas, enquanto, no outro extremo, a maior diferença obtida entre o LCOE e a tarifa local foi na área de concessão da CELG, no Estado de Goiás, com o custo da geração solar estimado em quase R\$ 400,00 abaixo da energia vendida pela CELG. As Tabelas 14 e 15 mostram as Distribuidoras com os menores e maiores LCOEs e o resultado obtido para a viabilidade nestas localidades.

Tabela 14 - Distribuidoras com 3 maiores LCOEs.

| Sigla | LCOE (Educação, R\$/MWh) | LCOE (Postos e Bancos R\$/MWh) | Delta Tarifa - LCOE (Educação) | Delta Tarifa - LCOE (Postos e Bancos) |
|-------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|
| Amazonas Energia | R\$ 594,28 | R\$ 637,74 | -R\$ 69,28 | -R\$ 112,74 |
| AES Eletropaulo | R\$ 589,67 | R\$ 632,79 | -R\$ 93,24 | -R\$ 136,36 |
| COPEL | R\$ 587,09 | R\$ 630,03 | R\$ 28,94 | -R\$ 14,00 |

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 15 - Distribuidoras com 3 menores LCOEs.

| Sigla | LCOE (Educação, R\$/MWh) | LCOE (Postos e Bancos R\$/MWh) | Delta Tarifa - LCOE (Educação) | Delta Tarifa - LCOE (Postos e Bancos) |
|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|
| Elektro | R\$496,63 | R\$532,95 | R\$ 107,79 | R\$ 71,47 |
| CPFL Leste Paulista | R\$498,38 | R\$534,83 | R\$ 63,98 | R\$ 27,53 |
| CPFL Mococa | R\$498,72 | R\$535,19 | R\$ 112,94 | R\$ 76,47 |

Fonte: Elaboração Própria

A comparação dos LCOEs estimados com as tarifas do segmento comercial e de serviços praticadas no Brasil em setembro de 2016 mostra que, no pior dos casos (ou seja, nos setores de postos de gasolina e agências de banco, que, por conta do seu tamanho médio de planta, apresentam valores de investimento por Wp instalado maiores), 20 dos 66 grupos estudados, ou seja, aproximadamente 30% dos grupos, não apresentam viabilidade.

Um ponto que mostra o atual limiar de competitividade da fonte solar distribuída é o número de distribuidoras que apresentaram inviabilidade para o caso de Educação, com investimento específico de R\$ 6,29/Wp, que foi de 8. Já nos outros dois setores estudados, que foram modelados com custo específico de R\$6,79/Wp instalado, esse número foi de 20 – ou seja, em 12 das 20 distribuidoras que não se provaram viáveis pela metodologia executada, uma redução de 46 centavos no *watt*-pico instalado (6,8%) tornaria o LCOE menor do que a tarifa vigente e, portanto, viável de acordo com o estudo, mostrando que há diversas localidades que estão muito próximas da viabilidade, podendo, em um futuro próximo, também alcançarem uma situação de Potencial Econômico positivo.

Quando comparamos os valores encontrados para os LCOEs no Brasil com o LCOE de sistema distribuídos mundo afora, encontramos um cenário bastante otimista no país. Como a Tabela 16 mostra, os resultados encontrados no Brasil por este estudo ainda estão com valores superiores aos resultados mundiais – o que aumenta a percepção do tamanho do potencial ainda a ser destravado, visto que, mesmo com custos de geração ainda superiores aos observados nos países mais desenvolvidos, cerca de 70% das distribuidoras estudadas já apresentaram viabilidade, muito por conta das altas tarifas de energia praticadas no Brasil.

Tabela 16 - Comparação do LCOE obtido com referências internacionais*.

| Local e Referência | LCOE (moeda local) | Ano Referência | LCOE em R\$/MWh |
|---|---------------------|----------------|-----------------|
| Alemanha (KOST et al., 2013) | 100 a 142 euros/MWh | 2013 | 331,60 a 470,60 |
| Londres/Estocolmo (VARTIAINEN, MASSON, BREYER, 2015) | 80 a 140 euros/MWh | 2014 | 265,27 a 464,23 |
| Munique (VARTIAINEN, MASSON, BREYER, 2015) | 65 a 120 euros/MWh | 2014 | 215,53 a 397,91 |
| Toulouse (VARTIAINEN, MASSON, BREYER, 2015) | 60 a 105 euros/MWh | 2014 | 198,95 a 348,17 |
| Roma (VARTIAINEN, MASSON, BREYER, 2015) | 55 a 95 euros/MWh | 2014 | 182,37 a 315,01 |

| | | | |
|---|----------------------|------|-----------------|
| Malaga (VARTIAINEN, MASSON, BREYER, 2015) | 50 a 80 euros/MWh | 2014 | 165,79 a 265,27 |
| EUA (LAZARD, 2016) | 88 a 193 dólares/MWh | 2016 | 274,21 a 601,39 |
| Brasil (Resultados do estudo) | - | 2016 | 496,63 a 637,74 |

Fonte: Elaboração Própria

*Taxa de câmbio considerada em R\$3,50/US\$

4.3.3 FATORES DE SENSIBILIDADE DO MODELO

Existem diversos fatores de sensibilidade que podem ser avaliados, tanto explícitos nas premissas, quanto incluídos de forma implícitas em algumas variáveis – podemos citar, por exemplo, a taxa de câmbio como um dos fatores implícitos que podem ter um efeito na modelagem e na competitividade da geração distribuída solar. Esses fatores afetam não somente o Potencial Técnico-Econômico, mas também o mais subjetivo, mas essencial, potencial de mercado, que leva em conta a comparação com outras soluções, *frameworks* regulatórios e custo de oportunidade dos consumidores.

A taxa de câmbio pode ter um efeito sobre a competitividade da geração solar – a redução da taxa de câmbio pode permitir a entrada de equipamentos importados com preços mais competitivos no mercado.

Outro fator que pode se consistir como um *upside* neste cenário é a valoração da redução de emissões de carbono gerada pelas plantas solares. Esta modelagem não levou em conta nenhum tipo de vantagem ou crédito por conta da redução de emissões, e essa externalidade tem que ser valorada em uma análise de potenciais pontos positivos e negativos. É relevante ressaltar, também, que este tipo de mercado ainda não existe hoje, portanto, esta opção é apenas uma possibilidade de longo prazo.

Por outro lado, existem outros fatores que podem reduzir a competitividade da geração fotovoltaica que têm mensuração complexa na avaliação do potencial. Por exemplo, desde a Medida Provisória nº 579, de 11 de setembro de 2012, o setor elétrico brasileiro vive em grande incerteza regulatória e isso reduz a confiança do investidor em apostar por uma solução que depende fortemente da regulação. Sem o *net metering*, não seria possível conectar as plantas à

rede e o tipo de configuração para viabilização dos sistemas fotovoltaicos poderia necessitar de soluções de armazenagem, que adicionariam custos aos sistemas.

Além disso, a criação da tarifa branca também pode afetar a fonte solar. Esta modalidade tarifária, que é responsável por sinalizar aos consumidores as variações do custo de geração de energia ao longo do dia (ANEEL, 2017d), poderia gerar problemas para a fonte solar, uma vez que a maior parte da geração solar ocorre no horário fora de ponta⁸. Como essa tarifa é mais barata do que as tarifas dos outros horários, a competitividade da fonte seria reduzida para os clientes de baixa tensão que optarem por esta opção.

A necessidade de eventuais reforços nos telhados, para receber os painéis e ter a instalação solar também não foi levada em consideração em nosso estudo, uma vez que não consideramos nenhum tipo de investimento específico para o reforço do telhado existente e qualquer custo extra adicionado ao custo da instalação teria um impacto negativo na competitividade da fonte. Este investimento pode inclusive inviabilizar o investimento na planta, sendo bastante impactante na modelagem do custo nivelado de energia.

Há um grande *upside* não capturado pela modelagem proposta, no que diz respeito aos ganhos da tecnologia solar (tanto de produtividade quanto em custo de produção). A Figura 37 mostra os grandes ganhos da tecnologia solar ao longo dos anos. Esse e qualquer tipo de ganho tecnológico não está capturado no cálculo do LCOE. Desta forma, qualquer ganho tecnológico pode resultar em maior viabilidade das plantas no futuro.

⁸ O horário de ponta (somente nos dias úteis) ocorre de 19h às 22h, com os horários de 18h as 19h e de 22h às 23h sendo classificados como intermediário e o resto dos horários, assim como todos os horários nos fins de semana, são classificados como fora de ponta (ANEEL, 2017d).

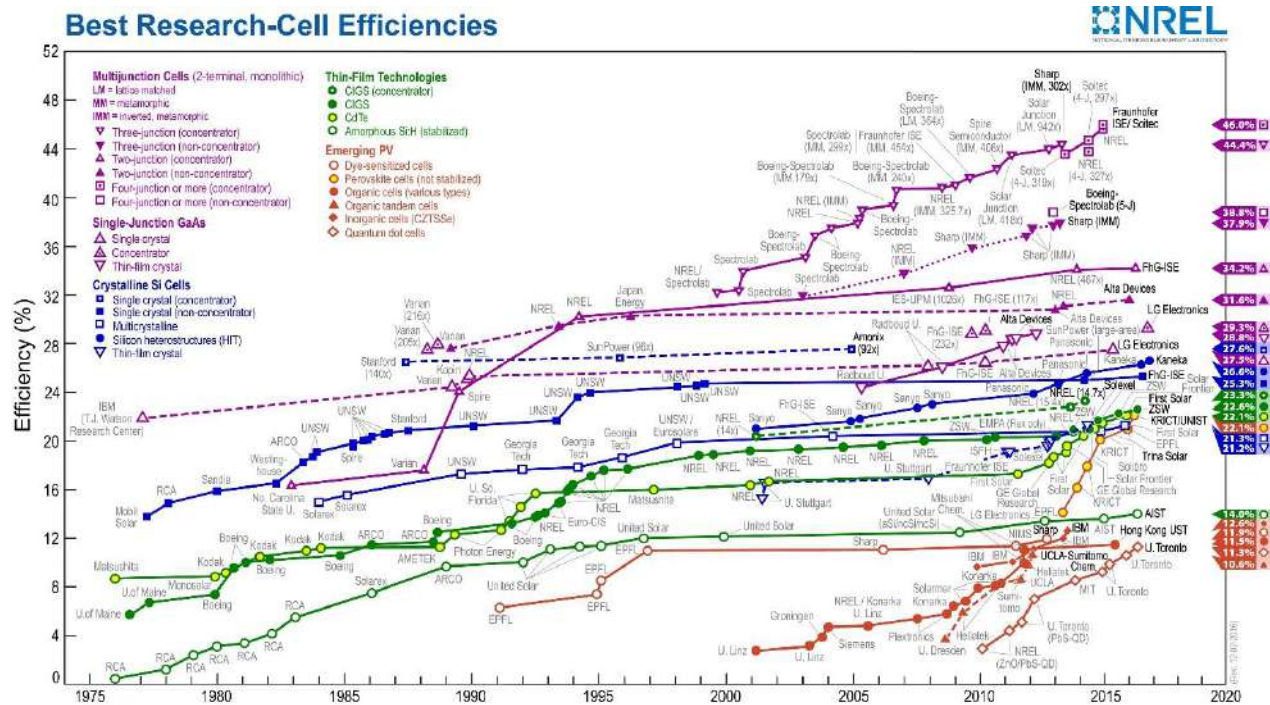


Figura 37 - Evolução da Eficiência de Diversas Tecnologias de Células Fotovoltaicas.

Fonte: (NREL, 2016a)

Apontado por diversas fontes e reportagens (WWF, 2015; ESTADÃO CONTEÚDO, 2014; COSTA, 2015) como um dos aspectos-chave a ser solucionado para que a geração solar deslanche no Brasil, o custo e disponibilidade de financiamento é, talvez, o ponto mais sensível da análise. O custo de capital é refletido diretamente na Taxa de Desconto assumida e pequenas alterações nessa taxa acarretam grandes mudanças no resultado – uma redução para 8%, por exemplo, faz com que apenas 3 distribuidoras apresentem resultados de não-viabilidade (dentro das categorias de bancos e postos de gasolina, com investimentos mais altos), enquanto uma alteração da Taxa de Desconto de 12% para 16% muda o panorama com 54 das 66 distribuidoras apresentando resultados não favoráveis – a Tabela 17 ilustra o impacto causado na viabilidade por alterações na Taxa de Desconto.

Tabela 17 - Simulação do Efeito da Taxa de Desconto na Viabilidade.

Número de áreas de concessão de distribuidoras sem viabilidade econômica

| Tx. Desconto | Postos e Agências de Banco | Educação |
|--------------|----------------------------|----------|
| 5% | 1 | 1 |
| 8% | 3 | 1 |
| 9% | 5 | 2 |
| 10% | 6 | 5 |
| 11% | 11 | 6 |
| 12% | 20 | 8 |
| 13% | 35 | 18 |
| 14% | 42 | 30 |
| 15% | 49 | 39 |
| 16% | 54 | 44 |
| 20% | 62 | 59 |

Fonte: Elaboração Própria

A Tabela 18 sumariza os fatores de sensibilidade analisados de forma breve no capítulo, com uma indicação qualitativa do efeito esperado conforme descrição no texto.

Tabela 18 - Resumo dos fatores de sensibilidade analisados.

| Fator de sensibilidade analisado | Upside (↑) / Downside (↓) |
|---|---------------------------|
| Queda da taxa de câmbio | ↑ |
| Compensação por abatimentos de C | ↑ |
| Tarifa Branca | ↓ |
| Instabilidade Regulatória | ↓ |
| Necessidade de Reforços dos telhados | ↓ |
| Avanço tecnológico | ↑ |
| Melhoria das condições de financiamento | ↑ |

Fonte: Elaboração Própria

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a queda dos preços dos sistemas fotovoltaicos ocorrendo de forma recorrente no mundo nos últimos 20 anos, a geração solar vem sendo destaque e parece estar encontrando diversos caminhos para ser cada vez mais relevante na geração elétrica futura.

O objetivo primário deste trabalho era construir uma metodologia replicável, que permitisse a avaliação do potencial da GD fotovoltaica no segmento comercial e de serviços no Brasil. Para tal, alguns setores pulverizados e com disponibilidade de dados que permitiam a execução da metodologia proposta – educação básica, postos de gasolina e agências de bancos – foram escolhidos e amostrados. Mais de 1.100 telhados foram medidos e analisados para permitir que uma estimativa desse potencial fosse auferida.

Representando menos de 5% dos endereços de unidades locais de empresas no Brasil, esses 3 setores apresentaram um potencial de mais de 30GWp de energia solar, e, de forma ainda mais representativa, cerca de 27GWp, ou 90%, dessa quantidade de painéis se provou economicamente viável *vis-à-vis* os preços de energia praticados no país hoje.

Por representar fatia tão pequena dos segmentos comerciais e de serviços no país, o primeiro ponto de melhoria e de estudos futuros é justamente a inclusão de outros setores nesta análise, tais quais concessionárias de veículos, hospitais, shopping centers, farmácias, restaurantes de *fast-food*, dentre diversos outros setores que compõe o comércio no país e que não foram alvo deste estudo.

Outro fator limitante à análise é que, na avaliação econômica, não foram levadas em conta as curvas de consumo típicas dos setores analisados. Com isso, não foi realizada uma análise, de fato, completa da economia gerada pela geração fotovoltaica e possíveis implicações de excedentes de geração, como também a interação entre geração e tarifas horo-sazonais. Isso é mais um fator que fica como um ponto de atenção para futuros estudos no tema.

Conforme citado durante a análise dos pontos de sensibilidade do modelo, as fontes e formatos de financiamento são uma vertente essencial na discussão da evolução da energia solar no Brasil (e no mundo) que foram pouco analisadas neste trabalho. O potencial de mercado da GD solar

é extremamente dependente dos modelos de negócio adotados e isso também é uma limitação e oportunidade de estudo futuro no tema. Estes são apenas alguns dos pontos que compõe a análise do potencial de mercado e que podem ser alvo de estudos futuros para transformar o número obtido para Potencial Econômico em um potencial de mercado, que pode ser significativamente menor, ou até nulo, se todas as condições de mercado não forem favoráveis.

Por fim, vale ressaltar que os resultados obtidos indicam um investimento potencial da ordem de R\$ 172 bilhões, valor este a ser investido em plantas solares viáveis. Isso é, plantas que de fato remuneram o investimento de seus donos, gerando uma energia limpa e mais competitiva do que a fornecida pelas distribuidoras de energia hoje. Há, portanto, evidências de que a fonte solar já seja competitiva hoje e tem condições para se tornar a primeira opção no setor de comércio ou serviço para geração alternativa de energia elétrica. Isso não somente pelo seu caráter sustentável, mas sim por esta ser a melhor opção do ponto de vista energético, e econômico.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR. **DECISÃO DO CONFAZ É CONSIDERADA COMO PASSO IMPORTANTE NA MICROGERAÇÃO.** set. 2015. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/decisao-do-confaz-e-considerada-como-passo-importante-na-microgeracao.html>>. Acesso em: 14 set. 2015.

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil.** 2 ed. Brasília : ANEEL. 2005. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2016.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 481, DE 17 DE ABRIL DE 2012.** abr.2012. Disponível em: <http://www.migalhas.com.br/arquivo_artigo/art20120525-05.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2015.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012.** abr.2012b. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2015.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015.** nov. 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2015

ANEEL. **Consumidores, Consumo, Receita e Tarifa Média – Região, Empresa e Classe de Consumo.** Disponível em: <http://relatorios.aneel.gov.br/_layouts/xlviewer.aspx?id=/RelatoriosSAS/RelSAMPRegiaoEmp.xlsx&Source=http%3A%2F%2Frelatorios%2Eaneel%2Egov%2Ebr%2FRelatoriosSAS%2FForms%2FAIItems%2Easpx&DefaultItemOpen=1>. Acesso em: 12 de dez de 2016.

ANEEL. **EXPANSÃO DA OFERTA DE ENERGIA ELÉTRICA – Acompanhamento das Centrais Geradoras Fotovoltaicas.** fev. 2017a. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/655816/15189307/Ralie_UFV_fev_17.pdf/42bb89c8-80f1-4791-b4fd-777fd992269d>. Acesso em: 12 fev. 2017.

ANEEL. **UNIDADES CONSUMIDORAS COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA. 2017b.** Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Fonte.asp>. Acesso em: 12 fev. 2017.

ANEEL. **O que é tarifa branca?.** 2017c. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/tarifa-branca>>. Acesso em: 02 jan. 2017.

ANP. **ABASTECIMENTO EM NÚMEROS.** Ano 11. Nº 51. jun. 2016. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/?dw=82587>>. Acesso em: 28 ago. 2016.

ANP. **Consulta Postos Brasil.** 2016. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/postos/consulta.asp>>. Acesso em: 21 nov. 2016.

ARDANI, K., *et al.* **Installed Cost Benchmarks and Deployment Barriers for Residential Solar Photovoltaics with Energy Storage: Q1 2016.** Estados Unidos, fev. 2017. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/fy17osti/67474.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2017.

BACEN. **AGÊNCIAS DE INSTITUIÇÕES SOB A SUPERVISÃO DO BACEN, EM FUNCIONAMENTO NO PAÍS – Posição em 31.11.2016.** 2016. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/fis/info/agencias.asp>>. Acesso em 2 dez. 2016.

BARBOSA, W.P.; AZEVEDO, A.C.S. de. “GERAÇÃO DISTRIBUÍDA: VANTAGENS E DESVANTAGENS”. **II Simpósio de Estudos e Pesquisas em Ciências Ambientais na Amazônia.** 126, Belém, Pará, Brasil. 19-21 nov. 2013. Disponível em: <http://paginas.uepa.br/pcambientais/simposio/anais_artigos_vol_2_simposio_2013.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2017.

BARBOSE, G.; DRAGHOUTH, N. **Tracking the Sun VIII.** Estados Unidos, ago. 2015. Disponível em: <https://emp.lbl.gov/sites/all/files/lbnl-188238_2.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2016.

CCEE. **Resultado Consolidado dos Leilões.** Brasil, 2017. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/aceso_rapido_header_publico_nao_logado/biblioteca_virtual?tipo=Resultado%20Consolidado&assunto=Leilão&_afLoop=912576581587506>. Acesso em: 10 fev. 2017.

CONFAZ. **CONVÊNIO ICMS 16, DE 22 DE ABRIL DE 2015.** abr. 2015. Disponível em: <https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2015/cv016_15>. Acesso em: 20 ago. 2016.

CORRAR, L. J.; THEÓFILO, C.R. **PESQUISA OPERACIONAL PARA DECISÃO EM CONTABILIDADE E ADMINISTRAÇÃO.** 2ed., 4. reimpr. São Paulo, Atlas, 2011.

COSTA, H. S. **Por que a energia solar não deslança no Brasil.** Carta Capital, São Paulo, 04 set. 2015. Disponível em: <<http://www.cartacapital.com.br/blogs/outras-palavras/por-que-a-energia-solar-nao-deslanca-no-brasil-3402.html>>. Acesso em: 28 dez. 2016.

DAFTLOGIC. **Google Maps Area Calculator.** 2017. Disponível em: <<https://www.daftlogic.com/projects-google-maps-area-calculator-tool.htm>>. Múltiplos acessos.

DE NEUFVILLE, R.; CLARK, J.; FIELD, F.R. **Choice of Discount Rate.** 2016. Disponível em: <http://ardent.mit.edu/real_options/RO_current_lectures/DRChoice02.PDF>. Acesso em: 29 set. 2016.

DE SOUSA, B.X.; NERYS, J.W. “Estudo de Caso de Geração Distribuída Fotovoltaica de Pequeno Porte Conectada à Rede de Distribuição”. **IV Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos.** 97049, Goiânia, Goiás, Brasil. 15-18 mai. 2012. Disponível em: <<http://www.swge.inf.br/anais/sbse2012/PDFS/ARTIGOS/97049.PDF>>. Acesso em: 20 ago. 2016.

DE VISSER, E.; HELD, A. **Methodologies for estimating Levelised Cost of Electricity (LCOE),** jul. 2014. Disponível em: <http://res-cooperation.eu/images/pdf-reports/ECOFYS_Fraunhofer_Methodologies_for_estimating_LCoE_Final_report.pdf>. Acesso em: 20 set. 2016.

DIEARAUF, T. *et al.* **Weather-Corrected Performance Ratio.** abr. 2013. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/fy13osti/57991.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2016.

ENBAR, N. **Utility/Lab Workshop on PV Technology and Systems**. 2010, Tempe. PV O&M Best Practices. Tempe, Arizona, Estados Unidos. 8-9 nov. 2010. Disponível em: <<http://docplayer.net/15837875-Pv-o-m-best-practices-nadav-enbar-sr-project-manager-nenbar-epri-com-303-551-5208.html>>. Acesso em: 15 out. 2016.

EPE. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Rio de Janeiro, mai. 2012. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/Estudos_23/NT_EnergiaSolar_2012.pdf>. Acesso em: 30 mai. 2016.

EPE. **Taxa de desconto aplicada na avaliação das alternativas de expansão**. Rio de Janeiro, dez. 2013. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/documentos/DEA%2027-13%20-%20Taxa%20de%20Desconto.pdf>. Acesso em: 20 set. 2016.

EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Empresa de Pesquisa Energética, 2015. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/PDEE/Relat%C3%B3rio%20Final%20do%20PDE%202024.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2016.

EPE. **O Compromisso do Brasil no Combate às Mudanças Climáticas: Produção e Uso de Energia**. Rio de Janeiro, jun. 2016a. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/NT%20COP21%20iNDC.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2017.

EPE. **Balço Energético Nacional 2016 - Relatório Síntese | ano base 2015 |**. Rio de Janeiro, jun. 2016b. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2016_Web.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2016.

EPE. **Balço Energético Nacional 2016: Ano base 2015 / Empresa de Pesquisa Energética**. Rio de Janeiro : EPE, 2016c. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2016.

ESTADÃO CONTEÚDO. **Os desafios da energia solar no Brasil**. Época Negócios, São Paulo, 29 set. 2014. Disponível em: <<http://epocanegocios.globo.com/Informacao/Acao/noticia/2014/09/os-desafios-da-energia-solar-no-brasil.html>>. Acesso em: 23 jan. 2017.

FRANKFURT SCHOOL-UNEP CENTRE/BNEF. **GLOBAL TRENDS IN RENEWABLE ENERGY INVESTMENT 2016**. 2016. Disponível em: <http://fs-unesp-centre.org/sites/default/files/publications/globaltrendsinrenewableenergyinvestment2016lowres_0.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2016.

FRAUNHOFER ISE. **PHOTOVOLTAICS REPORT**. Freiburg, 17 nov. 2016. Disponível em: < <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2016.

FU, R. *et al.* **U.S. Solar Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 2016**. Golden, Colorado, Estados Unidos, set. 2016. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/fy16osti/66532.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2016.

GAGNON, P. *et al.* **Rooftop Solar Photovoltaic Technical Potential in the United States: A Detailed Assessment**. Golden, Colorado, Estados Unidos, jan. 2016. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/fy16osti/65298.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2016.

GOOGLE. **Google Maps**. 2017. Disponível em: < <https://www.google.com.br/maps>>. Múltiplos acessos.

GROUMPOS, P.P.; KHOUZAM, K. "A GENERIC APPROACH TO THE SHADOW EFFECT OF LARGE SOLAR POWER SYSTEMS". **Solar Cells**, 22, p.29-46, 1987. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/222460983_A_generic_approach_to_the_shadow_effect_of_large_solar_power_systems>. Acesso em: 20 set. 2016.

HERDERSCHEE-HUNTER, G. **Volume Discounts to Help Cabin John Become Solar John**. The Village News, Volume 42, Issue 5, fev.2009. Disponível em: < <http://www.cabinjohn.org/wp-content/uploads/2012/08/2009-02.pdf>>. Acesso em 15 jan. 2017.

IBGE. **Estatísticas do cadastro central de empresas 2014**. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: < <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv97205.pdf>>. Acesso em 15 jun. 2016.

IBGE. **Pesquisa Anual de Serviços - 2014**. 2017. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/comercioeservico/pas/pas2014/default.shtm>>. Acesso em 21 jan. 2017.

ICF International. **Photovoltaic (PV) Cost and Performance Characteristics for Residential and Commercial Applications - Final Report**. ago. 2010. Disponível em: < <https://www.eia.gov/analysis/studies/distribgen/system/pdf/full.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2016.

IEA. **Key world energy statistics**. set. 2016. Disponível em: < <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2016.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2017.

IFAB. **4. DIMENSIONS FOR INTERNATIONAL MATCHES**. mai. 2016. Disponível em: < <http://theifab.com/laws/the-field-of-play/chapters/dimensions-for-international-matches>>. Acesso em: 18 jan. 2017.

INEP. **Sinopse Estatística da Educação Básica 2015**. Brasília: Inep, 2016. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/basica-censo-escolar-sinopse-sinopse>>. Acesso em: 18 jun. 2016.

INEP. **Data Escola Brasil**. 2017. Disponível em: < <http://www.dataescolabrasil.inep.gov.br/dataEscolaBrasil/home.seam>>. Múltiplos acessos.

INSITUTO IDEAL. **O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica – Edição 2016.** dez. 2016. Disponível em: <https://issuu.com/idealeco_logicas/docs/estudofv2016_en>. Acesso em 20 set. 2016.

IZQUIERDO, S.; RODRIGUES, M.; FUEYO, N. “A method for estimating the geographical distribution of the available roof surface area for large-scale photovoltaic energy-potential evaluations”. **Solar Energy**, 82, p.929-939, 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/245169921_A_method_for_estimating_the_geographical_distribution_of_the_available_roof_surface_area_for_large-scale_photovoltaic_energy-potential_evaluations>. Acesso em: 20 ago. 2016.

JORDAN, D.C.; KURTZ, S.R. **Photovoltaic Degradation Rates — An Analytical Review.** Golden, Colorado, Estados Unidos, jun. 2012. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/fy12osti/51664.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2016.

KOST, C. *et al.* **Levelized cost of electricity renewable energy technologies.** Freiburg, Alemanha, nov. 2013. Disponível em: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISE_LCOE_Renewable_Energy_technologies.pdf>. Acesso em: 10 set. 2016.

LAMIN, H. **Geração Distribuída - Audiência Pública no Senado Federal.** 2016, Brasília. Micro e Mini Geração Distribuída – Regulação. Brasília, DF, Brasil, 15 set. 2016. Disponível em: <<http://www19.senado.gov.br/sdleg-getter/public/getDocument?docverid=12b6fb15-4e74-4ca0-9fc7-420d9648fdc1;1.0>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

LANGE, W.J. **Metodologia de mapeamento da área potencial de telhados de edificações residenciais no Brasil para fins de aproveitamento energético fotovoltaico.** nov. 2012. Disponível em: <https://energypedia.info/images/4/40/Metodologia_de_mapeamento_da_%C3%A1rea_potencial_de_telhados_residenciais_para_PV_no_Brasil.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2016.

LATOURE, M. – **NET METERING AND SELF CONSUMPTION SCHEMES IN EUROPE**, set. de 2013. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCAQFjAAahUKEwi75qCcu_rHAhWCF5AKHdvXCZk&url=http%3A%2F%2Fwww.iea-pvps.org%2Findex.php%3Fid%3D15%26elD%3Ddam_frontend_push%26docID%3D1697&usq=AFQjCNFububEVTZcUV3AejRYcAjUqWUDwA&sig2=yddw53AnvtJDxMgR7Z7Saw>. Acesso em: 15 set. 2015.

LAZARD. **LAZARD'S LEVELIZED COST OF ENERGY ANALYSIS – VERSION 10.0.** dez. 2016. Disponível em: <<https://www.lazard.com/media/438038/levelized-cost-of-energy-v100.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2017.

LEHMANN, H.; PETER, S. **ASSESSMENT OF ROOF & FAÇADE POTENTIALS FOR SOLAR USE IN EUROPE.** 2003. Disponível em: <<http://sustainable-soli.com/downloads/roofs.pdf>>. Acesso em: 8 out. 2016.

LEVINE, D.M., *et al.* **STATISTICS FOR MANAGERS USING Microsoft Excel**. 5 ed. Estados Unidos, Pearson Custom Publishing, 2008.

LUCKOW, P. *et al.* **Technical and Institutional Barriers to the Expansion of Wind and Solar Energy**. Estados Unidos, 19 jun. 2015. Disponível em: <http://www.synapse-energy.com/sites/default/files/Barriers-to-Wind-and-Solar-15-047_0.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2017.

LUZ, V.S.; LIMA, G.B.A. "ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DE SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DE MICRO E MINI GERAÇÃO DISTRIBUÍDA INCENTIVADA". **RELATÓRIOS DE PESQUISA EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, vol. 14, nº A1, p.1-12, 2014. Disponível em: <http://www.producao.uff.br/antigo/images/rpep/2014/A1_ViniciusLuz.pdf>. Acesso em: 17 out. 2016.

MARION, B., *et al.* **31st IEEE Photovoltaics Specialists Conference and Exhibition**. 2005, Lake Buena Vista. Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems. Lake Buena Vista, Flórida, Estados Unidos, 3-7 jan. 2005. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/fy05osti/37358.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2016.

MARTINS, F.R; ABREU, S.L. "RENEWABLE ENERGY RESSOURCES IN BRAZIL – SWERA PRODUCTS". **ISES Solar World Congress 2005**. Orlando, Flórida, Estados Unidos, 8-12 ago. 2005. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/eventos/ISES2005_FRMartins_etal.pdf>. Acesso em: 24 out. 2016.

MEDEIROS, M.B.D.A. **Estudo de Caso de Geração distribuída - tecnologias solar e eólica no projeto " Cidade Inteligente" da Ampla e análise da penetração destas tecnologias na cidade de Armação de Búzios, em um horizonte de 20 anos a frente (2012 a 2032)**. 2012. Disponível em: <<http://cidadeinteligentebuzios.com.br/wp-content/themes/cidadeinteligente/assets/images/artigos/artigo13.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2016.

MIRANDA, R.F.C., 2013, **ANÁLISE DA INSERÇÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO SETOR RESIDENCIAL BRASILEIRO**. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/miranda.pdf>>. Acesso em 3 mar. 2016.

MME. **PORTARIA Nº 705, DE 14 DE DEZEMBRO DE 2016**. dez. 2016. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/editais_geracao/documentos/ad2cb17d-410f-4e17-b527-5d5699fe2801.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2017.

NAKABAYASHI, R. **MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA NO BRASIL: VIABILIDADE ECONÔMICA**. mar. 2015. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/mifoto.pdf>>. Acesso em: 30 mai. 2016.

NREL. **Best Research-Cell Efficiencies**. 12 dez. 2016a. Disponível em <<https://www.nrel.gov/pv/assets/images/efficiency-chart.png>>. Acesso em 13 jan. 2017.

NREL. **Distributed Generation Renewable Energy Estimate of Costs**. fev. 2016a. Disponível em <http://www.nrel.gov/analysis/tech_lcoe_re_cost_est.html>. Acesso em 23 dez. 2016.

NREL. **Useful Life**. 22 mar. 2016a. Disponível em: <http://www.nrel.gov/analysis/tech_footprint.html>. Acesso em: 23 dez. 2016.

OWENS, B. **THE RISE OF DISTRIBUTED POWER**. 2014. Disponível em: <<https://www.ge.com/sites/default/files/2014%2002%20Rise%20of%20Distributed%20Power.pdf>>. Acesso em: 30 jan. 2017.

PEREIRA, E.B.; *et al.* **ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR**. 1 ed. São José dos Campos, 2006. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2016.

PINHO, J.T.; GALDINO, M.A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, mar. 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 28 set. 2016.

PORTAL BRASIL. **Leilão consolida energia solar na matriz energética brasileira**. nov. 2015. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2015/11/leilao-consolida-energia-solar-na-matriz-energetica-brasileira>>. Acesso em: 8 fev. 2017.

POULLIKKAS, A.; KOURTIS, G.; HADJIPASCHALIS, I. **A REVIEW OF NET METERING MECHANISM FOR ELECTRICITY RENEWABLE ENERGY SOURCES**, 2013. Disponível em: <http://www.ijee.ieefoundation.org/vol4/issue6/IJEE_06_v4n6.pdf>. Acesso em: 15 set. 2015.

REN 21. **RENEWABLES 2016 GLOBAL STATUS REPORT 2016**. 2016. Disponível em: <http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_Full_Report.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2017.

RENNÉ, D., *et al.* "Results of Solar Resource Assessments in the UNEP/SWERA Project". **ISES Solar World Congress 2005**. Orlando, Flórida, Estados Unidos, 8-12 ago. 2005. Disponível em <https://power.larc.nasa.gov/publications/swc2005_1817.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2016.

RODRIGUEZ, C.R.C. 2002, **Mecanismos Regulatórios, Tarifários e Econômicos na Geração Distribuída: O Caso dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede**. Dissertação de M.Sc., Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/documents/Tese_Carlos.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2016.

RUSCHEL, J.R.; LANDEIRA, J.; MITIDIERI, M. "PV Distributed Generation State of the Art in Brazil". **SNEC (2012) PV POWER EXPO**, PO-131, Shanghai, China, mai. 2012.

SEVERINO, M.M; CAMARGO, I.M.T; DE OLIVEIRA, M.A.G. "Geração distribuída: discussão conceitual e nova definição". **Revista Brasileira de Energia**, v.14, n.1, p.47-69, 2008. Disponível em: <<http://www.sbpe.org.br/socios/download.php?id=220>>. Acesso em: 31 jan. 2017.

SIGEL. **SIGEL**. 2017. Disponível em: <<http://sigel.aneel.gov.br/portal/home/index.html>>. Múltiplos acessos.

SMA. **Performance ratio – Quality Factor for the PV Plant**. 2011. Disponível em: <<http://files.sma.de/dl/7680/Perfratio-TI-en-11.pdf>>. Acesso em: 21 dez. 2016.

SWERA. **Solar and Wind Energy Resource Assessment**. 2016. Disponível em: <<https://maps.nrel.gov/swera/#/?aL=0&bL=groad&cE=0&IR=0&mC=40.21244%2C-91.625976&zL=4>>. Acesso em: 12 out. 2016.

TOLMASQUIN, M.T., *et al.* **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica** / Mauricio Tiomno Tolmasquim (coord.). – EPE: Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Documents/Energia%20Renov%C3%A1vel%20-%20Online%2016maio2016.pdf>>. Acesso em: 19 dez. 2016.

VAN SARK, W.G.J.H.M., *et al.* “REVIEW OF PV PERFORMANCE RATIO DEVELOPMENT”. **World Renewable Energy Forum, WREF 2012**, Denver, Estados Unidos, Volume: 6, mai. 2012. Disponível em: <https://ases.conference-services.net/resources/252/2859/pdf/SOLAR2012_0900_full%20paper.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2016.

VARELA, I. **Alemanha é o país com maior investimento em energia solar do mundo**. 14 mar. 2014. Disponível em: <<http://www.procel.gov.br/main.asp?View=%7B8D1AC2E8-F790-4B7E-8DDD-CAF4CDD2BC34%7D&Team=¶ms=itemID=%7B1E093CFD-3960-41AC-9277-3B1541D488EB%7D;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D>>. Acesso em 22 mar. 2017.

VARTIAINEN, E.; MASSON, G.; BREYER, C. **PV LCOE IN EUROPE 2014-30 – FINAL REPORT, 23 JUNE 2015**. jun. 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/279866989_PV_LCOE_in_Europe_2014-30>. Acesso em: 12 fev. 2017.

VERZOLA, R. **NET METERING OPENS THE FLOODGATES TO SOLAR ROOFTOPS AND OTHER RENEWABLES**, mar. 2015. Disponível em: <<http://cleantechnica.com/files/2015/09/net-metering-thefullstory.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2015.

WEC (World Energy Council). **World Energy Perspective - Cost of Energy Technologies**. 2013. Disponível em: <https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/WEC_J1143_CostofTECHNOLOGIES_021013_WEB_Final.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2016.

WIGINTON, L.K.; NGUYEN, H.T.; PEARCE, J.M. “Quantifying Solar Photovoltaic Potential on a Large Scale for Renewable Energy Regional Policy”, **Computers, Environment and Urban Systems** **34**, 2010, p. 345-357. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2010.01.001>>. Acesso em: 19 nov. 2016.

WWF. **Desafios e Oportunidades para a energia solar fotovoltaica no Brasil: recomendações para políticas públicas.** 1ª ed. Brasília, DF, Brasil. 2015. Disponível em: <http://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/15_6_2015_wwf_energ_solar_final_web_3.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2016.

YINGLI. **YGE 60 CÉLULAS SÉRIE 2.** 2016. Disponível em: <http://d9no22y7yqre8.cloudfront.net/assets/uploads/products/downloads/DS_YGE60Cell-29b_35mm_BR_May%202015_YBS_Press.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2016.

Anexo A – Resultados Detalhados

Tabela A.1 - Resultados Detalhados para o setor de educação básica, por grupo de estudo.

| Sigla da Distribuidora | Tarifa ANEEL consumidor comercial, com impostos - set/16 (R\$/MWh) | Número de endereços - Educação Básica | Potência Instalada Estimada, em MWp | Energia gerada no ano 0, em GWh/ano | Investimento, em milhões de R\$ | LCOE, em R\$/MWh | Análise da Viabilidade | Delta (LCOE-Tarifa ANEEL) |
|------------------------|--|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|------------------|------------------------|---------------------------|
| AES Sul | R\$ 731,31 | 3056 | 458,53 | 650,34 | R\$ 2.884,18 | R\$ 571,68 | sim | R\$ 159,63 |
| Amazonas Energia | R\$ 525,00 | 5492 | 824,04 | 1124,30 | R\$ 5.183,23 | R\$ 594,28 | não | -R\$ 69,28 |
| Ampla | R\$ 797,44 | 4368 | 655,39 | 994,85 | R\$ 4.122,42 | R\$ 534,16 | sim | R\$ 263,28 |
| Bandeirante | R\$ 617,32 | 3024 | 453,73 | 640,80 | R\$ 2.853,98 | R\$ 574,12 | sim | R\$ 43,20 |
| Boa Vista Energia | R\$ 476,36 | 223 | 33,46 | 47,09 | R\$ 210,46 | R\$ 576,13 | não | -R\$ 99,77 |
| Caiuá-D | R\$ 561,09 | 417 | 62,57 | 98,35 | R\$ 393,56 | R\$ 515,83 | sim | R\$ 45,26 |
| Eletrocar | R\$ 659,66 | 86 | 12,90 | 19,27 | R\$ 81,16 | R\$ 543,07 | sim | R\$ 116,59 |
| CERON | R\$ 624,27 | 1316 | 197,46 | 276,65 | R\$ 1.242,01 | R\$ 578,72 | sim | R\$ 45,55 |
| CELESC | R\$ 602,31 | 5928 | 889,46 | 1230,84 | R\$ 5.594,71 | R\$ 585,93 | sim | R\$ 16,38 |
| CELPA | R\$ 731,81 | 11227 | 1684,55 | 2415,01 | R\$ 10.595,79 | R\$ 565,57 | sim | R\$ 166,24 |
| CEMAT | R\$ 729,58 | 2712 | 406,92 | 615,68 | R\$ 2.559,52 | R\$ 535,90 | sim | R\$ 193,68 |
| CPFL Santa Cruz | R\$ 644,90 | 470 | 70,52 | 111,47 | R\$ 443,58 | R\$ 512,97 | sim | R\$ 131,93 |
| COCEL | R\$ 620,21 | 96 | 14,40 | 20,28 | R\$ 90,60 | R\$ 576,02 | sim | R\$ 44,19 |
| ELETROACRE | R\$ 601,87 | 1649 | 247,42 | 351,39 | R\$ 1.556,29 | R\$ 570,91 | sim | R\$ 30,96 |
| CEA | R\$ 330,84 | 837 | 125,59 | 179,39 | R\$ 789,94 | R\$ 567,63 | não | -R\$ 236,79 |
| COELBA | R\$ 609,52 | 18380 | 2757,81 | 4079,00 | R\$ 17.346,63 | R\$ 548,19 | sim | R\$ 61,33 |
| ETO | R\$ 739,15 | 1677 | 251,62 | 389,60 | R\$ 1.582,71 | R\$ 523,67 | sim | R\$ 215,48 |
| CEAL | R\$ 575,83 | 3145 | 471,89 | 695,24 | R\$ 2.968,18 | R\$ 550,33 | sim | R\$ 25,50 |
| CEB | R\$ 558,56 | 1177 | 176,60 | 281,17 | R\$ 1.110,83 | R\$ 509,27 | sim | R\$ 49,29 |
| CELG | R\$ 917,87 | 4505 | 675,95 | 1056,58 | R\$ 4.251,72 | R\$ 518,72 | sim | R\$ 399,15 |
| CEMIG | R\$ 712,86 | 15274 | 2291,77 | 3568,50 | R\$ 14.415,26 | R\$ 520,73 | sim | R\$ 192,13 |
| CELPE | R\$ 589,08 | 9243 | 1386,86 | 1968,50 | R\$ 8.723,33 | R\$ 571,24 | sim | R\$ 17,84 |
| CERR | R\$ 501,83 | 576 | 86,43 | 122,32 | R\$ 543,62 | R\$ 572,90 | não | -R\$ 71,07 |
| COELCE | R\$ 618,00 | 8074 | 1211,46 | 1785,53 | R\$ 7.620,06 | R\$ 550,13 | sim | R\$ 67,87 |
| CEMAT | R\$ 587,29 | 12680 | 1902,56 | 2764,02 | R\$ 11.967,10 | R\$ 558,11 | sim | R\$ 29,18 |
| CEPISA | R\$ 548,78 | 5235 | 785,48 | 1218,98 | R\$ 4.940,67 | R\$ 522,47 | sim | R\$ 26,31 |
| COSERN | R\$ 560,22 | 3674 | 551,26 | 807,06 | R\$ 3.467,44 | R\$ 553,83 | sim | R\$ 6,39 |
| CEEE | R\$ 708,48 | 2914 | 437,23 | 617,25 | R\$ 2.750,17 | R\$ 574,34 | sim | R\$ 134,14 |
| CFLO | R\$ 653,25 | 124 | 18,61 | 27,10 | R\$ 117,03 | R\$ 556,64 | sim | R\$ 96,61 |
| CHESP | R\$ 877,36 | 81 | 12,15 | 18,75 | R\$ 76,45 | R\$ 525,62 | sim | R\$ 351,74 |
| CPFL Jaguarí | R\$ 517,96 | 83 | 12,45 | 20,04 | R\$ 78,33 | R\$ 503,81 | sim | R\$ 14,15 |
| CPFL Leste Paulista | R\$ 562,36 | 120 | 18,01 | 29,29 | R\$ 113,25 | R\$ 498,38 | sim | R\$ 63,98 |
| CPFL Mococa | R\$ 611,66 | 75 | 11,25 | 18,30 | R\$ 70,78 | R\$ 498,72 | sim | R\$ 112,94 |

| Sigla da Distribuidora | Tarifa ANEEL consumidor comercial, com impostos - set/16 (R\$/MWh) | Número de endereços - Educação Básica | Potência Instalada Estimada, em MWp | Energia gerada no ano 0, em GWh/ano | Investimento, em milhões de R\$ | LCOE, em R\$/MWh | Análise da Viabilidade | Delta (LCOE- Tarifa ANEEL) |
|------------------------|---|---|--|--|------------------------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------------|
| CNEE | R\$ 548,25 | 188 | 28,21 | 45,58 | R\$ 177,43 | R\$ 501,85 | sim | R\$ 46,40 |
| COPEL | R\$ 616,03 | 9152 | 1373,20 | 1896,49 | R\$ 8.637,45 | R\$ 587,09 | sim | R\$ 28,94 |
| CPFL Paulista | R\$ 569,19 | 6783 | 1017,75 | 1622,06 | R\$ 6.401,64 | R\$ 508,74 | sim | R\$ 60,45 |
| CPFL Piratininga | R\$ 609,85 | 2528 | 379,31 | 581,59 | R\$ 2.385,87 | R\$ 528,81 | sim | R\$ 81,04 |
| CPFL Sul Paulista | R\$ 578,05 | 185 | 27,76 | 42,00 | R\$ 174,60 | R\$ 535,90 | sim | R\$ 42,15 |
| SULGIPE | R\$ 709,77 | 471 | 70,67 | 101,66 | R\$ 444,52 | R\$ 563,63 | sim | R\$ 146,14 |
| COOPERALIANÇA | R\$ 672,32 | 76 | 11,40 | 16,24 | R\$ 71,73 | R\$ 569,38 | sim | R\$ 102,94 |
| DMED | R\$ 676,11 | 102 | 15,30 | 24,36 | R\$ 96,27 | R\$ 509,35 | sim | R\$ 166,76 |
| DMEI | R\$ 532,74 | 75 | 11,25 | 16,75 | R\$ 70,78 | R\$ 544,77 | não | -R\$ 12,03 |
| Elektro | R\$ 604,42 | 4530 | 679,70 | 1109,71 | R\$ 4.275,31 | R\$ 496,63 | sim | R\$ 107,79 |
| AES Eletropaulo | R\$ 496,43 | 9722 | 1458,73 | 2005,82 | R\$ 9.175,40 | R\$ 589,67 | não | -R\$ 93,24 |
| EDEVP | R\$ 574,51 | 336 | 50,41 | 80,17 | R\$ 317,11 | R\$ 509,88 | sim | R\$ 64,63 |
| EEB | R\$ 651,46 | 280 | 42,01 | 64,13 | R\$ 264,26 | R\$ 531,19 | sim | R\$ 120,27 |
| Energisa MS | R\$ 628,73 | 1603 | 240,52 | 387,35 | R\$ 1.512,88 | R\$ 503,47 | sim | R\$ 125,26 |
| EFLJC | R\$ 900,81 | 13 | 1,95 | 2,74 | R\$ 12,27 | R\$ 577,37 | sim | R\$ 323,44 |
| EFLUL | R\$ 678,90 | 23 | 3,45 | 4,86 | R\$ 21,71 | R\$ 575,57 | sim | R\$ 103,33 |
| ELFSM | R\$ 639,20 | 373 | 55,97 | 78,27 | R\$ 352,03 | R\$ 579,74 | sim | R\$ 59,46 |
| Energisa Borborema | R\$ 565,03 | 572 | 85,83 | 124,15 | R\$ 539,84 | R\$ 560,54 | sim | R\$ 4,49 |
| Energisa MG | R\$ 653,16 | 939 | 140,89 | 211,55 | R\$ 886,21 | R\$ 540,00 | sim | R\$ 113,16 |
| Energisa NF | R\$ 804,81 | 211 | 31,66 | 46,75 | R\$ 199,14 | R\$ 549,11 | sim | R\$ 255,70 |
| Energisa PB | R\$ 574,42 | 4868 | 730,41 | 1040,35 | R\$ 4.594,31 | R\$ 569,27 | sim | R\$ 5,15 |
| Energisa SE | R\$ 571,76 | 1842 | 276,38 | 416,05 | R\$ 1.738,44 | R\$ 538,62 | sim | R\$ 33,14 |
| ESCELSA | R\$ 663,10 | 2895 | 434,38 | 641,41 | R\$ 2.732,24 | R\$ 549,11 | sim | R\$ 113,99 |
| FORCEL | R\$ 754,64 | 24 | 3,60 | 5,46 | R\$ 22,65 | R\$ 534,93 | sim | R\$ 219,71 |
| HIDROPAN | R\$ 630,40 | 44 | 6,60 | 9,86 | R\$ 41,53 | R\$ 543,17 | sim | R\$ 87,23 |
| IENERGIA | R\$ 606,18 | 94 | 14,10 | 21,44 | R\$ 88,72 | R\$ 533,39 | sim | R\$ 72,79 |
| Light | R\$ 773,51 | 6429 | 964,63 | 1462,41 | R\$ 6.067,54 | R\$ 534,83 | sim | R\$ 238,68 |
| MUXFELDT | R\$ 623,61 | 25 | 3,75 | 5,63 | R\$ 23,59 | R\$ 539,90 | sim | R\$ 83,71 |
| RGE | R\$ 619,55 | 3689 | 553,51 | 789,44 | R\$ 3.481,59 | R\$ 568,50 | sim | R\$ 51,05 |
| RS_COOPERATIVA | R\$ 588,97 | 129 | 19,36 | 29,12 | R\$ 121,75 | R\$ 538,92 | sim | R\$ 50,05 |
| SC_COOPERATIVA | R\$ 530,02 | 188 | 28,21 | 39,68 | R\$ 177,43 | R\$ 576,47 | não | -R\$ 46,45 |
| SP_COOPERATIVA | R\$ 567,98 | 63 | 9,45 | 13,42 | R\$ 59,46 | R\$ 571,13 | não | -R\$ 3,15 |
| UHENPAL | R\$ 889,13 | 51 | 7,65 | 10,80 | R\$ 48,13 | R\$ 574,57 | sim | R\$ 314,56 |
| TOTAIS | | 186441 | 27974,37 | 41190,20 | R\$ 175.958,79 | | | |

Fonte: Elaboração Própria

Tabela A.2 – Resultado detalhado para o Setor de Postos de Gasolina, por grupo de estudo.

| Sigla da Distribuidora | Tarifa ANEEL consumidor comercial, com impostos - set/16 (R\$/MWh) | Número de Endereços - Postos de Gasolina | Potência Instalada Estimada, em MWp | Energia gerada no ano 0, em GWh/ano | Investimento, em milhões de R\$ | LCOE, em R\$/MWh | Análise da Viabilidade | Delta (LCOE-Tarifa ANEEL) |
|------------------------|--|--|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|------------------|------------------------|---------------------------|
| AES Sul | R\$ 731,31 | 929 | 44,58 | 63,23 | R\$ 300,94 | R\$ 613,49 | sim | R\$ 117,82 |
| Amazonas Energia | R\$ 525,00 | 640 | 30,71 | 41,91 | R\$ 207,32 | R\$ 637,74 | não | -R\$ 112,74 |
| Ampla | R\$ 797,44 | 944 | 45,30 | 68,77 | R\$ 305,80 | R\$ 573,22 | sim | R\$ 224,22 |
| Bandeirante | R\$ 617,32 | 782 | 37,53 | 53,00 | R\$ 253,32 | R\$ 616,11 | sim | R\$ 1,21 |
| Boa Vista Energia | R\$ 476,36 | 67 | 3,22 | 4,53 | R\$ 21,70 | R\$ 618,27 | não | -R\$ 141,91 |
| Caiuá-D | R\$ 561,09 | 201 | 9,65 | 15,16 | R\$ 65,11 | R\$ 553,55 | sim | R\$ 7,54 |
| Eletrocar | R\$ 659,66 | 35 | 1,68 | 2,51 | R\$ 11,34 | R\$ 582,78 | sim | R\$ 76,88 |
| CERON | R\$ 624,27 | 572 | 27,45 | 38,46 | R\$ 185,30 | R\$ 621,04 | sim | R\$ 3,23 |
| CELESC | R\$ 602,31 | 1877 | 90,08 | 124,65 | R\$ 608,04 | R\$ 628,78 | não | -R\$ 26,47 |
| CELPA | R\$ 731,81 | 1079 | 51,78 | 74,24 | R\$ 349,54 | R\$ 606,93 | sim | R\$ 124,88 |
| CEMAT | R\$ 729,58 | 1070 | 51,35 | 77,70 | R\$ 346,62 | R\$ 575,09 | sim | R\$ 154,49 |
| CPFL Santa Cruz | R\$ 644,90 | 160 | 7,68 | 12,14 | R\$ 51,83 | R\$ 550,49 | sim | R\$ 94,41 |
| COCEL | R\$ 620,21 | 22 | 1,06 | 1,49 | R\$ 7,13 | R\$ 618,14 | sim | R\$ 2,07 |
| ELETROACRE | R\$ 601,87 | 167 | 8,01 | 11,38 | R\$ 54,10 | R\$ 612,66 | não | -R\$ 10,79 |
| CEA | R\$ 330,84 | 120 | 5,76 | 8,23 | R\$ 38,87 | R\$ 609,14 | não | -R\$ 278,30 |
| COELBA | R\$ 609,52 | 2752 | 132,07 | 195,35 | R\$ 891,49 | R\$ 588,28 | sim | R\$ 21,24 |
| ETO | R\$ 739,15 | 413 | 19,82 | 30,69 | R\$ 133,79 | R\$ 561,97 | sim | R\$ 177,18 |
| CEAL | R\$ 575,83 | 561 | 26,92 | 39,67 | R\$ 181,73 | R\$ 590,58 | não | -R\$ 14,75 |
| CEB | R\$ 558,56 | 314 | 15,07 | 23,99 | R\$ 101,72 | R\$ 546,51 | sim | R\$ 12,05 |
| CELG | R\$ 917,87 | 1610 | 77,27 | 120,78 | R\$ 521,55 | R\$ 556,66 | sim | R\$ 361,21 |
| CEMIG | R\$ 712,86 | 4136 | 198,49 | 309,07 | R\$ 1.339,83 | R\$ 558,81 | sim | R\$ 154,05 |
| CELPE | R\$ 589,08 | 1448 | 69,49 | 98,64 | R\$ 469,07 | R\$ 613,02 | não | -R\$ 23,94 |
| CERR | R\$ 501,83 | 49 | 2,35 | 3,33 | R\$ 15,87 | R\$ 614,80 | não | -R\$ 112,97 |
| COELCE | R\$ 618,00 | 1539 | 73,86 | 108,86 | R\$ 498,55 | R\$ 590,36 | sim | R\$ 27,64 |
| CEMAT | R\$ 587,29 | 1379 | 66,18 | 96,15 | R\$ 446,72 | R\$ 598,93 | não | -R\$ 11,64 |
| CEPISA | R\$ 548,78 | 910 | 43,67 | 67,77 | R\$ 294,79 | R\$ 560,68 | não | -R\$ 11,90 |
| COSERN | R\$ 560,22 | 576 | 27,64 | 40,47 | R\$ 186,59 | R\$ 594,33 | não | -R\$ 34,11 |
| CEEE | R\$ 708,48 | 867 | 41,61 | 58,74 | R\$ 280,86 | R\$ 616,35 | sim | R\$ 92,13 |
| CFLO | R\$ 653,25 | 49 | 2,35 | 3,43 | R\$ 15,87 | R\$ 597,35 | sim | R\$ 55,90 |
| CHESP | R\$ 877,36 | 31 | 1,49 | 2,29 | R\$ 10,04 | R\$ 564,06 | sim | R\$ 313,30 |
| CPFL Jaguari | R\$ 517,96 | 22 | 1,06 | 1,70 | R\$ 7,13 | R\$ 540,65 | não | -R\$ 22,69 |
| CPFL Leste Paulista | R\$ 562,36 | 50 | 2,40 | 3,90 | R\$ 16,20 | R\$ 534,83 | sim | R\$ 27,53 |
| CPFL Mococa | R\$ 611,66 | 34 | 1,63 | 2,65 | R\$ 11,01 | R\$ 535,19 | sim | R\$ 76,47 |

| Sigla da Distribuidora | Tarifa ANEEL consumidor comercial, com impostos - set/16 (R\$/MWh) | Número de Endereços - Postos de Gasolina | Potência Instalada Estimada, em MWh | Energia gerada no ano 0, em GWh/ano | Investimento, em milhões de R\$ | LCOE, em R\$/MWh | Análise da Viabilidade | Delta (LCOE- Tarifa ANEEL) |
|------------------------|---|---|--|---|------------------------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------------|
| CNEE | R\$ 548,25 | 111 | 5,33 | 8,61 | R\$ 35,96 | R\$ 538,55 | sim | R\$ 9,70 |
| COPEL | R\$ 616,03 | 2812 | 134,95 | 186,38 | R\$ 910,93 | R\$ 630,03 | não | -R\$ 14,00 |
| CPFL Paulista | R\$ 569,19 | 2685 | 128,86 | 205,37 | R\$ 869,79 | R\$ 545,95 | sim | R\$ 23,24 |
| CPFL Piratininga | R\$ 609,85 | 668 | 32,06 | 49,15 | R\$ 216,39 | R\$ 567,49 | sim | R\$ 42,36 |
| CPFL Sul Paulista | R\$ 578,05 | 54 | 2,59 | 3,92 | R\$ 17,49 | R\$ 575,09 | sim | R\$ 2,96 |
| SULGIPE | R\$ 709,77 | 42 | 2,02 | 2,90 | R\$ 13,61 | R\$ 604,85 | sim | R\$ 104,92 |
| COOPERALIANÇA | R\$ 672,32 | 29 | 1,39 | 1,98 | R\$ 9,39 | R\$ 611,02 | sim | R\$ 61,30 |
| DMED | R\$ 676,11 | 40 | 1,92 | 3,06 | R\$ 12,96 | R\$ 546,60 | sim | R\$ 129,51 |
| DMEI | R\$ 532,74 | 30 | 1,44 | 2,14 | R\$ 9,72 | R\$ 584,61 | não | -R\$ 51,87 |
| Elektro | R\$ 604,42 | 1438 | 69,01 | 112,67 | R\$ 465,83 | R\$ 532,95 | sim | R\$ 71,47 |
| AES Eletropaulo | R\$ 496,43 | 2662 | 127,75 | 175,67 | R\$ 862,34 | R\$ 632,79 | não | -R\$ 136,36 |
| EDEVP | R\$ 574,51 | 160 | 7,68 | 12,21 | R\$ 51,83 | R\$ 547,17 | sim | R\$ 27,34 |
| EEB | R\$ 651,46 | 104 | 4,99 | 7,62 | R\$ 33,69 | R\$ 570,03 | sim | R\$ 81,43 |
| Energisa MS | R\$ 628,73 | 589 | 28,27 | 45,52 | R\$ 190,80 | R\$ 540,29 | sim | R\$ 88,44 |
| EFLJC | R\$ 900,81 | 4 | 0,19 | 0,27 | R\$ 1,30 | R\$ 619,59 | sim | R\$ 281,22 |
| EFLUL | R\$ 678,90 | 6 | 0,29 | 0,41 | R\$ 1,94 | R\$ 617,66 | sim | R\$ 61,24 |
| ELFSM | R\$ 639,20 | 65 | 3,12 | 4,36 | R\$ 21,06 | R\$ 622,14 | sim | R\$ 17,06 |
| Energisa Borborema | R\$ 565,03 | 69 | 3,31 | 4,79 | R\$ 22,35 | R\$ 601,53 | não | -R\$ 36,50 |
| Energisa MG | R\$ 653,16 | 239 | 11,47 | 17,22 | R\$ 77,42 | R\$ 579,49 | sim | R\$ 73,67 |
| Energisa NF | R\$ 804,81 | 38 | 1,82 | 2,69 | R\$ 12,31 | R\$ 589,27 | sim | R\$ 215,54 |
| Energisa PB | R\$ 574,42 | 693 | 33,26 | 47,37 | R\$ 224,49 | R\$ 610,90 | não | -R\$ 36,48 |
| Energisa SE | R\$ 571,76 | 257 | 12,33 | 18,57 | R\$ 83,25 | R\$ 578,01 | não | -R\$ 6,25 |
| ESCELSA | R\$ 663,10 | 602 | 28,89 | 42,66 | R\$ 195,01 | R\$ 589,27 | sim | R\$ 73,83 |
| FORCEL | R\$ 754,64 | 8 | 0,38 | 0,58 | R\$ 2,59 | R\$ 574,05 | sim | R\$ 180,59 |
| HIDROPAN | R\$ 630,40 | 15 | 0,72 | 1,07 | R\$ 4,86 | R\$ 582,89 | sim | R\$ 47,51 |
| IENERGIA | R\$ 606,18 | 32 | 1,54 | 2,33 | R\$ 10,37 | R\$ 572,39 | sim | R\$ 33,79 |
| Light | R\$ 773,51 | 1122 | 53,85 | 81,63 | R\$ 363,47 | R\$ 573,94 | sim | R\$ 199,57 |
| MUXFELDT | R\$ 623,61 | 11 | 0,53 | 0,79 | R\$ 3,56 | R\$ 579,38 | sim | R\$ 44,23 |
| RGE | R\$ 619,55 | 1262 | 60,57 | 86,38 | R\$ 408,82 | R\$ 610,08 | sim | R\$ 9,47 |
| RS_COOPERATIVA | R\$ 588,97 | 48 | 2,30 | 3,47 | R\$ 15,55 | R\$ 578,33 | sim | R\$ 10,64 |
| SC_COOPERATIVA | R\$ 530,02 | 62 | 2,98 | 4,19 | R\$ 20,08 | R\$ 618,63 | não | -R\$ 88,61 |
| SP_COOPERATIVA | R\$ 567,98 | 17 | 0,82 | 1,16 | R\$ 5,51 | R\$ 612,90 | não | -R\$ 44,92 |
| UHENPAL | R\$ 889,13 | 16 | 0,77 | 1,08 | R\$ 5,18 | R\$ 616,59 | sim | R\$ 272,54 |
| TOTAIS | | 41395 | 1986,62 | 2943,10 | R\$ 13.409,67 | | | |

Fonte: Elaboração Própria

Tabela A.3 - Resultado detalhado para o Setor de Agências de Bancos, por grupo de estudo.

| Sigla da Distribuidora | Tarifa ANEEL consumidor comercial, com impostos - set/16 (R\$/MWh) | Número de Endereços - Agências de Bancos | Potência Instalada Estimada, em MWp | Energia gerada no ano 0, em GWh/ano | Investimento, em milhões de R\$ | LCOE, em R\$/MWh | Análise da Viabilidade | Delta (LCOE- Tarifa ANEEL) |
|------------------------|---|---|--|---|------------------------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------------|
| AES Sul | R\$ 731,31 | 477 | 16,39 | 23,24 | R\$ 110,61 | R\$ 613,49 | sim | R\$ 117,82 |
| Amazonas Energia | R\$ 525,00 | 221 | 7,59 | 10,36 | R\$ 51,25 | R\$ 637,74 | não | -R\$ 112,74 |
| Ampla | R\$ 797,44 | 551 | 18,93 | 28,73 | R\$ 127,77 | R\$ 573,22 | sim | R\$ 224,22 |
| Bandeirante | R\$ 617,32 | 508 | 17,45 | 24,65 | R\$ 117,79 | R\$ 616,11 | sim | R\$ 1,21 |
| Boa Vista Energia | R\$ 476,36 | 28 | 0,96 | 1,35 | R\$ 6,49 | R\$ 618,27 | não | -R\$ 141,91 |
| Caiuá-D | R\$ 561,09 | 114 | 3,92 | 6,16 | R\$ 26,43 | R\$ 553,55 | sim | R\$ 7,54 |
| Eletrocar | R\$ 659,66 | 16 | 0,55 | 0,82 | R\$ 3,71 | R\$ 582,78 | sim | R\$ 76,88 |
| CERON | R\$ 624,27 | 151 | 5,19 | 7,27 | R\$ 35,01 | R\$ 621,04 | sim | R\$ 3,23 |
| CELESC | R\$ 602,31 | 937 | 32,19 | 44,54 | R\$ 217,27 | R\$ 628,78 | não | -R\$ 26,47 |
| CELPA | R\$ 731,81 | 530 | 18,21 | 26,10 | R\$ 122,90 | R\$ 606,93 | sim | R\$ 124,88 |
| CEMAT | R\$ 729,58 | 342 | 11,75 | 17,78 | R\$ 79,30 | R\$ 575,09 | sim | R\$ 154,49 |
| CPFL Santa Cruz | R\$ 644,90 | 91 | 3,13 | 4,94 | R\$ 21,10 | R\$ 550,49 | sim | R\$ 94,41 |
| COCEL | R\$ 620,21 | 7 | 0,24 | 0,34 | R\$ 1,62 | R\$ 618,14 | sim | R\$ 2,07 |
| ELETROACRE | R\$ 601,87 | 64 | 2,20 | 3,12 | R\$ 14,84 | R\$ 612,66 | não | -R\$ 10,79 |
| CEA | R\$ 330,84 | 52 | 1,79 | 2,55 | R\$ 12,06 | R\$ 609,14 | não | -R\$ 278,30 |
| COELBA | R\$ 609,52 | 1128 | 38,75 | 57,31 | R\$ 261,56 | R\$ 588,28 | sim | R\$ 21,24 |
| ETO | R\$ 739,15 | 128 | 4,40 | 6,81 | R\$ 29,68 | R\$ 561,97 | sim | R\$ 177,18 |
| CEAL | R\$ 575,83 | 208 | 7,15 | 10,53 | R\$ 48,23 | R\$ 590,58 | não | -R\$ 14,75 |
| CEB | R\$ 558,56 | 468 | 16,08 | 25,60 | R\$ 108,52 | R\$ 546,51 | sim | R\$ 12,05 |
| CELG | R\$ 917,87 | 738 | 25,35 | 39,63 | R\$ 171,13 | R\$ 556,66 | sim | R\$ 361,21 |
| CEMIG | R\$ 712,86 | 2116 | 72,69 | 113,18 | R\$ 490,66 | R\$ 558,81 | sim | R\$ 154,05 |
| CELPE | R\$ 589,08 | 628 | 21,57 | 30,62 | R\$ 145,62 | R\$ 613,02 | não | -R\$ 23,94 |
| CERR | R\$ 501,83 | 11 | 0,38 | 0,53 | R\$ 2,55 | R\$ 614,80 | não | -R\$ 112,97 |
| COELCE | R\$ 618,00 | 519 | 17,83 | 26,28 | R\$ 120,35 | R\$ 590,36 | sim | R\$ 27,64 |
| CEMAT | R\$ 587,29 | 362 | 12,44 | 18,07 | R\$ 83,94 | R\$ 598,93 | não | -R\$ 11,64 |
| CEPISA | R\$ 548,78 | 184 | 6,32 | 9,81 | R\$ 42,67 | R\$ 560,68 | não | -R\$ 11,90 |
| COSERN | R\$ 560,22 | 224 | 7,69 | 11,27 | R\$ 51,94 | R\$ 594,33 | não | -R\$ 34,11 |
| CEEE | R\$ 708,48 | 662 | 22,74 | 32,10 | R\$ 153,50 | R\$ 616,35 | sim | R\$ 92,13 |
| CFLO | R\$ 653,25 | 14 | 0,48 | 0,70 | R\$ 3,25 | R\$ 597,35 | sim | R\$ 55,90 |
| CHESP | R\$ 877,36 | 12 | 0,41 | 0,64 | R\$ 2,78 | R\$ 564,06 | sim | R\$ 313,30 |
| CPFL Jaguari | R\$ 517,96 | 16 | 0,55 | 0,88 | R\$ 3,71 | R\$ 540,65 | não | -R\$ 22,69 |
| CPFL Leste Paulista | R\$ 562,36 | 31 | 1,06 | 1,73 | R\$ 7,19 | R\$ 534,83 | sim | R\$ 27,53 |
| CPFL Mococa | R\$ 611,66 | 16 | 0,55 | 0,89 | R\$ 3,71 | R\$ 535,19 | sim | R\$ 76,47 |

| Sigla da Distribuidora | Tarifa ANEEL consumidor comercial, com impostos - set/16 (R\$/MWh) | Número de Endereços - Agências de Bancos | Potência Instalada Estimada, em MWp | Energia gerada no ano 0, em GWh/ano | Investimento, em milhões de R\$ | LCOE, em R\$/MWh | Análise da Viabilidade | Delta (LCOE- Tarifa ANEEL) |
|------------------------|---|---|--|---|------------------------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------------|
| CNEE | R\$ 548,25 | 49 | 1,68 | 2,72 | R\$ 11,36 | R\$ 538,55 | sim | R\$ 9,70 |
| COPEL | R\$ 616,03 | 1559 | 53,56 | 73,96 | R\$ 361,50 | R\$ 630,03 | não | -R\$ 14,00 |
| CPFL Paulista | R\$ 569,19 | 1720 | 59,09 | 94,17 | R\$ 398,83 | R\$ 545,95 | sim | R\$ 23,24 |
| CPFL Piratininga | R\$ 609,85 | 518 | 17,79 | 27,28 | R\$ 120,11 | R\$ 567,49 | sim | R\$ 42,36 |
| CPFL Sul Paulista | R\$ 578,05 | 22 | 0,76 | 1,14 | R\$ 5,10 | R\$ 575,09 | sim | R\$ 2,96 |
| SULGIPE | R\$ 709,77 | 31 | 1,06 | 1,53 | R\$ 7,19 | R\$ 604,85 | sim | R\$ 104,92 |
| COOPERALIANÇA | R\$ 672,32 | 5 | 0,17 | 0,24 | R\$ 1,16 | R\$ 611,02 | sim | R\$ 61,30 |
| DMED | R\$ 676,11 | 21 | 0,72 | 1,15 | R\$ 4,87 | R\$ 546,60 | sim | R\$ 129,51 |
| DMEI | R\$ 532,74 | 10 | 0,34 | 0,51 | R\$ 2,32 | R\$ 584,61 | não | -R\$ 51,87 |
| Elektro | R\$ 604,42 | 766 | 26,31 | 42,96 | R\$ 177,62 | R\$ 532,95 | sim | R\$ 71,47 |
| AES Eletropaulo | R\$ 496,43 | 3452 | 118,58 | 163,06 | R\$ 800,45 | R\$ 632,79 | não | -R\$ 136,36 |
| EDEVP | R\$ 574,51 | 78 | 2,68 | 4,26 | R\$ 18,09 | R\$ 547,17 | sim | R\$ 27,34 |
| EEB | R\$ 651,46 | 48 | 1,65 | 2,52 | R\$ 11,13 | R\$ 570,03 | sim | R\$ 81,43 |
| Energisa MS | R\$ 628,73 | 288 | 9,89 | 15,93 | R\$ 66,78 | R\$ 540,29 | sim | R\$ 88,44 |
| EFLJC | R\$ 900,81 | 2 | 0,07 | 0,10 | R\$ 0,46 | R\$ 619,59 | sim | R\$ 281,22 |
| EFLUL | R\$ 678,90 | 3 | 0,10 | 0,15 | R\$ 0,70 | R\$ 617,66 | sim | R\$ 61,24 |
| ELFSM | R\$ 639,20 | 33 | 1,13 | 1,59 | R\$ 7,65 | R\$ 622,14 | sim | R\$ 17,06 |
| Energisa Borborema | R\$ 565,03 | 28 | 0,96 | 1,39 | R\$ 6,49 | R\$ 601,53 | não | -R\$ 36,50 |
| Energisa MG | R\$ 653,16 | 89 | 3,06 | 4,59 | R\$ 20,64 | R\$ 579,49 | sim | R\$ 73,67 |
| Energisa NF | R\$ 804,81 | 22 | 0,76 | 1,12 | R\$ 5,10 | R\$ 589,27 | sim | R\$ 215,54 |
| Energisa PB | R\$ 574,42 | 223 | 7,66 | 10,91 | R\$ 51,71 | R\$ 610,90 | não | -R\$ 36,48 |
| Energisa SE | R\$ 571,76 | 190 | 6,53 | 9,83 | R\$ 44,06 | R\$ 578,01 | não | -R\$ 6,25 |
| ESCELSA | R\$ 663,10 | 452 | 15,53 | 22,93 | R\$ 104,81 | R\$ 589,27 | sim | R\$ 73,83 |
| FORCEL | R\$ 754,64 | 4 | 0,14 | 0,21 | R\$ 0,93 | R\$ 574,05 | sim | R\$ 180,59 |
| HIDROPAN | R\$ 630,40 | 8 | 0,27 | 0,41 | R\$ 1,86 | R\$ 582,89 | sim | R\$ 47,51 |
| IENERGIA | R\$ 606,18 | 12 | 0,41 | 0,63 | R\$ 2,78 | R\$ 572,39 | sim | R\$ 33,79 |
| Light | R\$ 773,51 | 1587 | 54,52 | 82,65 | R\$ 367,99 | R\$ 573,94 | sim | R\$ 199,57 |
| MUXFELDT | R\$ 623,61 | 5 | 0,17 | 0,26 | R\$ 1,16 | R\$ 579,38 | sim | R\$ 44,23 |
| RGE | R\$ 619,55 | 621 | 21,33 | 30,43 | R\$ 144,00 | R\$ 610,08 | sim | R\$ 9,47 |
| RS_COOPERATIVA | R\$ 588,97 | 10 | 0,34 | 0,52 | R\$ 2,32 | R\$ 578,33 | sim | R\$ 10,64 |
| SC_COOPERATIVA | R\$ 530,02 | 24 | 0,82 | 1,16 | R\$ 5,57 | R\$ 618,63 | não | -R\$ 88,61 |
| SP_COOPERATIVA | R\$ 567,98 | 11 | 0,38 | 0,54 | R\$ 2,55 | R\$ 612,90 | não | -R\$ 44,92 |
| UHENPAL | R\$ 889,13 | 12 | 0,41 | 0,58 | R\$ 2,78 | R\$ 616,59 | sim | R\$ 272,54 |
| TOTAIS | | 23457,00 | 805,81 | 1189,94 | R\$ 5.439,19 | | | |

Fonte: Elaboração Própria