



**XXIV SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GPT/19

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO II**

**GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS – GPT**

**EVOLUÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E DOS CUSTOS DE EMPREENDIMENTOS  
FOTOVOLTAICOS NOS LEILÕES DE ENERGIA**

<b>Gustavo Pires da Ponte (*)</b> EPE	<b>Aline Couto de Amorim</b> EPE	<b>Bernardo Folly de Aguiar</b> EPE	
<b>Cristiano Saboia Ruschel</b> EPE	<b>Josina Saraiva Ximenes</b> EPE	<b>Michele Almeida de Souza</b> EPE	<b>Thiago Ivanoski Teixeira</b> EPE

**RESUMO**

Este Informe Técnico apresenta uma visão geral sobre os custos e características técnicas dos empreendimentos de geração de energia elétrica a partir da fonte solar fotovoltaica cadastrados para os Leilões de Energia para atendimento ao Sistema Interligado Nacional – SIN, especialmente os Leilões de Energia de Reserva, nos quais houve participação mais relevante desses empreendimentos.

Ao longo desses leilões observou-se a evolução dos projetos no que diz respeito aos equipamentos considerados, configurações adotadas e expectativas de produção de energia. Em função de condições econômicas e cambiais e dos preços internacionais desses equipamentos, os custos de investimento dos empreendimentos fotovoltaicos também sofreram variações nos anos recentes.

**PALAVRAS-CHAVE**

Fotovoltaica, Energia Solar, Custos, Características Técnicas, Leilões de Energia.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Desde 2013, os leilões para contratação de energia elétrica no Ambiente de Contratação Regulada – ACR realizados pelo Ministério de Minas e Energia – MME, permitem a participação de empreendimentos fotovoltaicos. Três destes leilões resultaram efetivamente na contratação de energia desse tipo de fonte, totalizando, até o momento, 94 empreendimentos vendedores, com capacidade total superior a 3 GWp.

Este trabalho apresenta a evolução dos projetos, especialmente quanto às suas características técnicas e custos, observada a cada leilão no período entre 2013 e 2016. São analisados aspectos relativos à localização dos empreendimentos, tecnologia dos equipamentos, critérios de projeto, fator de capacidade, custos de investimento e de operação e manutenção, dentre outros. Em alguns casos, dar-se-á maior ênfase às informações decorrentes do 2º LER/2016, por ter sido este o último Leilão de Energia com participação de empreendimentos fotovoltaicos.

**2.0 - LEILÕES COM PARTICIPAÇÃO DE EMPREENDIMENTOS FOTOVOLTAICOS**

Em 2013 e 2014 foram realizados Leilões de Energia Nova (A-3 e A-5) com a participação de empreendimentos fotovoltaicos em, porém a competição se dava em um mesmo produto em que participavam empreendimentos eólicos, o que inviabilizou sua comercialização tendo em vista a maior atratividade econômica da fonte eólica. A partir de Leilão de Energia de Reserva de 2014 a Portaria do MME definiu um produto para comercialização

exclusiva de empreendimentos fotovoltaicos, viabilizando a contratação dessas usinas. Ao longo dos leilões que contaram com a participação dessa fonte, o número de projetos cadastrados na EPE<sup>1</sup> aumentou significativamente, começando em 109 projetos no leilão A-3/2013, atingindo o máximo de 649 projetos no 2º LER/2015. Em 2016 (2º LER/2016<sup>2</sup>) o cadastro reduziu para 419 empreendimentos, mas ainda assim, representando uma oferta de pouco mais de 17 GWp. Tal redução deveu-se à necessidade de apresentação de medições solarimétricas (no mínimo um ano completo) no local do empreendimento, antes dispensada em favor de dados solarimétricos secundários.

Após o cadastramento, a EPE inicia o processo de análise e a habilitação técnica dos empreendimentos, abrangendo diversos aspectos do projeto e da documentação recebida, com o objetivo de selecionar aqueles que demonstram, basicamente, sua viabilidade técnica e capacidade de entregar o montante de energia a ser contratado. Do universo de projetos cadastrados, o percentual de empreendimentos fotovoltaicos habilitados tecnicamente para participar dos leilões tem variado em torno de 75% e 90%. Dentre as inabilitações, em função do não cumprimento dos requisitos técnicos previamente estabelecidos, destacam-se (i) a falta de Parecer de Acesso à Rede Básica, às DIT<sup>3</sup> ou às ICG<sup>4</sup>, ou ainda pela insuficiência de capacidade sistêmica de conexão; (ii) registro na ANEEL incompatível com o projeto ou ausente; (iii) falta de licença ambiental; (iv) não comprovação do direito de uso do terreno destinado ao empreendimento; e (v) problemas no cálculo da produção de energia. Tendo em vista as incertezas envolvidas nos projetos inabilitados, as análises do presente documento consideram o universo de empreendimentos fotovoltaicos habilitados tecnicamente.

### 3.0 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS PROJETOS

#### 3.1 Aspectos relativos ao recurso solar

O ano de 2016 foi o primeiro no qual foram exigidas medições in-situ do recurso solar, conforme Art. 6º, II da Portaria MME nº 102/2016<sup>5</sup>. Essa exigência objetivou aumentar a confiabilidade dos dados solarimétricos utilizados no cálculo da produção de energia certificada<sup>6</sup>, sendo esperado que o uso das medições implicasse na redução das incertezas globais dos projetos. De fato, a disponibilidade de dados das medições locais de irradiação levou a uma redução na incerteza relativa à estimativa do recurso energético, e por consequência a uma menor incerteza padrão da produção de energia, conforme mostra a Figura 1. Destaca-se que nos primeiros leilões com participação da fonte solar fotovoltaica, não era obrigatória a apresentação das componentes da incerteza padrão.

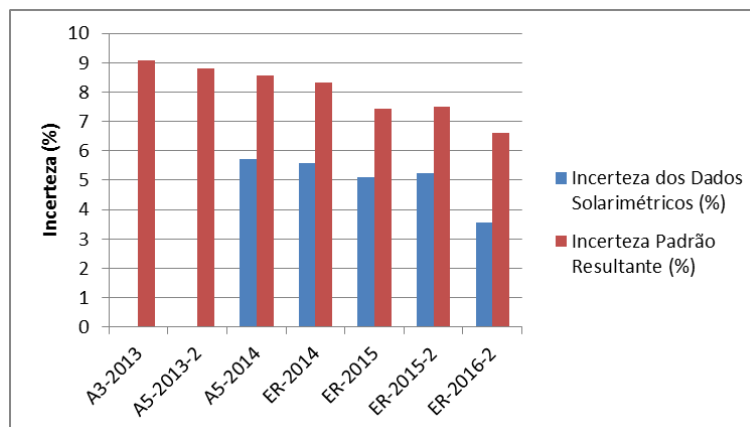


FIGURA 1 – Variação histórica das médias das incertezas dos projetos habilitados (média dos projetos habilitados)

Com relação à disponibilidade de recurso solar, estimada com base nas medições e em dados secundários, os locais considerados para implantação dos projetos habilitados para o leilão mais recente (2º LER/2016) apresentam valores anuais de irradiação global horizontal (GHI) entre 1.910 kWh/m<sup>2</sup>.ano e 2.334 kWh/m<sup>2</sup>.ano, conforme histograma da Figura 2. Ainda com base na Figura 2, é possível verificar a quantidade de estações de medições solarimétricas, contabilizadas de maneira que os projetos habilitados que compartilham a mesma medição foram considerados apenas uma vez.

<sup>1</sup> Seguindo o disposto nas Portarias MME nº 21/2008 e, posteriormente, nº 102/2016.

<sup>2</sup> Leilão cancelado pela Portaria MME nº 705, de 14/12/2016.

<sup>3</sup> DIT - Demais Instalações de Transmissão.

<sup>4</sup> ICG - Instalações de Transmissão de Interesse Exclusivo de Centrais de Geração para Conexão Compartilhada.

<sup>5</sup> Requisito estabelecido em 2013, por meio da Portaria MME nº 226/2013.

<sup>6</sup> As medições devem ser certificadas e ajustadas para o longo prazo por uma entidade certificadora independente.

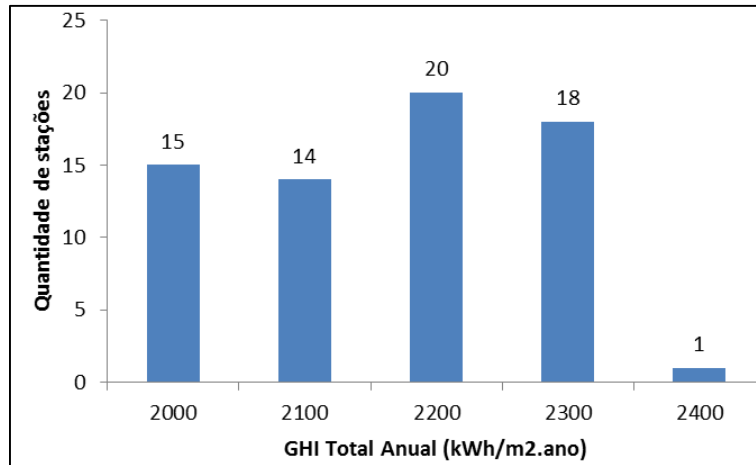


FIGURA 2 – Histograma de GHI anual – 2º LER/2016

### 3.2 Equipamentos

Para a análise dos equipamentos, o presente trabalho considerou-se os dados dos projetos habilitados tecnicamente pela EPE, a partir dos Leilões de 2014. Destaca-se que no presente levantamento foram consideradas as informações dos projetos cadastrados para os leilões, que poderão ser alteradas até a efetiva implantação dos empreendimentos.

#### 3.2.1 Módulos fotovoltaicos

No que se refere à tecnologia dos módulos, ao longo dos leilões, observa-se um predomínio dos módulos de silício policristalino, porém com uma tendência de maior participação da tecnologia de silício monocristalino e Telureto de Cádmió (CdTe), conforme mostra a Figura 3. Com relação à capacidade nominal, os módulos de CdTe apresentam potência da ordem de 115 Wp, enquanto os de silício monocristalino chegam a atingir 435 Wp.

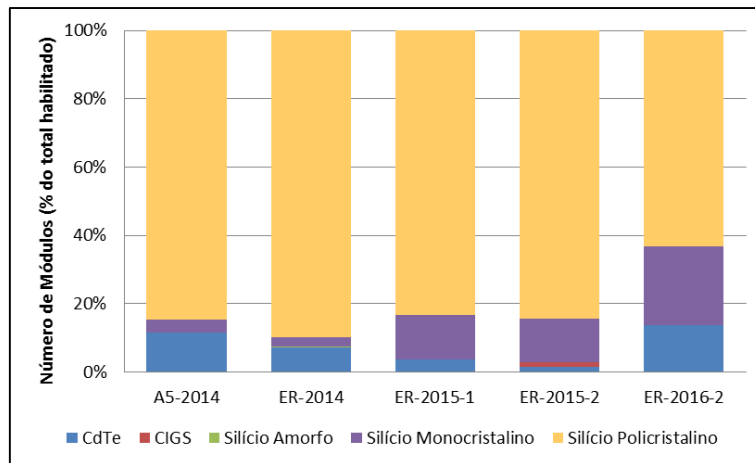


FIGURA 3 – Proporção da potência habilitada, por tecnologia, a cada leilão, dos projetos habilitados tecnicamente

Dentre os módulos de silício cristalino (mono e poli), observa-se também uma tendência nos projetos de uso de módulos com maior número de células, conforme Figura 4.

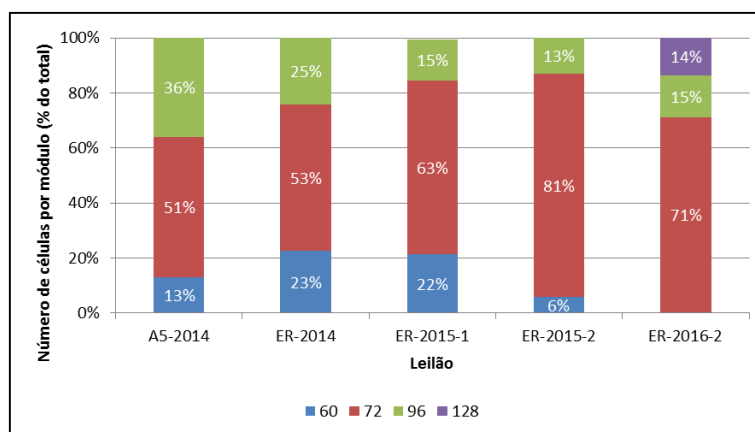


FIGURA 4 – Número de células por módulo de Silício cristalino, a cada leilão, dos projetos habilitados tecnicamente

Com relação aos fabricantes selecionados pelos desenvolvedores nesta fase dos projetos, sua participação pode ser observada em termos de potência total para cada leilão, conforme mostrado na Figura 5.

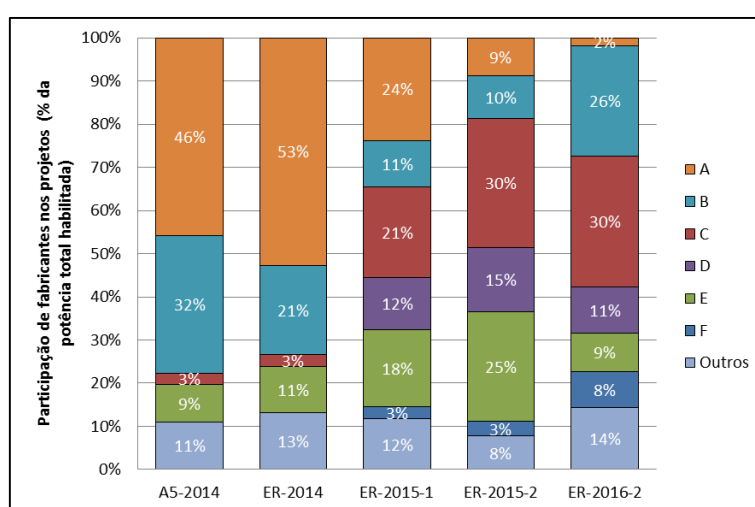


FIGURA 5 – Participação dos fabricantes de módulos fotovoltaicos por potência dos projetos habilitados

Nota-se a evolução da participação de alguns fabricantes, como o “C” que em 2014 correspondeu a cerca de 3% da potência habilitada e em 2016 correspondeu a 30%. Já a participação do fabricante “A” caiu de cerca de 50% em 2014 para 2% em 2016. No entanto, é importante observar que esses dados não correspondem à participação de mercado, já que se referem a todos os projetos habilitados (e não apenas aos vencedores) e a escolha final do fabricante é algo que em geral só se confirma após o leilão.

### 3.2.2 Inversores

Nos projetos habilitados para os leilões, foram considerados inversores com potência nominal entre 100 kW e 3.000 kW. Vale destacar que, para dimensionamento de um projeto de um empreendimento fotovoltaico, é comum prever a instalação de uma potência CC maior que a potência CA. Isso ocorre pois as condições de irradiação e temperatura definidas para os testes em laboratório dificilmente são encontradas em campo e, portanto, os módulos fotovoltaicos não atingem sua potência nominal na maior parte do tempo. Assim, o sobredimensionamento dos módulos possibilita a operação mais eficiente do inversor próximo às suas condições nominais. Na maioria dos casos a Potência Habilitada<sup>7</sup> do projeto coincide com a potência CA.

Cada empreendedor adota, como critério de projeto, um Fator de Dimensionamento do Inversor – FDI, correspondente à razão entre a potência CA e a potência CC. O FDI adotado depende de uma avaliação de custo e benefício, já que pode acarretar, por um lado, menor investimento e uma operação mais eficiente dos inversores e, por outro, não aproveitamento de uma parcela da energia fornecida pelos módulos fotovoltaicos devido à limitação da capacidade do inversor. O FDI dos empreendimentos habilitados tecnicamente para o 2º LER/2016, por exemplo, varia de 66% a 104%, sendo 79% o valor médio.

<sup>7</sup> A potência habilitada é definida pela EPE como a maior potência entre as potências CC e CA.

Assim como observado no caso dos módulos, a participação de alguns fabricantes variou muito ao longo dos leilões, conforme apresentado na Figura 7, em termos de potência total. Destaca-se que, no leilão mais recente, os fabricantes A, B e C somados corresponderam a cerca de 75% da potência habilitada. Novamente, é importante observar que esses dados não correspondem à participação de mercado, já que refere-se a todos os projetos habilitados (e não apenas aos vencedores) e a escolha final do fabricante é algo que em geral só se confirma após o leilão.

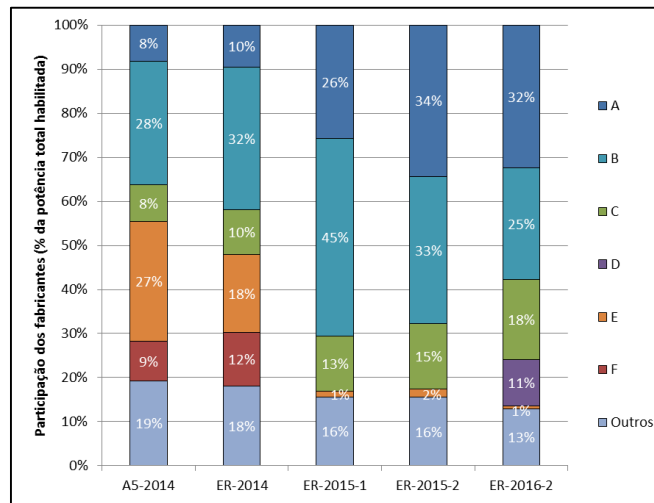


FIGURA 7 – Participação dos fabricantes de inversores por potência dos projetos habilitados

### 3.2.3 Estruturas de suporte dos módulos

Os módulos fotovoltaicos podem ser dispostos em estrutura fixas ou com rastreamento, de um ou dois eixos. Dentre os projetos cadastrados, não foi identificado nenhum com rastreamento de dois eixos. Percebe-se no entanto, a tendência de maior participação das seguidores de um eixo (acompanhamento do sol durante o dia, na direção Leste-Oeste), conforme Figura 8. Tal tendência pode ser explicada pelo aumento do fator de capacidade proporcionado pelas estruturas de rastreamento, compensando o custo mais elevado desse tipo de estrutura.

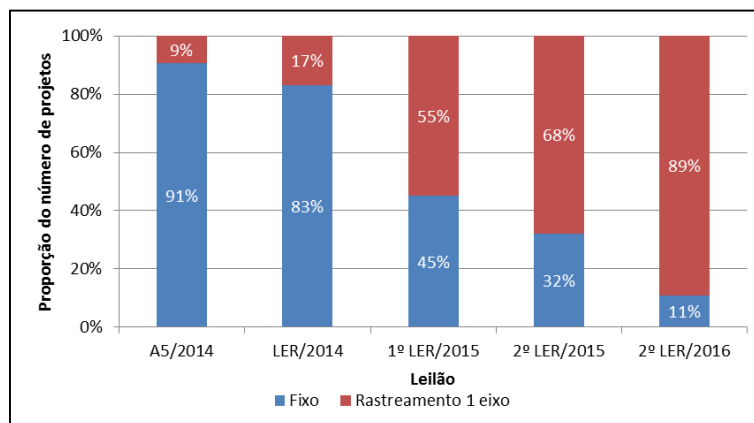


FIGURA 8 – Proporção de projetos por estrutura de suporte (fixa ou com rastreamento de 1 eixo)

### 3.2.4 Fator de capacidade

O fator de capacidade de um empreendimento é definido como a razão, em determinado intervalo de tempo, entre a produção de energia efetiva da planta e o que seria produzido se ela operasse continuamente em sua capacidade nominal.

Para fins deste documento, e considerando as regras do ACR, o fator de capacidade de um empreendimento é definido como a razão entre a expectativa de geração de energia da planta, em MW<sub>médio</sub>, e a sua potência instalada, em MW.

De forma a permitir a comparação com referências internacionais diversas, ora em CC, ora em CA, são apresentados os fatores de capacidade tomando-se como referência a Potência Habilitada e a Potência CC dos empreendimentos. Como as Potências CA e Habilitada usualmente são inferiores à Potência CC, o fator de capacidade da planta referenciado à Potência CA normalmente é mais elevado do que quando referenciado à Potência CC.

Tendo como referência a Potência Habilitada, observam-se, entre os empreendimentos habilitados tecnicamente nos diversos leilões, fatores de capacidade na faixa entre 18% e 34%. Por outro lado, tomando como referência a Potência CC das plantas, observam-se fatores de capacidade na faixa entre 15% e 26%.

Como referência e comparação, o fator de capacidade (referência CC) dos empreendimentos habilitados que utilizam sistema de rastreamento em 1 eixo varia de 19,0% a 26,0%. Os projetos que utilizam estrutura de suporte fixa apresentaram valores de 15% a 20,8%.

Destaca-se que, além do tipo de estrutura, outras características relevantes para o fator de capacidade são o FDI e a irradiação.

### 3.3 Prazo de implantação

Uma das vantagens frequentemente citada de empreendimentos fotovoltaicos é a rapidez de implantação. De acordo com os cronogramas dos projetos, informados à EPE, o tempo de construção dessas usinas geralmente varia entre 6 e 24 meses, sendo que a maioria dos projetos informa um prazo de até um ano para implantação.

### 3.4 Custos de investimento

O gráfico a seguir mostra os custos de investimento declarados pelos empreendedores, dos projetos que foram habilitados para participar dos leilões. Verifica-se que, em termos médios, não houve variação significativa do custo específico (R\$/kWp), porém parece haver uma convergência dos valores máximos e mínimos. Ressalta-se que tais valores de investimento não consideram os juros durante a construção e estão referenciados a dezembro do ano anterior ao do respectivo leilão.

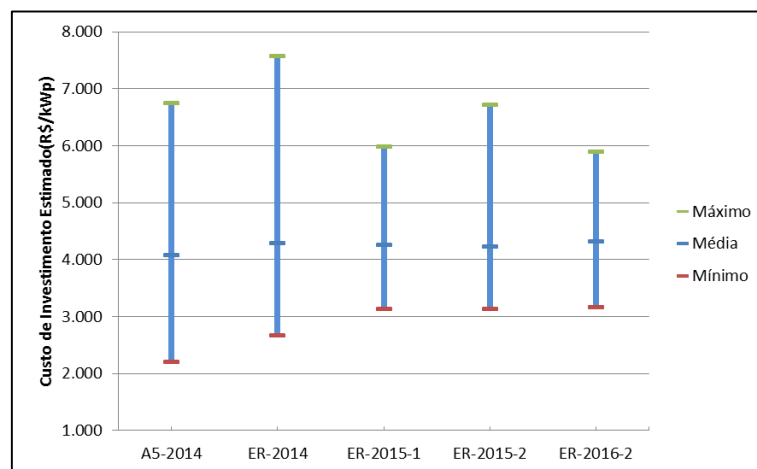


FIGURA 9 – Variação dos Custos de Investimento em R\$/kWp por Leilão de Energia

Analisando a divisão desses custos por categoria, verifica-se que os equipamentos (módulos, inversores, estruturas, etc.) representaram em média, cerca de 70% dos custos totais de investimento, tendo os módulos fotovoltaicos maior peso sobre esse percentual.

Tendo em vista que, notoriamente, os custos em investimento em empreendimentos fotovoltaicos estão bastante atrelados ao valor do dólar americano, foi representada na Figura 10 a variação dos custos de investimentos, em termos de US\$/kWp. Os valores apresentados anteriormente foram corrigidos com a média da taxa comercial para a venda do dólar no mês de dezembro anterior ao respectivo leilão. Nota-se que, visto desta forma (US\$/kWp), o custo médio apresenta uma variação decrescente ao longo dos 3 anos, o que coincide com diversas referências nacionais e internacionais

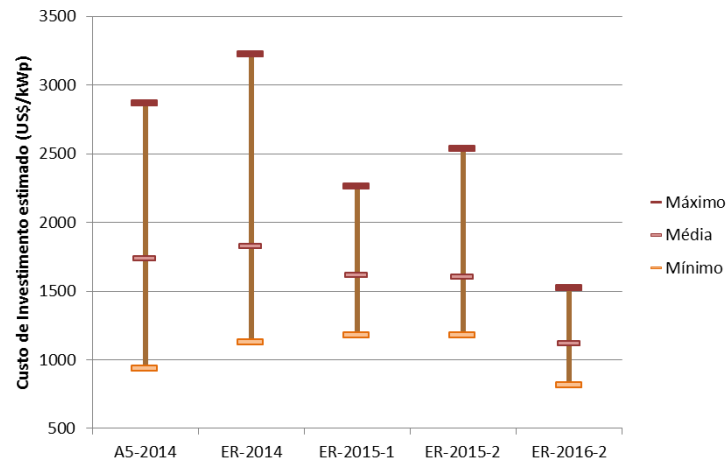


FIGURA 10 – Variação dos Custos de Investimento em US\$/kWp por Leilão de Energia

### 3.5 Custos fixos de operação e manutenção

O custo fixo anual de operação e manutenção (O&M) de uma usina fotovoltaica é, usualmente, um valor representado percentualmente em relação ao custo total do empreendimento. Dentre os empreendimentos habilitados para o 2º LER/2016, o valor médio do custo anual de O&M fixo declarado pelos desenvolvedores foi da ordem de 0,8% do custo total de investimento para os projetos com estrutura fixa e 1,2% para aqueles com rastreamento de um eixo, valores similares aos verificados em leilões anteriores.

## 4.0 - PREÇO DA ENERGIA

A Tabela a seguir apresenta a quantidade de projetos fotovoltaicos e a potência total contratada de empreendimentos a cada leilão em que houve a contratação dessa fonte.

Destaca-se que, apesar do cancelamento do 2º LER/2016, chegou a ser estabelecido um preço-teto de R\$ 320,00/MWh, o que representa de cerca de US\$ 95,52/MWh, considerando uma taxa de câmbio de R\$ 3,35/US\$, referente a dezembro de 2016.

Nos Leilões de Energia Nova (A-3 e A-5) de 2013 e 2014 foi permitida a participação de empreendimentos fotovoltaicos, porém no mesmo produto (e mesmo preço-teto) dos empreendimentos eólicos, não havendo contratação de empreendimentos fotovoltaicos.

Tabela 1 – Projetos fotovoltaicos contratados por leilão

Leilão	Quantidade de projetos vendedores	Potência CC <sup>1</sup>	Potência CA <sup>2</sup>	Garantia Física (MWmed)	Energia Contratada (MWmed)	Preço-teto (R\$/MWh)	Preço médio (R\$/MWh)
ER-2014	31	1.048	890	202	202	262	215,12
ER-2015-1	30	1.044	834	233	232	349	301,79
ER-2015-2	33	1.116	929	246	245	381	297,75
<b>Total</b>	<b>94</b>	<b>3.208</b>	<b>2.653</b>	<b>681</b>	<b>679</b>	-	-

Nota:

1) A Potência CC de cada empreendimento corresponde à soma das capacidades nominais de todos os módulos fotovoltaicos.

2) A Potência CA de cada empreendimento corresponde à soma das potências máximas de todos os inversores, já considerando eventuais limitações de potência.

Cabe ressaltar que, embora os preços-teto para empreendimentos fotovoltaicos tenham sofrido aumentos a cada leilão, principalmente para acomodar a alta do dólar americano no período, o elevado número de empreendimentos na competição acarretou redução dos preços médios de venda, representando deságios médios de até 22%.

## 5.0 - CONCLUSÃO

Percebe-se, ao longo dos leilões em que houve a participação da fonte solar fotovoltaica, algumas evoluções dos projetos, seja em termos de características técnicas ou em custos de investimento. Considerando que esses

leilões são recentes, tais mudanças chamam ainda mais a atenção, por terem ocorrido em apenas três anos.

Com relação aos equipamentos, ainda que se tratem de informações de projeto, podendo ser alteradas até a implantação dos empreendimentos, verifica-se uma predominância de módulos fotovoltaicos de silício policristalino, porém com crescente participação de silício monocristalino e telureto de cádmio. Dentre os módulos de silício, também observa-se uma tendência de uso de módulos com maior número de células.

Outra evolução nítida diz respeito às estruturas de suporte dos módulos fotovoltaicos. Em 2014, 91% dos projetos consideravam estruturas fixas, número que foi reduzindo, dando lugar à estrutura de rastreamento em 1 eixo, que no leilão mais recente (2º LER/2016) foram consideradas em 89% dos projetos. Consequentemente, os fatores de capacidade também aumentaram.

Já no que diz respeito aos custos de investimento, embora tenha se observado um declínio em termos de US\$/kW, o custo em moeda nacional, na média, permaneceu estável, assim como os custos fixos de operação e manutenção desses empreendimentos, influenciados pelas variações cambiais.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Empresa de Pesquisa Energética - EPE, “2º Leilão de Energia de Reserva de 2015. Participação dos Empreendimentos Solares Fotovoltaicos: Visão Geral (EPE-DEE-NT-023/2016-r0)”, Rio de Janeiro, 2016.
- (2) Empresa de Pesquisa Energética - EPE, “1º Leilão de Energia de Reserva de 2015. Participação dos Empreendimentos Solares Fotovoltaicos: Visão Geral (EPE-DEE-NT-127/2015-r0)”, Rio de Janeiro, 2015.
- (3) Empresa de Pesquisa Energética - EPE, “Leilão de Energia de Reserva de 2014. Participação dos Empreendimentos Solares Fotovoltaicos: Visão Geral (EPE-DEE-NT-150/2014-r0)”, Rio de Janeiro, 2014.
- (4) Empresa de Pesquisa Energética - EPE, “Empreendimentos Fotovoltaicos. Instruções para Solicitação de Cadastramento e Habilitação Técnica com vistas à participação nos Leilões de Energia Elétrica (EPE-DEE-RE-065/2013-r3)”, Rio de Janeiro, 2016.
- (5) Ministério de Minas e Energia - MME, Portaria nº 102, de 22 de março de 2016.
- (6) Ministério de Minas e Energia - MME, Portaria nº 21, de 18 de janeiro de 2008.

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Aline Couto de Amorim, nascida em Niterói – RJ em 1979, é Analista de Pesquisa Energética na Empresa de Pesquisa Energética – EPE, graduada em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Fluminense – UFF (conclusão em 2006) e com MBA em Gestão pela Qualidade Total também pela UFF (conclusão em 2009).

Bernardo Folly de Aguiar, nascido em Nova Friburgo – RJ em 1984, é Superintendente Adjunto da Superintendência de Projetos de Geração na EPE, graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ (conclusão em 2007) e com MBA em Negócios de Energia pela Fundação Getúlio Vargas – FGV (conclusão em 2014).

Cristiano Saboia Ruschel, nascido em Guaíba – RS em 1988, é Analista de Pesquisa Energética na EPE, e Engenheiro Mecânico graduado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS (conclusão em 2012). Possui mestrado em Energia também pela UFRGS (conclusão em 2015), e atualmente cursa doutorado nos mesmos programa e instituição.



Gustavo Pires da Ponte, nascido em Brasília – DF em 1984, é Consultor Técnico na EPE, graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade de Brasília – UnB (conclusão em 2008) e pós-graduado em Engenharia de Tubulações pela PUC-Rio (conclusão em 2010) e mestrando Engenharia Urbana e Ambiental pela PUC-Rio.

Josina Saraiva Ximenes, nascida em Salvador – BA em 1988, é Analista de Pesquisa Energética na EPE, graduada em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Bahia – UFBA (conclusão em 2013).

Michele Almeida de Souza, nascida em Rio de Janeiro – RJ, é graduada em Engenharia Elétrica pela UFF em 2007 e pós-graduada em Engenharia de Automação e Instrumentação pelo PROMINP/UERJ em 2008.

Thiago Ivanoski Teixeira, nascido em Salvador – BA em 1983, é Consultor Técnico EPE, graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Bahia – UFBA (conclusão em 2006) e pós-graduado em Engenharia Econômica pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ (conclusão em 2010).