

EVOLUÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS PROJETOS FOTOVOLTAICOS NOS LEILÕES DE ENERGIA DO MERCADO REGULADO

Cristiano Saboia Ruschel (EPE / UFRGS) - cristianosaboia@gmail.com

Alexandre Santucci (EPE) - alexandre-b.oliveira@epe.gov.br

Gustavo Pires da Ponte (EPE) - gustavo.ponte@epe.gov.br

Resumo:

A fonte solar fotovoltaica participa dos leilões de energia do mercado regulado desde 2013, com contratações a partir de 2014. Nesse período, tem havido um crescimento na quantidade de empreendimentos cadastrados e uma constante evolução tecnológica nos projetos, bem como uma queda nos custos de investimento reportados e nos preços de venda de energia. Quanto aos módulos fotovoltaicos utilizados, embora haja uma predominância do silício cristalino em todo o histórico, houve alterações em número de células, tensão máxima, potência nominal, dentre outras características. O dimensionamento dos projetos também sofreu variações, sendo uma prática comum o subdimensionamento do inversor em relação à potência CC, embora haja limitações do uso dessa prática que devem ser observadas. Quanto às estruturas de suporte, houve uma migração do uso de sistemas fixos para sistemas com rastreamento em um eixo, que representam mais de 95% dos projetos atuais. Essa evolução levou a um maior fator de capacidade dos projetos, e, em conjunto com a redução de custos, fez com que a fonte solar fotovoltaica se tornasse uma das mais competitivas frente as opções de expansão do sistema elétrico.

Palavras-chave: *Projetos Fotovoltaicos, Leilões de Energia, Módulos Fotovoltaicos*

Área temática: *Mercado, economia, política e aspectos sociais*

Subárea temática: *Estratégias e políticas para energias renováveis*

EVOLUÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS PROJETOS FOTOVOLTAICOS NOS LEILÕES DE ENERGIA DO MERCADO REGULADO

Cristiano Saboia Ruschel – cristiano.ruschel@epe.gov.br
Alexandre Santucci Breves Oliveira – alexandre-b.oliveira@epe.gov.br
Gustavo Pires da Ponte – gustavo.ponte@epe.gov.br
Empresa de Pesquisa Energética (EPE)

Resumo. A fonte solar fotovoltaica participa dos leilões de energia do mercado regulado desde 2013, com contratações a partir de 2014. Nesse período, tem havido um crescimento na quantidade de empreendimentos cadastrados e uma constante evolução tecnológica nos projetos, bem como uma queda nos custos de investimento reportados e nos preços de venda de energia. Quanto aos módulos fotovoltaicos utilizados, embora haja uma predominância do silício cristalino em todo o histórico, houve alterações em número de células, tensão máxima, potência nominal, dentre outras características. O dimensionamento dos projetos também sofreu variações, sendo uma prática comum o subdimensionamento do inversor em relação à potência CC, embora haja limitações do uso dessa prática que devem ser observadas. Quanto às estruturas de suporte, houve uma migração do uso de sistemas fixos para sistemas com rastreamento em um eixo, que representam mais de 95% dos projetos atuais. Essa evolução levou a um maior fator de capacidade dos projetos, e, em conjunto com a redução de custos, fez com que a fonte solar fotovoltaica se tornasse uma das mais competitivas frente as opções de expansão do sistema elétrico.

Palavras-chave: Projetos Fotovoltaicos, Leilões de Energia, Módulos Fotovoltaicos

1. INTRODUÇÃO

Os projetos solares fotovoltaicos têm participado dos leilões de energia do mercado regulado desde o ano de 2013, com contratações ocorrendo desde 2014. Para o leilão mais recente (A-6/2019), foram cadastrados e analisados pela EPE 827 projetos, totalizando cerca de 30.000 MW de potência CA.

Do montante cadastrado historicamente, contratou-se energia de um total de 160 projetos, que totalizam mais de 4.500 MW de potência instalada. Atualmente, encontram-se em operação mais de 2.000 MW de capacidade de usinas fotovoltaicas centralizada, que ao final de outubro de 2019 atingiram o recorde horário de atendimento de 2,31% da carga do SIN (ONS, 2019).

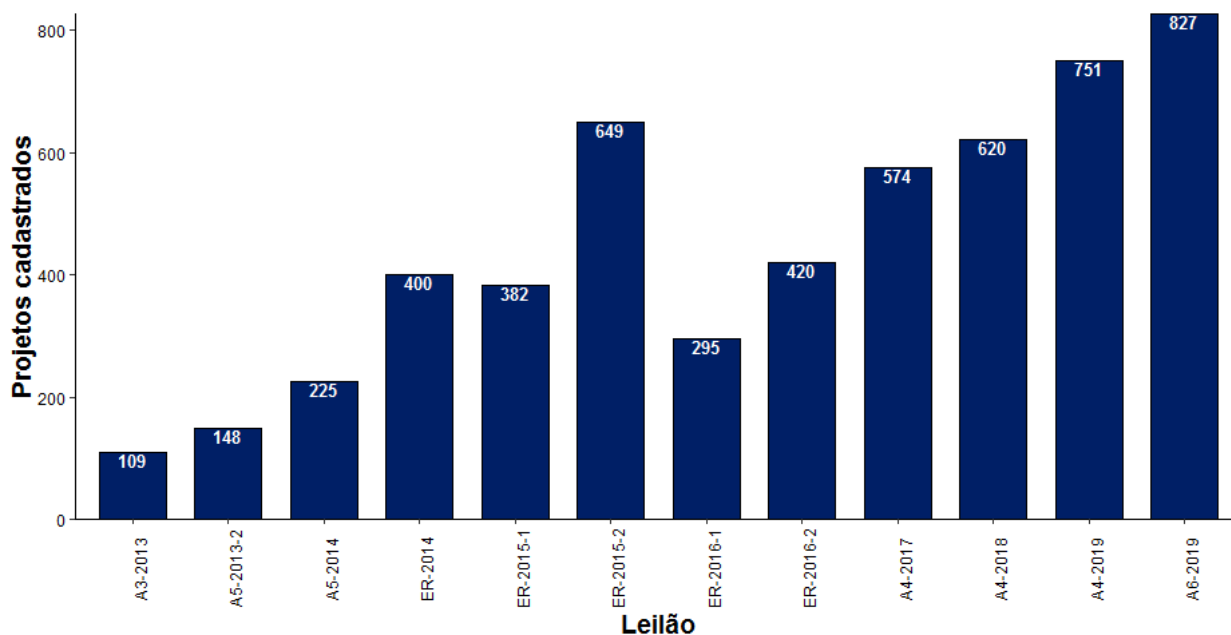
Neste trabalho, apresenta-se a evolução das características técnicas, bem como dos custos de investimentos relativos aos empreendimentos fotovoltaicos, discutindo-se as tendências verificadas nos projetos mais recentes.

2. HISTÓRICO DOS LEILÕES

2.1 Cadastramento e Habilitação Técnica

A cada leilão, a EPE realiza o cadastramento e habilitação técnica dos projetos de acordo com as diretrizes do MME, com a Portaria MME nº 102, de 22 de março de 2016 e com as “Instruções para Solicitação de Cadastramento e Habilitação Técnica com vistas à participação nos Leilões de Energia Elétrica”, publicadas pela EPE em seu sítio eletrônico (EPE, 2018a).

Apesar de uma queda verificada no ano de 2016, influenciada pelo início do requisito de medições solarimétricas, a quantidade de projetos cadastrados vem crescendo continuamente. No ano de 2019, foram registrados novos recordes de cadastramento de projetos fotovoltaicos, tanto em termos de potência quanto em quantidade de projetos, conforme demonstra a Figura 1. A Tabela 1 apresenta um quantitativo dos projetos por Unidade Federativa nos dois leilões do ano de 2019.



*Embora tenha havido cadastramento e habilitação técnica, não ocorreu o leilão para a fonte fotovoltaica

Figura 1 – Histórico de projetos cadastrados nos leilões

Tabela 1 - Quantitativo de projetos por UF nos leilões de 2019

Estados	A-4/2019		A-6/2019	
	Projetos	Potência CA (MW)	Projetos	Potência CA (MW)
Alagoas	9	300	9	300
Bahia	193	6 109	218	6 946
Ceará	82	3 165	85	3 196
Mato Grosso do Sul	8	450	8	450
Minas Gerais	62	2 458	63	2 527
Paraíba	25	739	24	727
Pernambuco	57	1 993	72	2 712
Piauí	178	6 185	202	6 895
Rio Grande do Norte	124	4 628	129	5 202
Sergipe	-	-	2	600
Tocantins	13	225	13	225
Total A-6/2019	751	26 253	825	29 780

Em 2019, a proporção de cadastrados no subsistema Nordeste ficou entre 88% e 89% tanto da potência quanto da quantidade de total de projetos, valor superior ao dos anos anteriores. O ano voltou a apresentar também projetos na região Norte, que esteve ausente nos dois anos anteriores, no estado do Tocantins, embora esses representem menos de 2% dos projetos e menos de 1% da potência total cadastrada. O restante, como vem acontecendo historicamente, localiza-se no subsistema Sudeste/Centro-Oeste, este ano sem a presença do estado de São Paulo, com projetos apenas em Minas Gerais e Mato Grosso do Sul.

Os empreendimentos cadastrados passam por um processo de análise e habilitação técnica, que abrange diversos aspectos do projeto e da documentação recebida pela EPE, com o objetivo de selecionar aqueles que demonstram, basicamente, sua viabilidade técnica e capacidade de entregar o montante de energia a ser contratado. Para o A-4/2019, a EPE habilitou tecnicamente 77% dos empreendimentos fotovoltaicos cadastrados, totalizando 580 projetos, enquanto para o A-6/2019 a proporção foi um pouco superior, próxima a 83%, representando 685 empreendimentos habilitados.

2.2 Resultados dos Leilões

A energia proveniente de empreendimentos fotovoltaicos foi contratada em sete leilões entre os anos de 2014 e 2019, com redução significativa nos preços de venda nesses cinco anos. No 1º leilão de reserva de 2015, o preço médio de venda¹, chegou a R\$364,13/MWh, enquanto nos dois leilões ocorridos em 2019 os preços foram de R\$67,73/MWh

¹ Preços atualizados pelo IPCA para Outubro de 2019

no A-4 e R\$84,39/MWh no A-6, conforme apresentado na Figura 2, na qual as barras azuis representam a potência contratada, e a linha amarela o preço médio por certame.

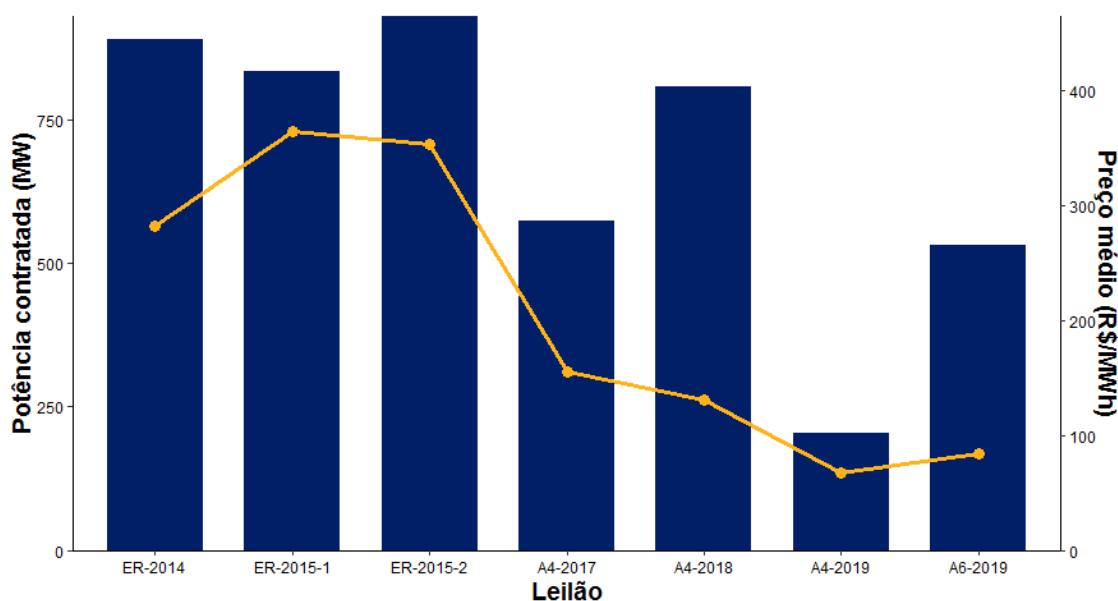


Figura 2 - Potências contratadas e preços de venda nos leilões de energia

Importante ressaltar que nos dois leilões de 2019 os empreendimentos vencedores optaram por vender apenas parte de sua garantia física para o mercado regulado, destinando uma parcela da produção ao ambiente de contratação livre. Assim, o valor real recebido pela energia do empreendimento, sendo a média ponderada dos contratos por ele firmados, será provavelmente superior ao preço de venda dos leilões.

3. EVOLUÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS PROJETOS

O presente capítulo apresenta o histórico de algumas características técnicas dos projetos fotovoltaicos participantes nos leilões de energia desde 2013, destacando as mudanças de dimensionamento e seleção de equipamentos no período. As análises se restringem aos projetos habilitados tecnicamente pela EPE, a fim de conferir maior confiabilidade aos dados apresentados.

3.1 Aspectos relativos ao recurso solar

Desde 2016, são exigidas medições solarimétricas in-situ do recurso solar por um mínimo de 12 meses consecutivos no local do empreendimento, conforme Art. 6º, II da Portaria MME nº 102/2016. Essa exigência objetivou aumentar a confiabilidade dos dados solarimétricos utilizados no cálculo da produção de energia certificada, sendo esperado que o uso das medições implicasse na redução das incertezas globais dos projetos. Convém mencionar que “o local do empreendimento” é definido a partir de um raio de 10 km em torno da estação solarimétrica.

A medição solarimétrica de curto prazo deve ser utilizada em conjunto com um dado de mais longo prazo, geralmente proveniente de modelos baseados em imagem de satélite, a fim de corrigir vieses locais ou limitações dos modelos. Alguns exemplos de modelos que podem ser utilizados, bem como uma discussão mais detalhada de uso de dados solarimétricos pode ser encontrada em Ruschel e Ponte (2018).

Os totais de irradiação global anual considerados na estimativa da produção de energia têm permanecido em uma faixa similar no histórico dos leilões. Em 2019, os valores variaram entre 1913 kWh/m².ano e 2427 kWh/m².ano, ligeiramente superiores aos dos anos anteriores. A Figura 3 apresenta os valores mínimos, máximos, a mediana, além do primeiro e terceiro quartis dos valores de irradiação global anual considerada nos projetos, por leilão. Já a Figura 4 traz uma análise semelhante agregando todo o histórico por Unidade Federativa, além dos agregados dos subsistemas Nordeste e Sudeste/Centro-Oeste para todo o histórico dos leilões. A região Norte não foi representada separadamente, já que está representada apenas pelo estado do Tocantins. Os estados de Alagoas e Goiás, apesar de no histórico possuírem projetos habilitados, não são apresentados dado o baixo número de projetos.

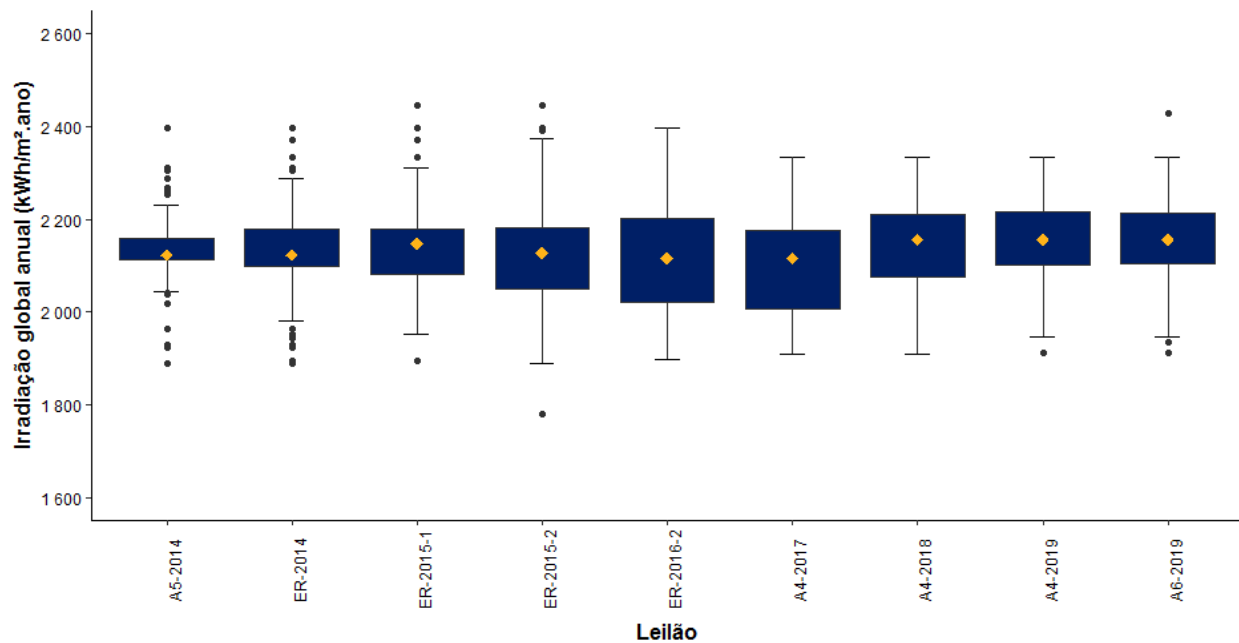


Figura 3 - Variação da Irradiação global anual por leilão

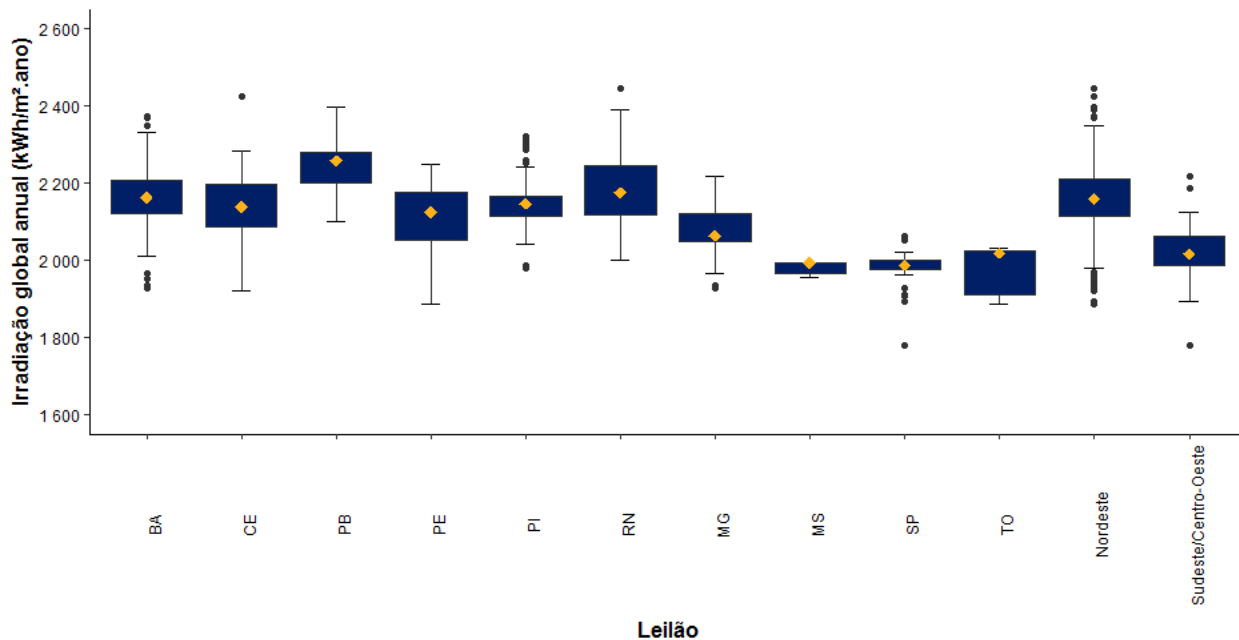


Figura 4 – Irradiação global horizontal por UF no histórico dos leilões

O subsistema Nordeste apresenta os valores mais elevados, seguida pelo Sudeste/Centro-Oeste, enquanto a região Norte (Tocantins) apresentou mediana similar, mas quartis inferiores. No Sudeste/Centro-Oeste, destaca-se o estado de Minas Gerais, que apresenta valores mais altos que os demais da região. Em que pese a importância da irradiação global horizontal nos projetos fotovoltaicos, esta não deve ser tomada como uma referência de qualidade ou competitividade dos mesmos, dadas as diversas variáveis de influências técnicas, econômicas e socioambientais.

3.2 Equipamentos

Avalia-se a seguir a evolução dos equipamentos utilizados nos projetos habilitados para os leilões. Ressalta-se que esses dados não correspondem necessariamente à participação efetiva de mercado, já que é comum que os projetos sofram alterações antes da construção.

3.2.1 Módulos Fotovoltaicos

Com relação à tecnologia de material do módulo fotovoltaico, os projetos habilitados em 2019 não diferem em muito daqueles do histórico. Além de uma pequena fração de projetos utilizando Telureto de Cádmio (CdTe), tem

havido oscilação entre as tecnologias de silício monocristalino e policristalino². Após um pico de proporção de habilitados em 2017, os módulos policristalinos voltaram a perder espaço para os monocristalinos, que no leilão A-6/2019 compuseram 1/3 da potência CC habilitada, e considerando apenas os projetos novos³ apresentados em 2019, essa fração é de 40%, conforme apresentado na Figura 5.

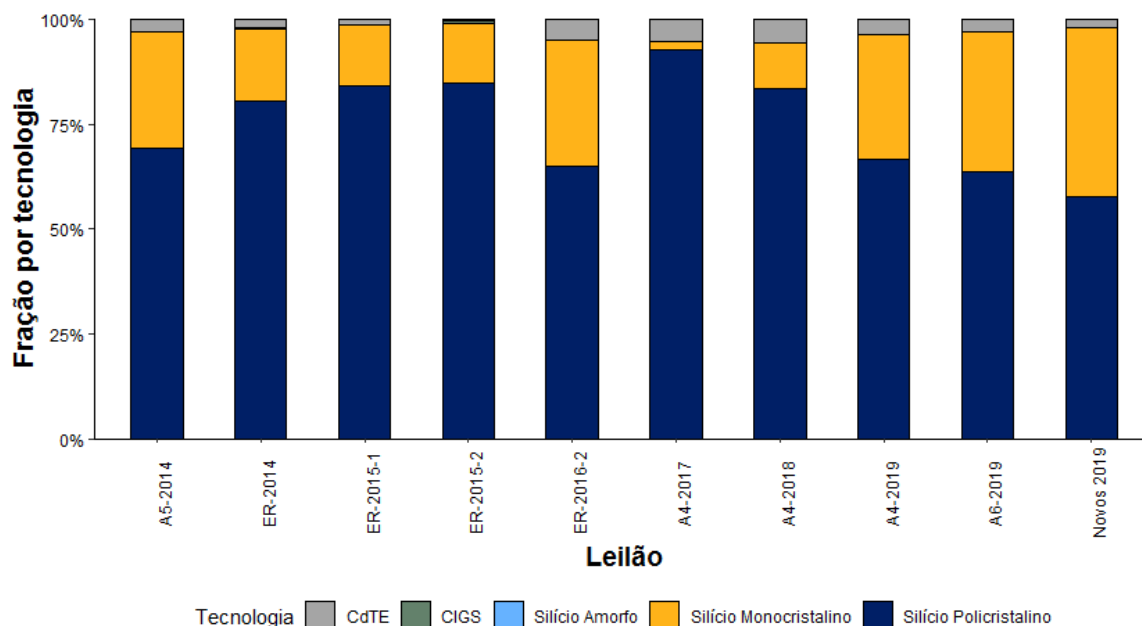


Figura 5 – Proporção da potência CC, por tecnologia, a cada leilão, dos projetos habilitados tecnicamente

A potência média por módulo fotovoltaico tem aumentado, tanto pelos ganhos de eficiência quanto pela migração para módulos de maior área, como será discutido a seguir. Enquanto os módulos de silício de 60 células possuíam cerca de 1,66 m², os de 72 células (ou 144) tipicamente possuem cerca de 2 m². Nota-se também, na Figura 6, grande aumento na potência média dos módulos de CdTe. Este se explica pelo lançamento de uma nova série utilizando essa tecnologia, que possui área de 2,47 m², ante 0,72 m² das séries anteriores. Nos projetos novos que consideraram essa tecnologia, todos utilizaram o modelo mais recente.

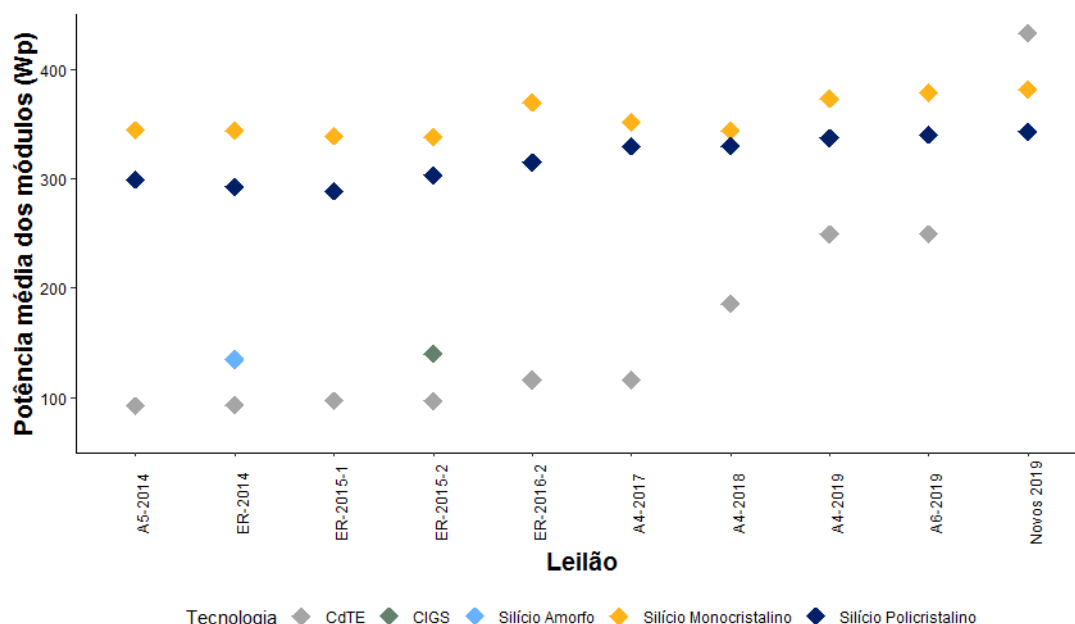


Figura 6 - Potência média dos módulos por tecnologia a cada leilão

² Na academia, há uma tendência de denominar esta tecnologia como *multicristalino*. Neste documento, foi mantida a nomenclatura *policristalino* por ser esta a forma em que os fabricantes geralmente apresentam seus catálogos.

³ Caso o projeto tenha sido habilitado tecnicamente para a participação em leilões anteriores, é permitida a manutenção de sua documentação. Com isso, tais projetos podem não refletir as tendências tecnológicas mais atuais. São considerados projetos novos aqueles que não participaram do leilão A-4/2018 ou alteraram a documentação no ano de 2019.

Em termos de quantidade de células para os módulos de silício cristalino, houve um crescimento expressivo no uso dos modelos de 144 células no ano de 2019, demonstrado na Figura 7. Os módulos de 144 células possuem dimensões e potências similares àqueles de 72 células, mas utilizam células cortadas ao meio, sendo por isso denominados *half-cut cell*. Estes módulos apresentam correntes mais baixas que os tradicionais, reduzindo as perdas resistivas. Outra vantagem é a maior tolerância a sombreamentos parciais, já que apenas 1/6 da potência total é afetada ao se sombrear uma célula, ante 1/3 em módulos comuns.

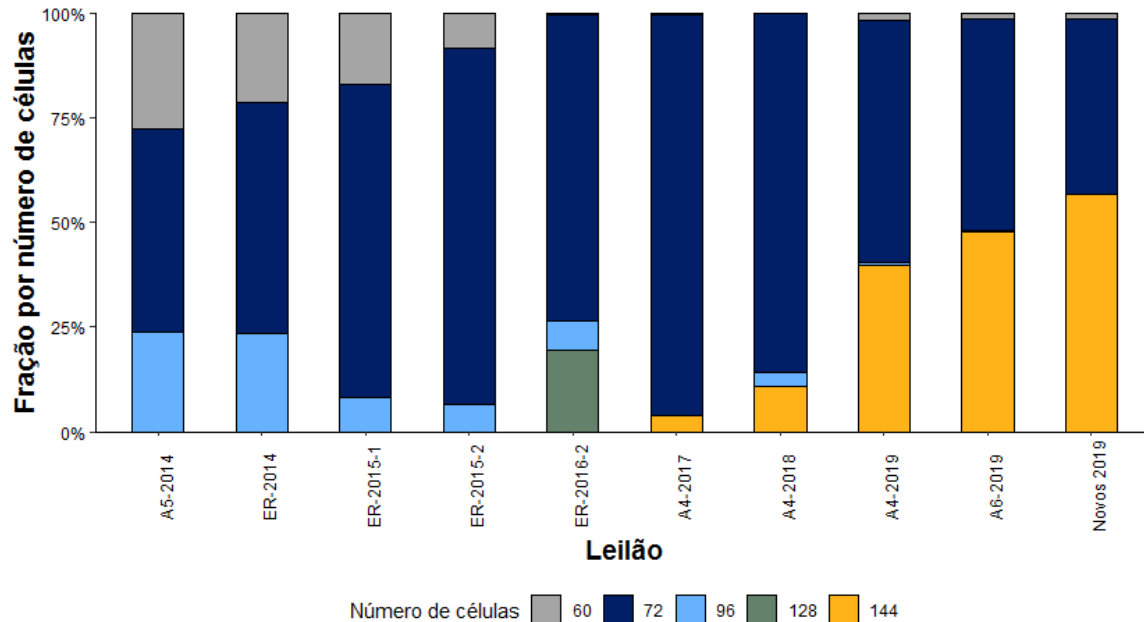


Figura 7 – Proporção da potência CC dos projetos habilitados por quantidade de células

A tendência de incremento da tensão máxima admissível dos módulos para 1500 V foi mantida, atingindo cerca de 75% da potência CC habilitada nos leilões de 2019 (83% dos projetos novos), tal como apresentado na Figura 8. Os sistemas de maior tensão permitem o uso de séries fotovoltaicas mais longas, reduzindo as correntes no sistema e os custos com cabeamento.

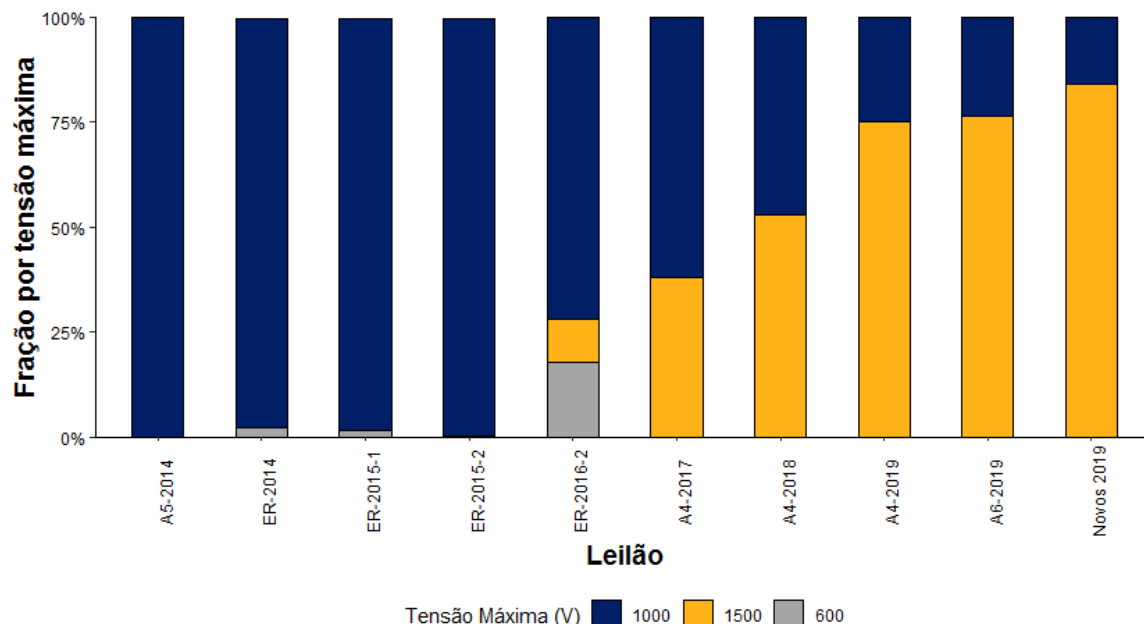


Figura 8 – Proporção da potência CC dos projetos habilitados por tensão máxima

A tecnologia PERC também tem ganhado destaque nos leilões recentes. Apesar de a tecnologia ser conhecida há décadas, com artigos publicados desde o final dos anos 80 (Blakers et. al, 1989), apenas recentemente estas atingiram viabilidade, e seu uso têm crescido rapidamente dado o baixo custo de implantação pela indústria atual. Alguns autores apontam haver um mecanismo de degradação a altas temperaturas (LeTID) nessa tecnologia, que poderia causar perdas

significativas de potência (Fertig et. al, 2017), sendo necessário estudo e acompanhamento desse efeito. Os primeiros projetos considerando essa tecnologia foram habilitados em 2017, embora totalizando apenas 0,6% da potência CC habilitada. Essa proporção vem se incrementando, e dentre os projetos novos do ano de 2019, chegou a 28,5% da potência habilitada. A Figura 9 apresenta o crescimento desde 2017.

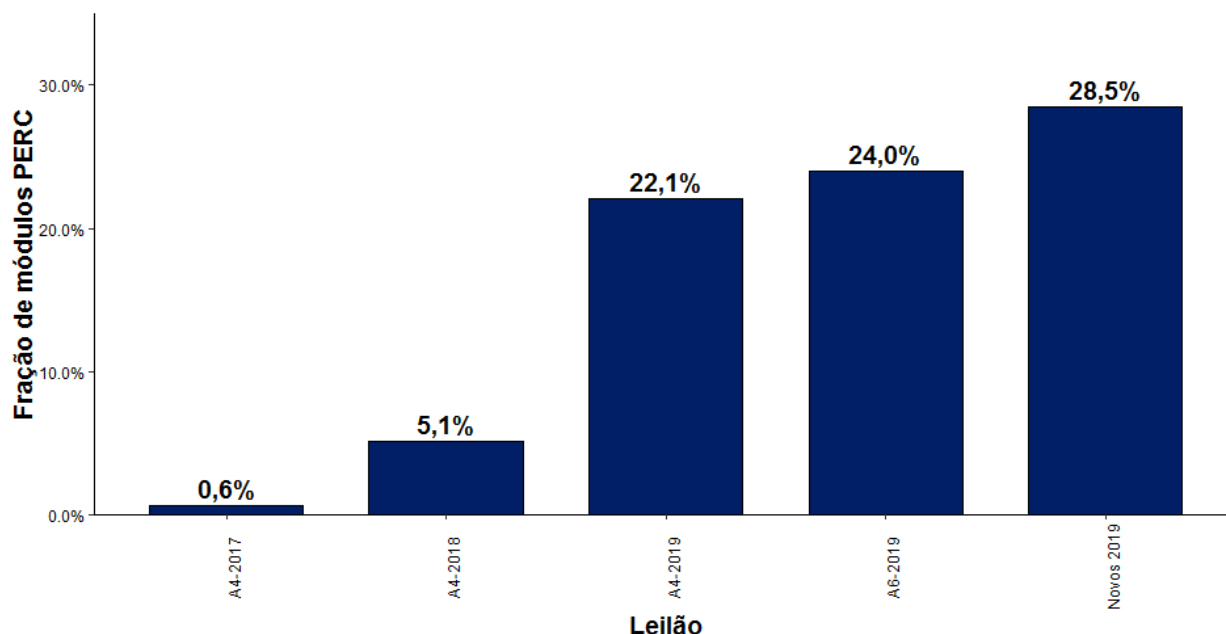


Figura 9 - Fração de módulos PERC por leilão

Outra novidade foi o uso de módulos bifaciais, mais uma aposta do setor fotovoltaico para o incremento da eficiência dos parques. Estes possuem vidro também na parte posterior e células capazes de converter a energia solar em ambas as faces. Embora parem algumas dúvidas quanto aos reais ganhos por bifacialidade e desafios quanto à sua estimativa (Konzen et. al, 2019), diversos projetos estão sendo desenvolvidos com essa tecnologia. Ausentes dos anos anteriores, estes representaram 19,5% e 19%, respectivamente, da potência CC dos leilões A-4 e A-6 de 2019.

3.2.2 Inversores

Na evolução dos projetos ao longo dos anos, houve uma tendência de se utilizar inversores menores em relação à potência CC, levando à redução do Fator de Dimensionamento de Inversor (FDI)⁴, conforme apresentado na Figura 10.

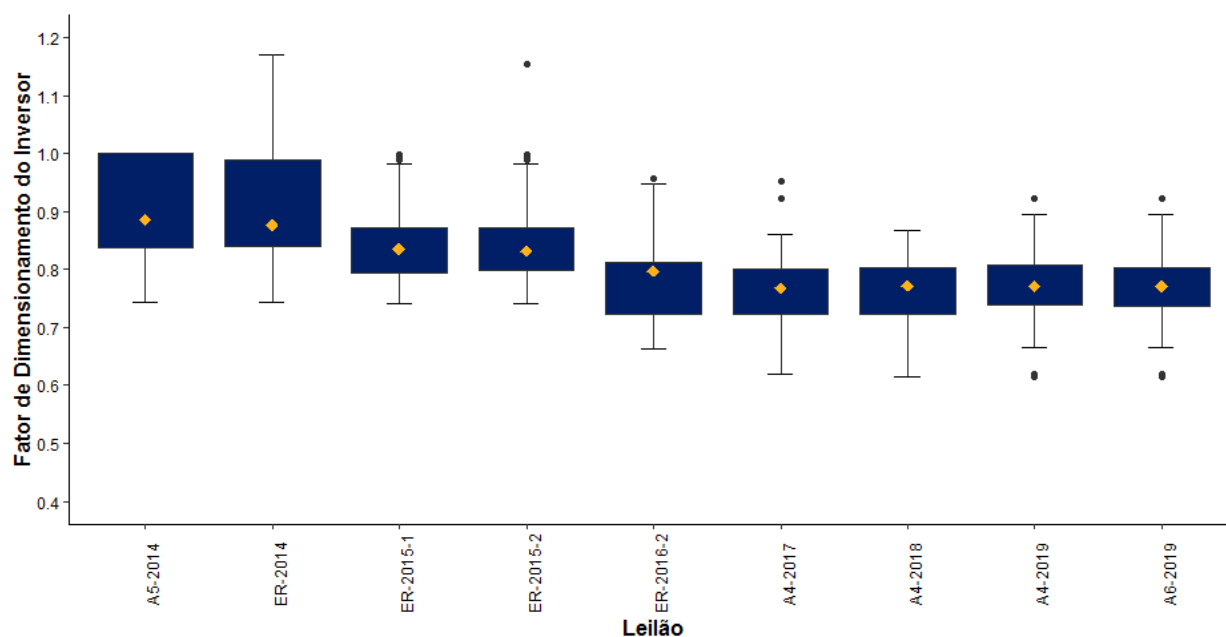


Figura 10 - Fator de dimensionamento do inversor por arranjo

⁴ Relação entre a potência CC e CA de um arranjo fotovoltaico

Em 2019, verifica-se um pequeno incremento em relação aos anos anteriores, em especial nos valores extremos, com a mediana mantendo-se em um nível similar. Uma provável causa para a intensificação dessa prática foi a queda dos custos dos módulos fotovoltaicos em proporção maior do que a dos demais equipamentos.

Na Nota Técnica EPE-DEE-NT-091/2018-r0 (EPE, 2018b), discutiu-se sobre possíveis limites da estratégia de subdimensionamento do inversor, e a necessidade de cautela devido a possíveis erros na estimativa de produção de energia baseado em estudo anterior de Bürger e Rüther (2006). De fato, foi verificado em Ruschel e Ponte (2019), que a utilização de dados horários para estimativa da produção fotovoltaica pode levar a sobrestimativas, e que esse efeito é agravado para valores mais baixos de FDI. No caso estudado, a diferença entre simulações horárias e minutais cresceu de 1% com um fator de dimensionamento de 0,89 para 4% considerando um FDI de 0,69.

3.2.3 Estruturas

O uso de rastreamento de um eixo manteve-se como a escolha predominante dos projetistas nos leilões de 2019, com participações similares e superior a 95% desde o ano de 2017. A Figura 11 ilustra o histórico, que se iniciou com predominância de sistemas de estrutura fixa.

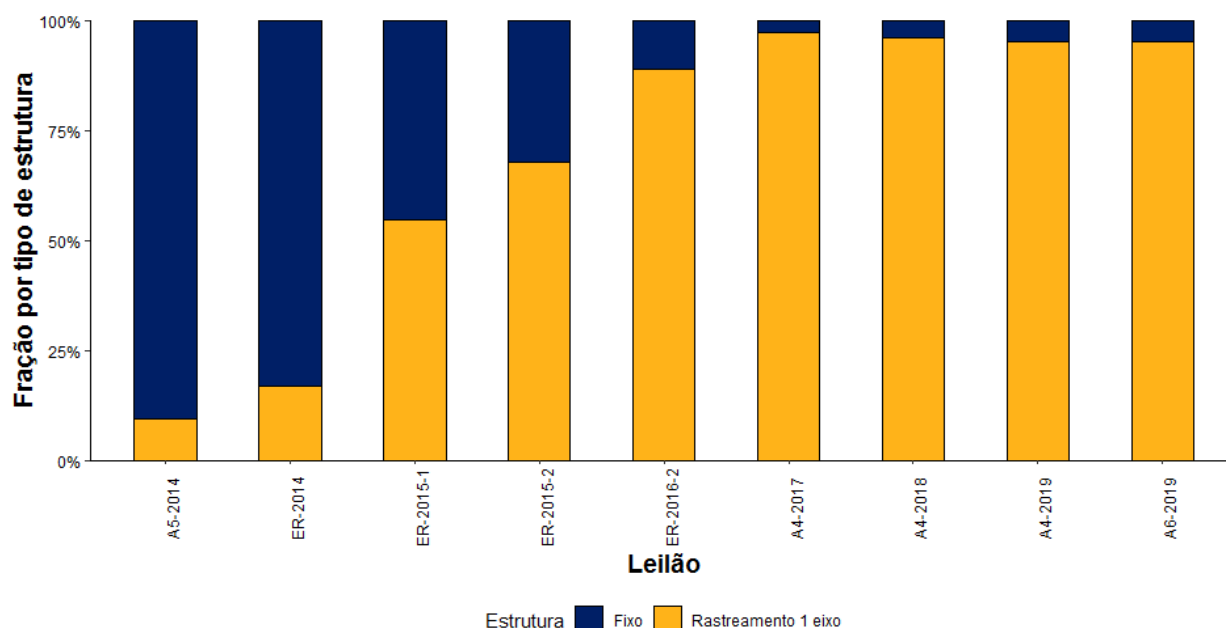


Figura 11 – Proporção de projetos por estrutura de suporte

O uso de rastreamento de um eixo tem contribuído para atingir fatores de capacidade mais elevados, com produções de energia mais constante ao longo do dia.

4. FATOR DE CAPACIDADE

Após um crescimento mais pronunciado nos primeiros anos da participação da fonte nos leilões de energia, desde 2017 os fatores de capacidade⁵ têm se mantido em níveis similares, variando entre 25% e 35% para os projetos com rastreamento em um eixo, e entre 19% e 25% para projetos com estrutura fixa, considerando-se a potência habilitada (em geral a potência CA). A mediana tem permanecido em níveis próximos a 30% desde 2016, com pequenos incrementos desde então.

⁵ Considerando as regras do ambiente de contratação regulado, o fator de capacidade de um empreendimento é definido como a razão entre a expectativa de geração de energia⁵ da planta, em MW_{med}, e a sua potência instalada, em MW.

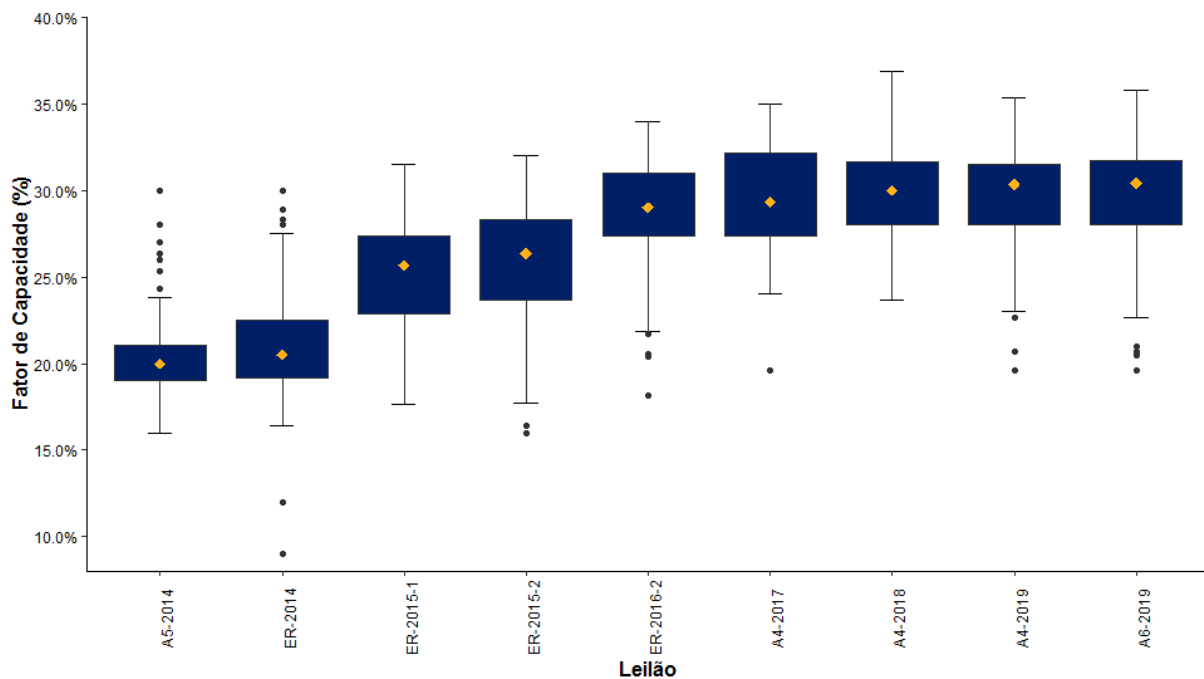


Figura 12 - Histórico do fator de capacidade (base Potência Habilitada)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo do curto histórico de participação nos leilões de energia, os projetos fotovoltaicos cadastrados para os leilões de energia apresentaram alterações em suas características técnicas, refletindo as evoluções tecnológicas e tendências mundiais. A cada ano, novas soluções tecnológicas são incorporadas, e estas levam a mudanças na otimização dos projetos. De maneira semelhante, a evolução dos custos dos equipamentos também altera pontos ótimos de dimensionamento. Por exemplo, a queda no custo dos módulos fotovoltaicos levou a um maior subdimensionamento dos inversores, que, em conjunto com o uso de rastreamento de um eixo, aumentaram o fator de capacidade dos projetos.

Essa evolução tem sido fundamental no desenvolvimento da fonte solar fotovoltaica no Brasil, e tem se refletido na competitividade da tecnologia. Se nos primeiros leilões em que participou esta possuía a energia mais cara dentre as opções de expansão, hoje esta se apresenta como uma das mais competitivas para o atendimento das necessidades de energia do sistema elétrico brasileiro.

REFERÊNCIAS

- A.W.Blakers, A.Wang, A.M.Milne, J.Zhao, M.A.Green, 1989. 22.8% Efficient Silicon Solar Cell, Appl. Phys. Lett. 55. 1363–1365.
- Burger, B., Rüther, R., 2006. Inverter sizing of grid-connected photovoltaic systems in the light of local solar resource distribution characteristics and temperature, Solar Energy, vol. 80, n. 1, pp. 32-45.
- EPE, 2018a Instruções para Solicitação de Cadastramento e Habilitação Técnica de Empreendimentos Fotovoltaicos – Leilões de Energia.
- EPE, 2018b “Projetos Fotovoltaicos nos Leilões de Energia. Características dos empreendimentos participantes nos leilões de 2013 a 2018.”.
- Fertig, F., Lantzsch, R., Moher, A., Schaper, M., Bartzsch, M., Wissen, D., Kersten, F., Mette, A., Peters, S., Eidner, A., Cieslak, J., Duncker, K., Junghänel, M., Jarzembowski, E., Kauert, M., Faluwetter-Quandt, B., Meissner, D., Reiche, B., Jeong, D.J.W., 2017. Mass production of p-type Cz silicon solar cells approaching average stable conversion efficiencies of 22%. Energy Procedia. v-124. Pp-338-345.
- Konzen, G., Ruschel, C.S., Ponte, G.P., 2019. Módulo bifacial: lançamento dos anos 80 aterrissa agora nos projetos comerciais. Cenários Solar. Disponível em: <https://cenariossolar.editorabrasilenergia.com.br/modulo-bifacial-lancamento-dos-anos-80-aterrissa-agora-nos-projetos-comerciais/> <acesso em 05/12/2019>
- MME - Ministério de Minas e Energia. Portaria nº 102, de 22 de Março de 2016.
- ONS, 2019. Boletim Mensal de Geração Fotovoltaica – Outubro 2019.
- Ruschel, C. S. e Ponte, G. P., 2018. Metodologias de Ajuste de Dados Solarimétricos Visando a Estimativa de Produção de Energia de Longo Prazo. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar.

Ruschel, C.S. e Ponte, G.P., 2019. Efeito da discretização temporal na estimativa da produção de energia de usinas fotovoltaicas. XXV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Belo Horizonte. Novembro de 2019.

PV PROJECTS TECHNICAL EVOLUTION ON REGULATED ELECTRICITY MARKET AUCTIONS

Abstract. *Solar PV has participated on regulated market auctions since 2013, with projects contracted since 2014. On this period, there was a growth in the quantity of registered projects and a constant technological evolution on the projects, as well as a decrease on reported investment costs and on the energy price. As for PV modules, even though there is a dominance of silicon for all the period, there were changes in number of cells, maximum voltage, nominal power, among other characteristics. The project sizing also went through modifications, being a common practice to undersize the inverter in relation to the CC power, although there are some limitations for this strategy that must be analyzed. As for mounting structures, there was a migration from fixed mounting to single-axis tracking systems, which represent more than 95% of current projects. This evolution led to a higher capacity factor for the projects, and, combined with cost reductions, helped PV to become one of the most competitive among the expansion options for the electricity sector.*

Key words: *PV projects, Energy Auctions, PV Modules.*