

SITUACIÓN ACTUAL DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN BRASIL

A. Moehlecke y I. Zanesco

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), Escola de Ciências,
Núcleo de Tecnologia em Energia Solar (NT-Solar)
Av. Ipiranga, 6681 – Prédio 96A – Tecnopuc – Porto Alegre – RS, CEP 90619-900
Tel. 55-51-33203682, e-mail: moehleck@pucrs.br

Recibido: 02-02-18; Aceptado: 29-06-18.

RESUMEN.- La matriz eléctrica brasileña siempre fue mayormente basada en fuentes renovables, como de centrales hidroeléctricas, de biomasa y en los últimos años, también de centrales eólicas. Los sistemas fotovoltaicos primero se utilizaron en viviendas o comunidades aisladas y solamente en 2012 se hizo legal la conexión a la red eléctrica de sistemas de micro y mini generación. De este modo, 2012 es el año cero del mercado de generación distribuida en Brasil. El artículo trata de presentar un resumen de la situación actual del mercado de generación distribuida con sistemas fotovoltaicos en Brasil, el contexto de la producción de energía eléctrica, la reglamentación, las industrias de módulos fotovoltaicos así como las perspectivas para la próxima década.

Palabras claves: energía solar, sistemas fotovoltaicos, generación distribuida.

CURRENT STATUS OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS FOR DISTRIBUTED GENERATION IN BRAZIL

ABSTRACT -The Brazilian electric matrix was always mostly based on renewable sources, like hydroelectric, biomass and recently also on wind power plants. Photovoltaic systems were firstly used in homes or isolated communities and only in 2012 became legally the connection of micro and mini generation power systems to the electrical grid. Thus, 2012 is the year zero of the market of distributed generation in Brazil. The paper presents a summary of the current situation of the market of distributed generation with PV systems in Brazil, the context of the production of electrical energy, the regulation, the PV module industries as well as the prospects for the next decade.

Keywords: solar energy, photovoltaic systems, distributed generation.

1. INTRODUCCIÓN

El aumento de la demanda de energía a nivel mundial y su impacto en la sociedad y en el medio ambiente hacen que se busque nuevas formas de producción de energía a partir de fuentes renovables. La conversión fotovoltaica (FV), es decir, la conversión de energía solar en energía eléctrica por módulos fotovoltaicos es una de las formas de producción de energía que más crece en el mundo. En los últimos cinco años, la tasa media de crecimiento de la potencia instalada en sistemas fotovoltaicos fue del 32% al año y, en 2017, la potencia instalada en el mundo superó los 400 GW (IEA-PVPS, 2018). Los países líderes en capacidad instalada son China (131 GW), Estados Unidos (51 GW), Japón (49 GW) y Alemania (42 GW). Del punto de vista de la potencia instalada en 2017, China es donde más se instalaron plantas de producción con módulos fotovoltaicos, con 53 GW, seguida de Estados Unidos (10,6 GW), India (9,1 GW) y Japón (7 GW). Con relación a las instalaciones, el mayor mercado de la tecnología FV en los

años 2012 - 2017 era Europa y ahora está se desplazando hacia China, Estados Unidos e India y, además, otros países empezaron a instalar sistemas fotovoltaicos. Por ejemplo, en Brasil en 2017, se instaló del orden de 0,9 GW y pasó a ser el décimo mayor mercado de la tecnología fotovoltaica. Del total de esta potencia, 0,1 GW fueron de sistemas de FVs de generación distribuida, que crecen de forma elevada, del orden de 3 - 4 veces al año. Sin embargo, una gran parte son centrales fotovoltaicas con potencias del orden de 30 MW. Hasta mayo de 2018, el sistema eléctrico brasileño ya presentaba una potencia instalada de 1,6 GW en sistemas de generación distribuida y centrales fotovoltaicas.

En este contexto, el objetivo de este trabajo es presentar un resumen y discutir el crecimiento de la generación distribuida con sistemas fotovoltaicos en Brasil. El mercado y sus características, la reglamentación y las industrias de módulos fotovoltaicos establecidas en el país son temas que se tratan en el artículo.

2. ENERGÍA ELÉCTRICA EN BRASIL

El Balance Energético Nacional de 2017 (EPE^a, 2017) muestra que Brasil tiene una matriz de energía con 43,5 % de fuentes renovables, en su mayoría de caña de azúcar (17,5 %), energía eléctrica de centrales hidroeléctricas (12,6 %) y leña y carbón vegetal (8 %). Los 5,4 % restantes son de otras renovables, como el aprovechamiento de leña negra, energía eólica, biomasa (excepto caña de azúcar) o energía solar. Del consumo anual de energía, el 17,5 % es de energía eléctrica y la potencia instalada en centrales productoras a finales de 2016 era de 150,3 GW. La figura 1 presenta las formas de producción de energía eléctrica, donde se destacan las centrales hidroeléctricas, con 68 % del total. Sumándose con las centrales eólicas y las térmicas que usan biomasa, se alcanza la potencia de 122,8 GW instalada en

centrales con fuente renovable, es decir, aproximadamente 82 % de la matriz es renovable. Si se compara este porcentaje con la media mundial de 2014, que era de 21,2 %, o con el valor promedio de países de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos), que era de 19,7%, se puede concluir que no habría en Brasil una urgencia para invertir en sistemas fotovoltaicos con el objetivo de incrementar la participación de fuentes renovables en la matriz eléctrica. Si se mira desde el punto de vista de emisiones de CO₂, en 2016 se generó aproximadamente 100 kg de CO₂ para cada MWh producido en Brasil, bastante menor que lo generado en China (772 kg), Estados Unidos (490 kg) o Unión Europea (366 kg) (EPE^a, 2017).

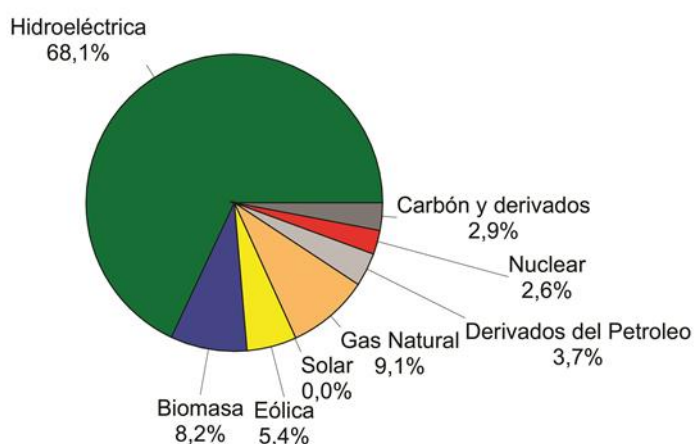


Fig. 1. Fuentes de energía eléctrica en Brasil en 2016, según el Balance Energético Nacional-2017 (EPE^a, 2017).

Además, en Brasil hay elevados valores de irradiación solar en toda su extensión. Por ejemplo, la irradiación solar diaria media anual en una superficie inclinada de un ángulo igual al de la latitud en la región sur es de 4,77 kWh/m², similar al valor para la región norte del país, que es de 4,66 kWh/m². Considerando toda la extensión territorial, esta irradiación solar diaria media está en el rango de 3,5 kW/m² a 6,2 kW/m² (Pereira et al., 2017), valores mayores que aquellos que hay en varios países europeos. Se aprovecha la irradiación solar para calentamiento de agua y otros fluidos, con una industria bien establecida en Brasil. En el aspecto de la energía solar térmica, en 2017, Brasil fue el cuarto mayor mercado mundial y es el quinto país con mayor capacidad instalada (REN21, 2018).

Considerando que la matriz de energía eléctrica en Brasil es predominada por centrales hidroeléctricas, el uso de la energía solar para producir energía eléctrica es naturalmente complementario. Durante los períodos de sequía hay elevados valores de irradiación solar, que a lo largo del día pueden ser utilizados para producir energía, mientras se guarda el agua en los reservorios de las centrales hidroeléctricas. Por la noche se utiliza el agua de los reservorios de centrales hidroeléctricas para la producción de energía eléctrica.

3. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA GENERACIÓN DISTRIBUIDA

Los sistemas fotovoltaicos empezaron a ser utilizados en Brasil primero como una forma de electrificar viviendas aisladas de la red eléctrica (Valer et al., 2017) y después para sistemas conectados a la red. Los sistemas aislados fueron implantados en proyectos de investigación o en proyectos del gobierno como el PRODEEM (Programa para Desarrollo Energético de Estados y Municipalidades) en los años 90. Después, en los años 2000, las distribuidoras de energía usaron sistemas FVs para electrificar domicilios donde los altos costes de extensión de cables o restricciones del medio ambiente impedían la conexión a la red eléctrica, siempre bajo la normativa RN83, de 2004, de la Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL), en el marco del Programa Nacional de Acceso Universal a la Energía Eléctrica (*Programa Luz para Todos*). Hasta el 2012 se estimaba la existencia de 30 - 40 MW en sistemas fotovoltaicos aislados en el país (ABINEE, 2012).

En 2001, debido a una larga sequía en el nordeste/sudeste de Brasil, el país pasó por importantes problemas de suministro de energía eléctrica, puesto que la base de la matriz es de centrales hidroeléctricas. Gran parte de la población tuvo que racionar el uso de la energía. Durante la década de 2000 - 2010, la academia propuso muchas veces a los distintos

gobiernos la necesidad de un plan nacional para desarrollo de los sistemas fotovoltaicos para generación distribuida. Solamente en 2012, se inició la conexión legal de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica, con la normativa RN482 de ANEEL.

3.1 Reglamentación.

Los sistemas FVs aislados para atender viviendas o pequeños pueblos están regulados por la normativa ANEEL RN493, de 05/06/2012, que actualizó la norma RN83 de 2004. La normativa presenta los procedimientos y las condiciones de suministro de energía eléctrica con micro sistemas aislados o sistemas individuales de generación de energía eléctrica con fuente intermitente. La instalación es gratuita y el consumidor paga un valor subsidiado equivalente al consumo mensual de 13 kWh hasta 80 kWh (según la potencia instalada), con la tarifa vigente para su clase de consumo. Se puede atender en corriente alterna o alterna/continua (con la aceptación del cliente). El subsistema de acumulación debe producir una autonomía de 48 h, es decir, dos días nublados, lo que es adecuado solo para regiones con alta irradiación solar.

El primero sistema fotovoltaico conectado a la red en Brasil se instaló en 1995, en el estado de Pernambuco, al nordeste de Brasil, con una potencia de 11 kW_p, en un proyecto experimental de la Compañía Hidroeléctrica del Valle del San Francisco (CHESF) (Bezerra, 1998; Oliveira, 2002). De 1995 hasta 2011, otros sistemas experimentales se instalaron en Brasil, la mayor parte de ellos en universidades y centros de investigación de empresas de energía (Oliveira y Zilles, 1999, 2001; Rütther y Dacoregio, 2000, Rütther, 2000; Galdino^a, 2005; Krenzinger y Prieb, 2005; Krenzinger et al., 2005; Faria Jr., 2017). Con excepción del sistema FV instalado en 2010 en la PUCRS (*Pontificia Universidade Católica do Rio Grande do Sul*), que utilizó módulos fotovoltaicos de fabricación propia (incluso con celdas solares hechas en una planta piloto en la universidad) (Zanesco et al., 2012 y García et al., 2016), todos utilizaron componentes importados, puesto que no existían fábricas en Brasil de módulos fotovoltaicos e inversores. Fue la época de instalar sistemas FVs para comprender cómo se comportaban en la red eléctrica, los problemas en las instalaciones, el uso de diferentes tecnologías de módulos fotovoltaicos, la integración en edificaciones entre otros factores.

En 2002 el INMETRO (Instituto Nacional de Metrología, Calidad y Tecnología) formó el grupo de trabajo de Sistemas Fotovoltaicos, como parte del Programa Brasileño de Etiquetado (PBE). El objetivo fue establecer las normas para el etiquetado o certificación de los componentes de un sistema fotovoltaico (Galdino^b et al., 2005). Primeramente los trabajos se centraron en módulos fotovoltaicos (Araújo et al., 2018), controladores de carga, baterías e inversores para sistemas fotovoltaicos autónomos. Años después, también se incluyeron inversores para sistemas conectados a la red eléctrica. Este programa sigue con éxito en Brasil.

La reglamentación de la conexión a la red de sistemas de micro generación distribuida se publicó en 17 de abril de 2012, con la RN 482, de la ANEEL, tras dos años de discusiones públicas organizadas por esta agencia con el objetivo de debatir los dispositivos legales de conexión de sistema de pequeño porte en la red de distribución. En noviembre de 2015 se publicó la revisión de la resolución normativa bajo el número RN687. Se estableció el sistema

de compensación de energía eléctrica (*net metering*) para remuneración de la energía producida, es decir, se entrega esta energía eléctrica para la distribuidora local (se generan créditos) y posteriormente se compensa el valor con el consumo de la unidad. Cuando la generación es más grande que el consumo, la unidad consumidora podrá utilizar créditos, o bien kWh excedentes, en hasta 60 meses. Se pueden utilizar los créditos en la misma unidad consumidora o en otra del mismo propietario (persona física o jurídica), en el área de la misma distribuidora de energía eléctrica. La micro generación con sistemas FVs se caracteriza por una potencia instalada de hasta 75 kW y la mini generación se caracteriza por centrales con potencia mayor que 75 kW y menor que 5 MW (ANEEL, 2016).

Los trámites para conectar el sistema FV se realizan en la distribuidora local a través de una solicitud de acceso con proyecto eléctrico de la instalación firmado por ingeniero electricista (con registro en el colegio de ingenieros, CREA, Consejo Regional de Ingeniería y Agronomía), certificados de conformidad de los equipos del sistema FV y demás documentos de la propiedad. Según la potencia del sistema, podrán ser solicitados documentos complementarios. Cada distribuidora tiene una normativa para acceso a la red eléctrica de acuerdo con la RN687 y los "Procedimientos de Distribución" de Energía Eléctrica en el Sistema Eléctrico Nacional (PRODIST). La distribuidora tiene un plazo de 15 días, para micro generación, y de hasta 60 días, para mini generación, para aprobar el proyecto o solicitar alteraciones. El usuario tiene 120 días para instalar el sistema y, tras la instalación, solicita la visita para inspección (plazo de 7 días para la distribuidora programar). La distribuidora tiene un período de hasta 7 días para cambiar el medidor de consumo. Si el sistema FV se instala en una semana (factible para sistemas de pequeño porte), el proceso total puede tardar del orden de 45 días para un sistema de micro generación.

La medición puede ser con dos medidores unidireccionales (consumo y producción) o un medidor bidireccional. Los costes de la instalación de los medidores son de responsabilidad de la distribuidora para sistemas de micro generación (con potencia hasta 75 kW).

Se puede instalar el sistema FV en un local y compensar en la cuenta de energía eléctrica de otra propiedad del mismo consumidor, lo que se denomina de autoconsumo remoto, desde que el sistema y la propiedad estén en el área de la misma distribuidora de energía eléctrica. También se permite la generación compartida, es decir, consumidores se reúnen por medio de un consorcio o cooperativa e implantan una central de micro o mini generación y la energía producida podrá ser compensada en las propiedades de los participantes del consorcio.

3.2 Mercado.

La figura 2 presenta la evolución de la potencia instalada en Brasil en lo que se refiere a sistemas FVs de micro y mini generación conectados a la red. Las distribuidoras suministran a la ANEEL la información de los sistemas FVs de generación distribuida y la agencia los divulga en su página web. Se observa que en 2016 el mercado empezó a crecer de forma muy intensa y, en 2017, se instalaron 120 MW. En los últimos años, el número de sistemas instalados por año fue de 6.130 en 2016 y de 13.324 en 2017. Hasta mayo del 2018, ya se habían instalados 8.856 sistemas, con un total de más de 30 mil unidades conectadas. El valor

promedio de la potencia instalada en cada sistema en 2016 fue de 8 kW_p , pero se observó (hasta mayo de 2017) que el 72 % de los sistemas de generación distribuida tienen potencia menor o igual a 5 kW , que es la potencia típica de consumidores residenciales (ANEEL, 2017). Cuando se analizan los datos hasta 2015, se observa que este comportamiento se mantiene desde el principio del mercado de generación distribuida (Faria Jr et al., 2017). En 2016, 33% del total de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eran de instalaciones en viviendas, el 30% en instalaciones en comercio y 24 % en la industria (SEBRAE, 2017).

Además de la reglamentación que empezó en 2012, la mayoría de los estados brasileños, exentaron el pago del impuesto ICMS (Impuesto sobre Circulación de Mercancías y Servicios) sobre la energía entregada a la red eléctrica con base en el Convenio 16/2015, que permite a los estados exentaren el ICMS sobre la energía eléctrica producida por sistemas de generación distribuida reglamentados por la RN 687. De los 26 estados brasileños, 23 y el Distrito Federal aprobaron la exención del ICMS para sistema fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica (SEBRAE, 2017).

Los estados brasileños donde más se instalaron sistemas FVs fueron: Minas Gerais, Rio Grande do Sul y São Paulo, estados del sur y sudeste de Brasil, donde la irradiación solar es más baja cuando comparada con estados del nordeste. Pero en los primeros estados, la energía eléctrica en residencias, es relativamente costosa, y hay una clase media con perfil de utilizar innovaciones. En la figura 3 se muestra el mapa de irradiación solar que llega en superficies inclinadas con ángulo igual a la latitud, extraído del Atlas Brasileño de Energía Solar (Pereira et al., 2017), destacando los tres estados con mayor número de sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica con base en la RN 687. Por ejemplo, en Porto Alegre, capital del estado de *Rio Grande do Sul*, en instalaciones de baja tensión, el kWh cuesta hasta 78 céntimos de real, lo que equivale a aproximadamente US\$0,21. Cuando se recuerda el pasado, en los tiempos en que la energía solar era tema solo de investigación en las universidades, muchas veces los técnicos del gobierno o de empresas de energía postulaban que estados del sur de Brasil nunca iban a utilizar sistemas fotovoltaicos teniendo en cuenta que hay regiones con irradiación solar más elevada. Pero donde hay consumidores de clase media dispuestos a poner sistemas fotovoltaicos, ahí el mercado se establece y produce un crecimiento del número de instalaciones.

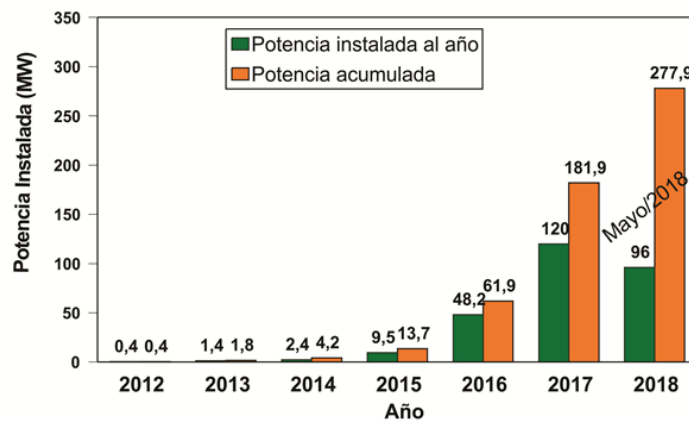


Fig. 2. Potencia instalada en sistemas fotovoltaicos de generación distribuida en Brasil. Los datos de 2018 consideran la potencia instalada hasta el mes de mayo. Fuente: www.aneel.gov.br

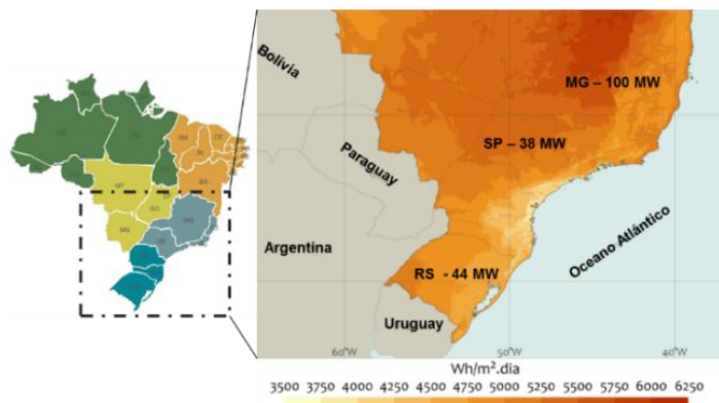


Fig. 3. Estados brasileños con mayor número de sistemas FVs de generación distribuida (datos hasta finales de mayo de 2018) y mapa de la irradiación solar sobre plano inclinado (inclinación igual a la latitud). Adaptado de *Atlas Brasileiro de Energia Solar – Segunda Edición* (Pereira et al., 2017).

En la Nota Técnica n° 56/2017 de ANEEL (ANEEL, 2017), se estimaron los valores de plazos de recuperación económica de los sistemas fotovoltaicos, donde se constató que según la productividad (energía eléctrica producida/potencia instalada) y las tarifas de energía, hay situaciones de recuperación del valor invertido de menos de cuatro años. Se simularon sistemas fotovoltaicos residenciales de 3 kW_p y comerciales de 10 kW_p, con un rendimiento global (*performance ratio*) de 0,75, productividad de 1.209 hasta 1.618 kWh/kW_p y las tarifas locales. Los sistemas tenían un precio de llave en mano de US\$2,8/W_p para viviendas y de US\$2,2/W_p para sistemas de porte mayor (10 kW_p). En la figura 4 se comparan algunos ejemplos de valores de plazo de recuperación económica de sistemas FVs en Brasil (*considerando la irradiación solar y tarifas de cada distribuidora de energía eléctrica. Datos obtenidos de la NT N°56/2017 (ANEEL, 2017). En la leyenda, primero es el estado brasileño, tras la distribuidora de energía eléctrica y la productividad fotovoltaica*), para tres regiones. Los plazos de recuperación de la inversión están en el rango de 5,1 a 10,6 años para instalaciones residenciales y de 5,1 a 8,8 años para las comerciales.

4. FÁBRICAS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

La industria de módulos fotovoltaicos en Brasil se remonta al final de la década de los años 70, cuando en 1979 la empresa Fone-Mat se estableció, ensamblando celdas solares fabricadas en los Estados Unidos por la empresa Solarex. En 1980, la empresa Heliodinámica empezó sus operaciones, llegando a producir los lingotes de silicio monocristalino tipo Cz (Czochralski), celdas solares y módulos fotovoltaicos, con una producción anual de 1 MW_p, típica de las industrias de los años 80 (Fraidenraich, 2002). Por 10 años, hubo restricciones aduaneras para la importación de obleas de silicio, celdas solares y módulos fotovoltaicos y la empresa se constituyó en la única suministradora de módulos fotovoltaicos en Brasil. Con la caída de las restricciones de importación, la empresa no logró alcanzar los precios y eficiencias de productos importados y cerró sus actividades en 2004 - 2005.

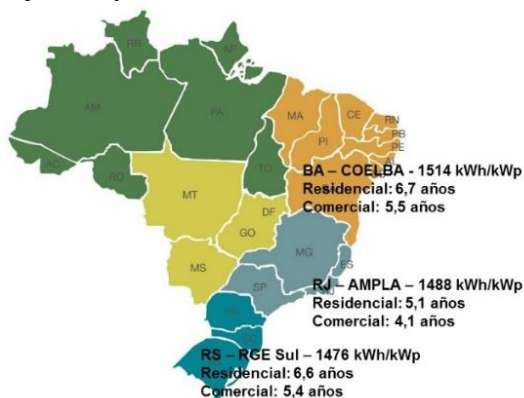


Fig. 4. Tiempo de recuperación económica de sistemas fotovoltaicos residenciales. Datos obtenidos de la NT N°56/2017 (ANEEL, 2017).

Actualmente en Brasil hay nueve empresas ensamblando módulos fotovoltaicos. En la tabla 1 se presentan los nombres de las empresas y la ciudad/estado donde están las plantas (Araújo et al., 2018). Todas ellas importan las celdas solares y demás consumibles (EVA, *backsheet*, vidrio de alta transmisión, etc.). Las plantas más grandes tienen una

capacidad divulgada del orden 200 - 300 MW_p anuales. La única que produce las celdas y los módulos de capas delgadas es la empresa Sunew, que utiliza materiales orgánicos. De las nueve empresas, cinco tienen el certificado del INMETRO. Los módulos fotovoltaicos de estas cinco empresas tienen una potencia en el rango de 150 W_p a los 340 W_p y una eficiencia media de 16,3 %, próxima del valor promedio de todos los módulos comercializados en Brasil y con etiqueta del INMETRO. El módulo fotovoltaico de mayor eficiencia producido en Brasil presentó el valor de 17,6 %, con potencia de 340 W. Las industrias, en su casi totalidad, están ensamblando celdas de silicio cristalino importadas y sus precios de venta de módulos FVs, en general, son mayores que los de productos importados y por esta razón tienen dificultad para inserción en el mercado nacional y mucho menos logran exportar.

Tabla 1: Empresas que fabrican módulos fotovoltaicos en Brasil, en 2018 (Araújo et al., 2018).

Empresa / tecnología	Ciudad – Estado brasileño
Balfar (Si cristalino)	Paranavaí – Paraná
BYD (Si cristalino)	Campinas – São Paulo
Canadian Solar (Si cristalino)	Sorocaba – São Paulo
DYA Energia Solar (Si cristalino)	Campinas – São Paulo
Globo Brasil (Si cristalino)	Valinhos – São Paulo
Minasol (Si cristalino)	Araguari – Minas Gerais
Multisolar (Si cristalino)	Osasco – São Paulo
Pure Energy (Si cristalino)	Marechal Deodoro – Alagoas
Sunew (materiales orgánicos)	Belo Horizonte – Minas Gerais

Cabe comentar que la mayoría de empresas que fabrican inversores y demás componentes para un sistema fotovoltaico se localizan en las regiones sur y sudeste. Por otro lado, hay empresas de servicios de instalación de sistemas fotovoltaicos en todas las regiones del país (SEBRAE, 2017).

5. PERSPECTIVAS

La EPE, Empresa de Investigación Energética (*Empresa de Pesquisa Energética*) es un órgano del gobierno central que tiene, como una de sus atribuciones preparar una visión del futuro de las diferentes formas de energía en la matriz energética nacional. En el Plan Decenal de Expansión de Energía (PDE 2026) la EPE prevé que para 2026 la potencia fotovoltaica instalada alcanzará los 10,3 GW, con 7 GW en centrales fotovoltaicas y 3,3 GW en generación distribuida (EPE^b, 2017). La figura 5 muestra la curva de crecimiento de la potencia instalada en sistemas fotovoltaicos para generación distribuida hasta 2024 (*para viviendas (residencial, potencia de 3 kW_p) y para establecimientos comerciales (comercial, 10 kW_p)*). Los números “reales” indican un crecimiento mayor que lo previsto para 2017 y 2018. ANEEL^b, 2017). Se observa que para los dos primeros años, la estimación se quedó por debajo del valor instalado. Si las tasas de crecimiento siguen como las de estos años, o incluso fuesen mayores (teniendo en cuenta que 2017 - 2018 el país pasó por una crisis económica), se superarán los 3,2 GW en 2024. Los estudios del Plan Nacional de Energía para 2050 prevén que la generación distribuida con sistemas FV podrá atingir valores del orden de 78 GW, representando el 9 % de la oferta de energía eléctrica en aquel año (EPE^c, 2017).

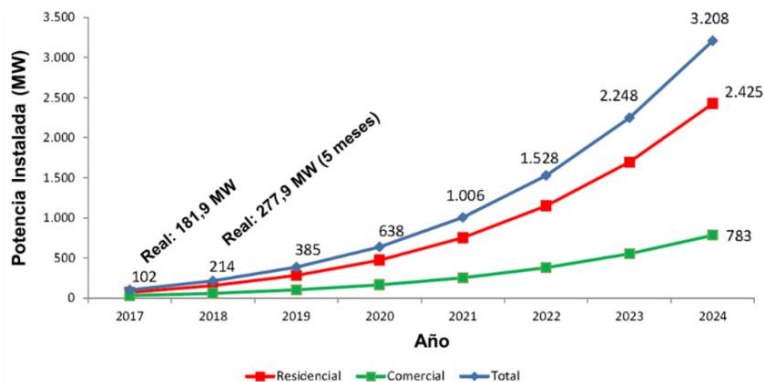


Fig. 5. Perspectiva de crecimiento del mercado de sistemas fotovoltaicos de generación distribuida Fuente: ANEEL (2017), Nota Técnica n° 0056/2017-SRD/ANEEL.

6. CONCLUSIONES

Durante las últimas décadas, cuando el mercado de sistemas fotovoltaicos creció en los países desarrollados, el mercado brasileño estuvo prácticamente parado, con instalaciones en viviendas aisladas o en sistemas experimentales en universidades o centros de investigación. Una matriz eléctrica basada en renovables y precios bajos de generación en centrales hidroeléctricas alejarán del juego nuevas energías más costosas al momento. Aunque cara, la energía eléctrica de origen fotovoltaica no pudo ser utilizada de forma legal en conexiones a la red de baja tensión hasta 2012, cuando se reglamentó la conexión de sistemas de generación distribuida en Brasil. En los últimos años, el mercado de este tipo de sistemas, de pequeño y medio porte, está creciendo a tasas elevadas debido al alto precio del kWh en la mayoría de las regiones del país y a la oferta de módulos fotovoltaicos a precios relativamente bajos. Además, a los consumidores de clase media les gusta la innovación y también de obtener, de cierto modo, una defensa contra las constantes subidas del precio de la energía eléctrica. Un punto importante a comentar es que el mercado de generación distribuida creció sin ningún programa de financiación con tasas diferenciadas para consumidores urbanos. Por otro lado, en el medio rural hay programas con intereses bajos. Este mercado aún no despegó, pero tendrá una fuerte contribución para la generación distribuida en los próximos años teniendo en cuenta que la producción de proteína animal necesita de mucha energía eléctrica y este es uno de los negocios para consumo interno o exportación que más crecen en Brasil.

En cuanto a las industrias de módulos fotovoltaicos establecidas en el país, se están ensamblando celdas de silicio cristalino importadas y sus precios en general son mayores que los de productos importados. Todavía no hay un programa fuerte del país para incrementar la participación de productos realmente nacionales en el mercado, por acciones sobre la compra de equipos con financiación o sobre la producción, con incentivos fiscales diferenciados frente a otras ramas industriales.

En 2012, año del marco cero de la reglamentación de la generación distribuida en el país, Moehlecke y Zanesco (2012) escribieron: “Si Brasil considera estratégica la participación en el mercado de energía solar fotovoltaica en su fase de crecimiento acelerado, se necesita una curva de aprendizaje, y quizás haya llegado el momento de iniciar este proceso. Sin una política clara de apoyo a las

industrias de celdas y módulos FV que inviertan en I+D en Brasil, va ser muy difícil competir con grandes empresas internacionales (actualizando el texto para 2018, empresas chinas).” Se puede observar que Brasil está perdiendo la oportunidad de tener una curva de aprendizaje de la tecnología fotovoltaica, con crecimiento de mercado, de industrias nacionales de producción de celdas y módulos fotovoltaicos, organizado para ser autosuficiente en el futuro y con consecuente incremento de su economía.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es un resumen de la conferencia “Energía Solar Fotovoltaica en Brasil Investigación, Industrias y Aplicaciones”, presentada en la XL Reunión de Trabajo de ASADES, en San Juan, Argentina, en octubre de 2017 y por esto, los autores agradecen la invitación y oportunidad de participar de la Reunión y presentar los datos del mercado brasileño de sistemas fotovoltaicos. Los autores también agradecen las becas del CNPq, Consejo Nacional para el Desarrollo Científico y Tecnológico, Brasil.

REFERENCIAS

- ABINEE (2012). Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira.
- ANEEL (2016). Cadernos Temáticos ANEEL- Micro e Minigeração Distribuída - Sistema de Compensação de Energia Elétrica, 2ª edição, Brasília, 31p. Recuperado de <http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida++2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>
- ANEEL (2017). Nota Técnica n° 0056/2017-SRD/ANEEL, Atualização das projeções de consumidores residenciais e comerciais com microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2024. Recuperado de: <http://www.aneel.gov.br>
- Araújo, G.P., Ramanauskas, L.F.C., Zanesco, I., Moehlecke, A. (2018). Comparação e análise de módulos fotovoltaicos com células de silício cristalino. *Anais do VII Congresso Brasileiro de Energia Solar*, pp. 1-8, Gramado, Brasil.
- Bezerra, P. (1998). Considerações sobre a inserção da tecnologia fotovoltaica conectada à rede elétrica de distribuição no Brasil. *Workshop sobre Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica de Distribuição: Discussão de Aspectos Técnicos e Legais*, IEE/USP, São Paulo, Brasil.

- EPE^a (2017). Balanço Energético Nacional: Ano base 2016 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE.. Recuperado de: <http://www.epe.gov.br>
- EPE^b (2017). Plano Decenal de Expansão de Energia 2026 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE. Recuperado de: <http://www.epe.gov.br>
- EPE^c (2017). Demanda de Energia 2050. Série Estudos da Demanda de Energia. Nota Técnica DEA 13/15. Recuperado de: <http://www.epe.gov.br>
- Faria Jr, H., Trigos, F.B.M., Cavalcanti, J.A.M. (2017). Review of distributed generation with photovoltaic grid connected systems in Brazil: Challenges and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **75**, 469–475.
- Fraidenraich, N. (2002). Análise prospectiva da introdução de tecnologias alternativas de energia no Brasil: Tecnologia solar fotovoltaica. UFPE.
- Galdino^a, M. A. (2005). Um ano e meio de operação do sistema fotovoltaico conectado à rede do CEPÉL. In: Coletânea de Artigos - *Energia Solar e Eólica*, **2**, Cepel / Cresesb, pp. 67-78, Rio de Janeiro.
- Galdino^b, M. A., Lima, J. H., Novgorodcev, A., Zilles, R., Zanescio, I., Moehlecke, A., Krenzinger, A., Orlando, A. F., (2005). The Brazilian programme for labelling photovoltaic systems, *20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, **1**, 3199-3202, Barcelona.
- Garcia, S. B., Zanescio, I., Moehlecke, A., Lanfredi, M. P., Fernandes, L. H., Kalikoski, L.S., Mesquita, C.M.P., Delucis, M.M. (2016). Avaliação do sistema fotovoltaico interligado à rede elétrica instalado na fachada do museu de ciências e tecnologia da PUCRS. *Anais do VI Congresso Brasileiro de Energia Solar*, 1-8, Belo Horizonte, Brasil.
- IEA-PVPS 2018 (2018). Snapshot of Global Photovoltaic Markets. Report IEA PVPS T1-33:2018. Recuperado de: <http://www.iea-pvps.org/?id=266>
- Krenzinger, A., Prieb, C.W.M. (2005). Clasificación y selección de módulos fotovoltaicos para una central conectada a la red. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, **9**, 4, 19-23.
- Krenzinger, A., Dias, J. B., Prieb, C.W.M (2005). Análisis del comportamiento de una instalación fotovoltaica conectada a la red eléctrica de distribución. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, **9**, 4, 25-30.
- Moehlecke, A., Zanescio, I. (2012). Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: Situação Atual e Perspectivas para Estabelecimento de Indústrias Apoiadas em Programas de P&D e Financiamento. In: Pedro Uczai (Org.). Caderno de Altos Estudos - *Energias Renováveis: Riqueza Sustentável ao Alcance da Sociedade*, **10**, 193-212. 1ed. Brasília: Edições Câmara.
- Pereira, E.B., Martins, F.R., Gonçalves, A.R., Costa, R.S., Lopes de Lima, F.J., Rütther, R., Luna de Abreu, S., Tiepolo, G.M., Pereira, S.V., Souza, J.G. (2017). *Atlas Brasileiro de Energia Solar*, 2ª edição. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos. 88p. Recuperado de: http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html
- REN21 (2018). *Renewables 2018. Global Status Report*. (Paris: REN21 Secretariat). 324p. Recuperado de: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652_GSR2018_FullReport_web_final_.pdf
- Rütther, R. (2004). Edifícios Solares Fotovoltaicos. 1a Edição. Florianópolis, SC: Editora UFSC/LABSOLAR.
- Rütther, R., Dacoregio, M. (2000). Performance assessment of a 2 kW_p grid-connected, building-integrated, amorphous silicon solar photovoltaic installation in Brazil. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, **8**, 257-266.
- Oliveira, S.H., Zilles, R. (1999). Índices de mérito e o comportamento do sistema fotovoltaico instalado no LSF-IEE/USP. *Anais do VIII Congresso Brasileiro de Energia*, **3**, 1381-1389, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- Oliveira, S.H., Zilles, R. (2001). Grid-connected photovoltaic systems: the Brazilian experience and performance installation. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, **9**, 5, 341-347.
- Oliveira, S.H. (2002). Geração distribuída de eletricidade: Inserção de edificações fotovoltaicas conectadas à rede no estado de São Paulo. Tese (Doutorado em Energia) - Universidade de São Paulo. 198p.
- SEBRAE (2017). Cadeia de Valor da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil, SEBRAE-Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Recuperado de : <http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/conheca-mais-sobre-a-cadeia-produtiva-de-energia,17ead6d4760f3610VgnVCM1000004c00210aRCRD>
- Valer, L.R., Manito, A.R.A., Selles Ribeiro, T.B., Zilles, R., Pinho, J.T. (2017). Issues in PV systems applied to rural electrification in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **78**, 1033–1043.
- Zanescio, I., Moehlecke, A., Garcia, S. B., Febras, F.S., Andrade, A.C. (2012). Development of a PV system as a way to promote the technology. *Proceedings of the 38th IEEE Photovoltaic Specialist Conference*, 526-550, Austin, Texas, Estados Unidos.