

Ensaio sobre a geração distribuída de energia fotovoltaica: um modelo sustentável para a matriz energética brasileira

Assay on distributed generation of photovoltaic energy: a sustainable model for the Brazilian energy matrix

Ensayo sobre generación distribuida de energía fotovoltaica: un modelo sostenible para la matriz energética brasileña

Carolina Carrijo Costa

Engenheira Ambiental, Mestranda no
programa de pós-graduação da UFU, Brasil
carol.carrijo.costa@gmail.com

Fernando Garrefa

Professor Doutor, UFU, Brasil
fgarrefa@ufu.br

RESUMO

Energia elétrica se tornou um recurso essencial para a manutenção das dinâmicas econômicas e sociais. A ampliação e difusão do uso de equipamentos e processos mecanizados, bem como a adesão a modos de vida mais dependentes dessas comodidades têm contribuído para a ampliação sucessiva dos gastos energéticos. Por outro lado, a geração de energia elétrica, a partir de finais do século XX passou a vivenciar entraves, principalmente a partir das preocupações ambientais. No Brasil, as grandes plantas energéticas envolvem importantes impactos ambientais, como desmatamento, deslocamento de comunidades tradicionais, desequilíbrio das relações ecológicas, efluentes que alteram a qualidade da água, ar e solo e causam danos à saúde humana. A partir dessas premissas, o trabalho analisa relatórios nacionais e os coteja com revisão bibliográfica para explorar a possibilidade de uma expansão energética alternativa baseada em microgeração distribuída (GD) através da implantação de painéis solares em residências, industriais e estabelecimentos de comércio e serviço. A GD se torna interessante ao evitar não só as gerações em grande escala, mas também a onerosa distribuição de energia por grandes linhas de transmissão. Além disso, o sistema se mostrou altamente aplicável no país devido ao grande potencial fotovoltaico, à facilidade de instalação, aos baixos impactos ambientais e ao payback a partir de 5 anos. Por fim, considera-se que a GD é uma boa estratégia de transição, que permite a inserção gradual de energias mais limpas no sistema e pode ser implantada com certa facilidade desde que apoiada pelo poder público, privado e das concessionárias.

PALAVRAS-CHAVE: Geração distribuída de energia. Geração limpa de energia. Sustentabilidade. Energia fotovoltaica.

ABSTRACT

Electric energy has become an essential resource for maintaining economic and social dynamics. The expansion and diffusion of the use of mechanized equipment and processes, as well as the adherence to ways of life that are more dependent on these amenities, have contributed to the successive expansion of energy expenditure. On the other hand, the generation of electric energy, from the end of the 20th century onwards, began to experience obstacles, mainly due to environmental concerns. In Brazil, large energy plants involve important environmental impacts, such as deforestation, displacement of traditional communities, imbalance in ecological relationships, effluents that alter the quality of water, air and soil and damage human health. Based on these premises, the work analyzes national reports and compares them with a literature review to explore the possibility of an alternative energy expansion based on distributed microgeneration (DG) through the deployment of solar panels in homes, industrial and commercial and service establishments. DG becomes interesting by avoiding not only large-scale generations, but also the costly distribution of energy over large transmission lines. In addition, the system proved to be highly applicable in the country due to its great photovoltaic potential, ease of installation, low environmental impacts and 5 years payback. Finally, it is considered that DG is a good transition strategy, which allows the gradual insertion of cleaner energies into the system and can be implemented with some ease, provided it is supported by the public, private and concessionaires.

ABSTRACTO

La energía eléctrica se ha convertido en un recurso fundamental para mantener la dinámica económica y social. La expansión y difusión del uso de equipos y procesos mecanizados, así como la adhesión a formas de vida más dependientes de estas comodidades, han contribuido a la sucesiva expansión del gasto energético. Por otro lado, la generación de energía eléctrica, a partir de fines del siglo XX, comenzó a experimentar obstáculos, principalmente por preocupaciones ambientales. En Brasil, las grandes centrales energéticas involucran importantes impactos ambientales, como deforestación, desplazamiento de comunidades tradicionales, desequilibrio en las relaciones ecológicas, efluentes que alteran la calidad del agua, aire y suelo y dañan la salud humana. A partir de estas premisas, el trabajo analiza los informes nacionales y los compara con una revisión de la literatura para explorar la posibilidad de una expansión energética alternativa basada en la microgeneración distribuida (GD) a través del despliegue de paneles solares en hogares, establecimientos industriales y comerciales y de servicios. GD se vuelve interesante al evitar no solo las generaciones a gran escala, sino también la costosa distribución de energía a través de grandes líneas de transmisión. Además, el sistema demostró ser altamente aplicable en el país por su gran potencial fotovoltaico, facilidad de instalación, bajo impacto ambiental y amortización a partir de 5 años. Finalmente, se considera que la GD es una buena estrategia de transición, que permite la inserción paulatina de energías más limpias en el sistema y puede ser implementada con cierta facilidad, siempre que cuente con el apoyo del público, privado y concesionarios.

1 INTRODUÇÃO

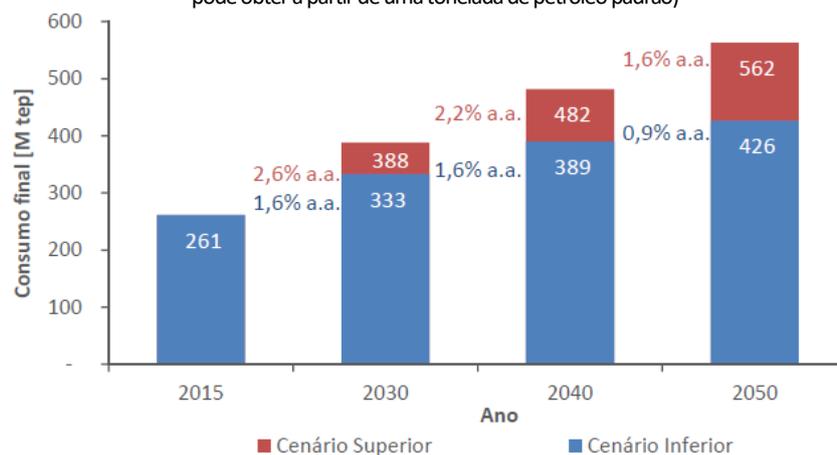
A energia elétrica é um recurso indispensável a manutenção das dinâmicas econômicas e sociais, que evoluiu de forma a estabelecer uma relação de dependência com o suprimento desta. Tal fato resulta em um aumento progressivo da demanda, que acontece não só pelo crescimento populacional em si, mas também pelo aumento das necessidades energéticas dos indivíduos e organizações.

O abastecimento energético é um pilar essencial no funcionamento de um país, o que faz com que este deva ser planejado de forma estratégica. A projeção da demanda é estimada através de estudos de crescimento setoriais, tecnologias de eficiência energética, políticas públicas, estudos econômicos e projeções populacionais. A partir disso, analisa-se as principais fontes disponíveis, dependência externa e impactos ambientais, econômicos e sociais, de forma a visar um atendimento sustentável da demanda. (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2007, 2018a).

1.1 Demanda e Suprimento

A média do crescimento da demanda brasileira pode variar de 1,4% a.a. a 2,2% a.a., dependendo do crescimento econômico do país. Estima-se que o pico do crescimento da demanda seja no ano de 2030, quando a expansão industrial atingirá seu auge. A partir desse período, espera-se que as políticas públicas de incentivo ao aumento da eficiência energética desacelerem o crescimento da demanda, mas, mesmo assim, a projeção superior mostra que esta dobraria no ano 2050 (Figura 1) (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018a).

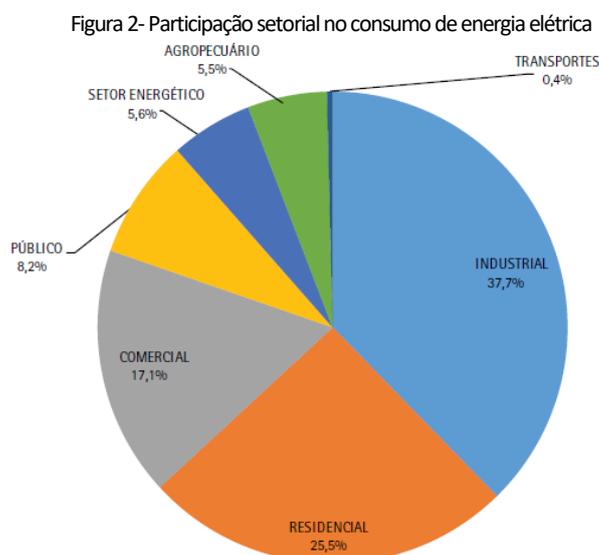
Figura 1 - Evolução do consumo energético por cenário em tonelada equivalente de petróleo (uma tep corresponde à energia que se pode obter a partir de uma tonelada de petróleo padrão)



Fonte: Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética (2018a)

A Figura 2- Participação setorial no consumo de energia elétrica mostra a energia elétrica demandada por setor. A indústria é o maior consumidor, seguido pelos setores residencial e comercial, sendo que esses dois últimos somam 42,6% da demanda. Tais setores exercem considerável pressão no sistema por concentrarem a alta demanda nas cidades, que são regiões de alta densidade (esse número pode aumentar se considerarmos que muitas vezes

as indústrias também estão concentradas na zona urbana ou muito perto desta) (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018b).

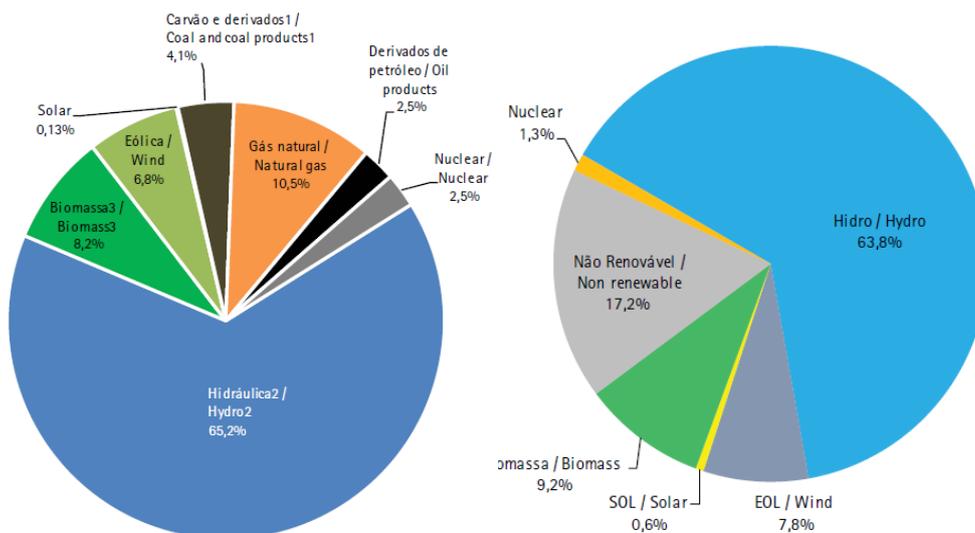


Fonte: Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética (2018b)

Em 2017 produziu-se 588,0 TWh de energia no Brasil, sendo 83,5% produzida por centrais elétricas públicas e apenas 16,5% gerada por autoprodutores (pessoas físicas, jurídicas ou empresas reunidas em consórcio que recebem concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo (Aneel,s.d.)). A Figura 3 mostra as fontes de oferta energética no cenário brasileiro. A maior parte é gerada por fontes renováveis, com destaque para a hidrelétrica, que representa 65,2%. A geração a partir de fontes não renováveis foi 20,8%, 1,2% a mais em relação ao ano anterior (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018b).

Apesar da geração baseada em fontes renováveis ser uma grande vantagem ambiental, alguns fatos nos relatórios brasileiros deixam questões a serem analisadas. A geração por plantas hidrelétricas representa 65,2% do total produzido, no entanto, tem-se que a capacidade instalada é 63,8% (1,4% menor) (Figura 3), que pode indicar uma super utilização dessa fonte. Ademais, o balanço energético nacional de 2017 apontou que o Brasil importa 13,2% da energia elétrica que consome, além da recente importação de carvão mineral e a dependência de tecnologias como a de enriquecimento de urânio. Tais fatos trazem à tona a questão da dependência externa, que contrasta com a quantidade e variedade de fontes disponíveis e com o fato de exportarmos parte do nosso petróleo. (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018c).

Figura 3 - Oferta interna de energia elétrica por fonte x Participação das fontes na capacidade instalada

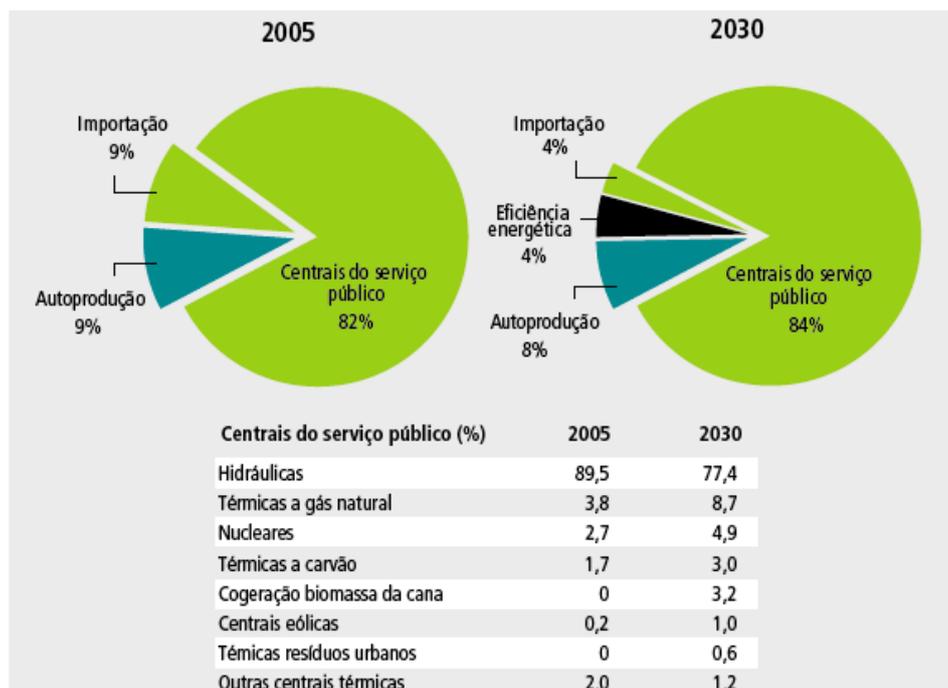


Fonte: Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética (2018b)

Para analisar o futuro energético brasileiro, será utilizado o Plano Nacional de Energia de 2030, apesar de as estimativas de oferta, demanda, tecnologias e custos serem de relatórios parciais do plano de 2050. A

Figura 4 mostra o cenário da estrutura de oferta de eletricidade da época que o plano foi feito e a projeção para 2030.

Figura 4 - Evolução da estrutura da oferta de eletricidade até 2030.



Fonte: Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética (2007)

Comparando a estrutura em 2005 e a projetada para 2030, é esperado um aumento de 8,4% na geração através de recursos não renováveis convencionais (6,8% nas térmicas a gás natural e carvão, 2,2% nas nucleares) e a diminuição da autoprodução. Em contrapartida, o país reduzirá a importação de 13,2% em 2017 para 4% em 2030, diminuindo a dependência externa. Além disso, destacam-se iniciativas como a cogeração a partir da biomassa da cana e geração através de resíduos urbanos que são, a princípio, uma boa possibilidade de resolução de dois problemas urbanos. É interessante notar que a energia solar, sendo ela centralizada ou distribuída, não é mencionada na estrutura atual nem na projeção devido a sua baixa representatividade.

1.2 Projeção da exploração das fontes hidrelétricas

O Brasil possui um potencial hidrelétrico total de 260 GW, sendo que, por questões ambientais, apenas 176 GW são de possível aproveitamento. Considerando o total em operação e construção até 2017 (108 GW), ainda estará disponível para exploração 68 GW, que se encontram, em maior parte (aproximadamente 70%), na região Amazônica. O projeto de expansão em questão implica na utilização de 94% desse potencial aproveitável até 2030 (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018c; EPE, 2007).

A Tabela 1 faz um comparativo do potencial hidrelétrico inventariado (potencial total menos potencial em operação e construção, ou seja, o que ainda resta para exploração) por bacia nos anos 2005 e 2017.

Tabela 1 - Comparativo do potencial inventariado por bacia em 2005 e 2017

Bacia	Potencial Inventariado em 2005		Potencial Inventariado em 2017	
	GW	(%)	GW	(%)
Amazonas	77	63,3	33	64,3
Paraná	10	8,2	2,9	5,7
Tocantins/Araguaia	11	9,0	7,9	15,4
São Francisco	5	4,1	1,8	3,5
Atlântico Sudeste	9	7,4	1,2	2,3
Uruguai	6	4,9	2,8	5,5
Atlântico Sul	1	0,8	0,3	0,6
Atlântico Leste	1	0,8	0,8	1,6
Paraguai	0,8	0,7	0	0,0
Parnaíba	0,8	0,7	0,6	1,2
Total	122	100,0	51,3	100,0

Fonte: Adaptado de Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética (2007, 2018c)

Não é possível fazer uma comparação precisa porque em 2017 o estudo considera apenas o potencial que atende usinas hidrelétricas de grande porte (UHE), enquanto em 2005 não foi feita essa distinção. Ademais, alguns dados foram excluídos das análises devido às incertezas associadas e algumas variáveis como eficiência e restrições ambientais são dinâmicas, já que a legislação, interesses políticos e tecnologias mudam rapidamente.

Apesar disso, algumas questões ficam claras, como a diminuição drástica do potencial inventariado, que infere uma alta exploração ao longo desses anos. Esse fato tem por consequência a atual dependência das bacias Amazônica e Tocantins-Araguaia, que são as únicas com potencial explorável ainda expressivo. Por esse motivo, os próprios planos sugerem a construção de novas usinas nessas regiões, mesmo admitindo a delicadeza dos fatores ambientais e sociais que permeiam o território. FARIA e JARAMILLO, 2017 estimaram a construção de 26 grandes usinas só na bacia Amazônica no período 2013-2028.

A energia hidrelétrica é considerada renovável (ainda que algumas iniciativas se oponham a essa atribuição) e de baixo custo, já que a custosa concepção é amortecida pelo tempo de vida quase ilimitado (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2007). No entanto, a viabilidade de uma usina hidrelétrica depende de fatores econômicos, biogeofísicos (clima, regime de chuvas, relevo, solo e biomas abrangidos) e socioeconômicos (comunidades ribeirinhas, quilombolas e indígenas). Alguns dos possíveis impactos causados por uma barragem e seus respectivos estudos estão apontados na

Tabela 2: Possíveis impactos negativos causados por uma hidrelétrica

Estudo	Conflitos no uso da água e solo	Desequilíbrio nas relações ecológicas	Efeito inchaço em cidades/ desordenamento urbano	Emissão de gases estufa	Perturbação em comunidades tradicionais	Impacto negativo na economia local	Impedimento de migração de peixes	Má gestão da energia produzida	Mudança na qualidade da água/ exposição de metais pesados	Mudança no regime de hidrológico e fluxo de sedimentos	Perda de biodiversidade	Perda/estímulo à perda de área florestal
AURELIO et al., 2006				X								
CRUZ et al., 2016		X							X	X		
FARIA et al., 2015				X								
FEARNSIDE, 2001		X		X	X		X		X	X		X
FEARNSIDE, 2014		X	X	X	X	X	X		X	X	X	X
FRIEDL; WÜEST, 2002		X							X	X		X
OLAVO et al., 2016		X							X	X		
SOITO; FREITAS, 2011	X	X	X	X	X	X		X			X	X
TILT; BRAUN; HE, 2009	X				X	X						

A construção de uma usina envolve uma série de conflitos de interesse, por isso, os estudos ambientais devem ser imparciais e muito bem elaborados. É preciso atribuir pesos corretos aos vários aspectos envolvidos, de forma que a tomada de decisão seja balanceada entre vantagens e desvantagens nos vários âmbitos. Fearnside (2001) cita o exemplo de concepção da usina de Tucuruí, em que os benefícios atendiam muito bem as expectativas de companhias multinacionais em detrimento dos interesses nacionais e principalmente locais. O mesmo autor relatou em 2014 que o estudo de impacto ambiental (EIA) do barramento do Rio Madeira minimizou a importância dos impactos negativos e teve sua tomada de decisão feita antes mesmo da avaliação destes por questões políticas.

Apesar de todas essas questões, o Plano Nacional de Energia de 2030 afirma que já existem projetos que integram empreendimento, inclusão social e preservação do meio. Ainda segundo a organização, muitas vezes tais empreendimentos possuem entornos mais preservados do que outras áreas da região graças a programas de salvamento da fauna, flora e sítios arqueológicos. A melhora da economia, geração de empregos e o desenvolvimento dos centros urbanos também é citado (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2007).

O maior desafio da expansão hidrelétrica é o fato desta ocorrer majoritariamente na Bacia Amazônica, que é permeada por áreas sob proteção legal e possui um bioma considerado hotspot da biodiversidade (LEONARDO; AURÉLIO; FREITAS, 2011; MYERS, 2000). Além disso, a distância das usinas em relação aos grandes centros de consumo implica em enormes linhas de transmissão que aumentam muito os custos. Outro problema é a forte sazonalidade dos rios Amazônicos, que faz com que a geração seja comprometida em meses secos e anos de El Niño, principalmente se adotada a tecnologia de usina a fio d'água, que é menos prejudicial do ponto de vista ambiental (SOITO et al., 2011; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2007).

Apesar disso, em termos de expansão energética tradicional, é difícil dizer que o país deva abrir mão da fonte hidrelétrica considerando todas suas vantagens e disponibilidade de recursos, mesmo que seja inegavelmente um desafio combina-la às boas práticas de proteção socioambiental. Ademais, a diversidade de fontes é importante para a segurança energética, da mesma forma que investir pesadamente em hidrelétrica não é seguro frente a imprevistos. Deve-se levar em conta também que existe uma demanda a ser suprida e que excluir o uso desse potencial significa obrigatoriamente substituí-lo por outras fontes não necessariamente mais competitivas no ponto de vista socioambiental (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2007).

Caso a expansão hidrelétrica seja descartada nos veremos dependentes de um programa termelétrico que também possui implicações ambientais, de custo e de dependência externa (por tecnologias, matéria prima por energia em si). No entanto, mesmo que expansão hidrelétrica seja adotada em sua totalidade ainda teríamos de investir na energia térmica. A projeção de demanda energética para 2030 prevê 61 GW a serem supridos por fontes não hidráulicas, sendo que 48 GW viriam de termelétricas (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2007).

1.3 Projeção da exploração das fontes termelétricas

A geração termelétrica também possui, sabidamente, muitos impactos ambientais. Al et al. (2012), Demirak e Yilmaz (2006) e Wu et al. (2013) mostram que termelétricas a carvão contaminam solos e ambientes aquáticos com metais pesados que podem bioacumular em organismos. Cardu e Baica (1999) relataram impactos como emissão de gases estufa (CO₂ e óxidos de nitrogênio (NO_x), efeito chuva ácida causado pela emissão de SO₂, além de problemas de saúde em humanos e animais causados pela emissão de óxidos de enxofre e nitrogênio (SO_x e NO_x). Guttikunda e Jawahar (2014) estimaram que somente na Índia a emissão de material particulado (grande parte proveniente das termelétricas) causou diretamente 115 mil casos de mortalidade prematura, 10 mil casos de mortalidade infantil e mais de 810 milhões de casos de problemas respiratórios.

1.4 Projeção da exploração das fontes nucleares

Estima-se que a energia nuclear será a terceira fonte mais utilizada para suprir a demanda brasileira em 2030 (

Figura 4). Tal produção possui benefícios consideráveis como baixas emissões de NO_x e SO_x, gases estufa e particulados, além da alta densidade energética. Por outro lado, plantas nucleares são muito dependentes de água e causam uma drástica interferência no seu ciclo e qualidade. Outros prejuízos incluem enormes áreas comprometidas com mineração, afugentamento da biota local e geração de resíduos perigosos, radioativos e com metais pesados durante todo ciclo. Tais resíduos são de difícil descarte e contaminam solos, aquíferos, a biota aquática e os residentes locais (BEHESHTI, 2011; RASHAD; HAMMAD, 2000).

A energia nuclear é a que historicamente causou menos acidentes e mortes humanas diretas (RASHAD; HAMMAD, 2000). No entanto, quando ocorrem são muito danosos, atingem áreas muito grandes e possuem consequências duradouras. Em outras palavras, o número de acidentes diretos não representa o tamanho das consequências indiretas que estes trouxeram aos locais afetados (IAEA, 2011). O acidente nuclear de Fukushima em 2011 estabeleceu uma discussão mundial sobre matriz energética e a importância da inclusão de fontes renováveis, e, de fato, muitos países desaceleraram a expansão da energia nuclear (DUNN; WUNNAVA, 2019).

A Associação Brasileira de Energia Nuclear defende a ampliação do programa nuclear por acreditar que essa fonte ajudaria na estabilização e descentralização de nossa matriz energética (ABEN, s. d.). No entanto, essa expansão traria uma considerável dependência externa para o setor, visto que o enriquecimento de urânio é feito majoritariamente em outros

países (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018c; RASHAD; HAMMAD, 2000).

Portanto, conclui-se que as grandes plantas de geração energética viáveis para a expansão brasileira, mesmo as baseadas em matérias primas renováveis, são muito custosas aos setores financeiro, logístico, ambiental e social. Por outro lado, a sociedade moderna demanda cada dia maiores quantidades de energia elétrica.

Pensado em suprir essa demanda e minimizar os impactos decorrentes da produção de energia, o objetivo do trabalho é verificar a abrangência e viabilidade de abastecer edificações residenciais e comerciais através da microgeração distribuída (GD).

Segundo a Resolução Normativa 482 da ANEEL, microgeração distribuída consiste em pequenas centrais geradoras de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. No caso do trabalho, utilizaremos como fonte painéis fotovoltaicos, instalados por edificação e conectados à rede.

Acredita-se que descomprometendo aproximadamente 43% da produção de grandes plantas (consumo do setor residencial e comercial) o aumento da demanda desacelerará e o suprimento poderá ser realocado estrategicamente, de forma a diminuir a necessidade de construção novas usinas. A contribuição do trabalho se dará no sentido de subsidiar a tomada de decisão na descentralização das fontes, substituindo progressivamente plantas concentradas pela GD.

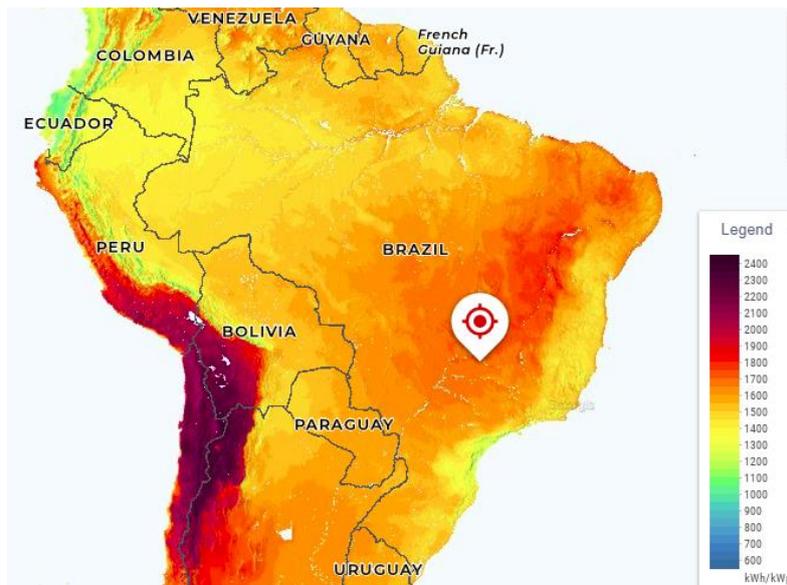
2 METODOLOGIA

As revisões foram feitas com base na literatura científica, documentos e relatórios federais, sites e revistas. A pesquisa científica foi feita através da busca de palavras chave nas bases Web of Science e Google acadêmico, os documentos e relatórios foram pesquisados no próprio site das instituições.

O mecanismo de produção de energia foi sugerido com base em experiências de sucesso no exterior e devida adequação ao caso brasileiro. Tal adequação foi feita utilizando o site Solar Finger, com input de dados da cidade de Uberlândia-MG.

O município de Uberlândia - MG se localiza nas coordenadas $-18^{\circ}55'08''$, $-48^{\circ}16'36''$, possui uma média anual de insolação de 7 horas diárias, sendo que 5,63 delas horas de sol pleno (ideal para geração) (ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL, 2000; SOLAR FINGER, [s.d.]) e um potencial fotovoltaico específico de 1701 kWh/kWp por ano (GLOBAL SOLAR ATLAS, 2021). A escolha da cidade de Uberlândia se deu pela grande representatividade desta na capacidade instalada de painéis fotovoltaicos, sendo a 2ª colocada no ranking de municípios brasileiros (ANEEL/ABSOLAR, 2021). Além disso, o consumo médio de energia na cidade é alto, o que traz para o trabalho uma abordagem otimista da capacidade de suprimento da demanda.

Figura 5 - Potência Fotovoltaica específica do Brasil, evidenciando a cidade de Uberlândia



Fonte: GLOBAL SOLAR ATLAS (2021)

3 INICIATIVAS EM GD

O conceito de ZEB (Zero Energy Buildings) foi definido por Pless et al. (2006) como edifícios residenciais ou comerciais com necessidades energéticas bastante reduzidas através da eficiência energética, ao passo que estas possam ser supridas por fontes localmente disponíveis, baratas, não poluentes e renováveis. É interessante que o ZEB possua ligação na rede para que haja um balanço dos picos de produção de cada fonte entre as unidades conectadas, o que pode suprir a necessidade de um sistema de armazenamento.

Um ZEB deve ter suas necessidades energéticas reduzidas ao máximo sem que isso implique em redução de conforto ambiental. Para isso, investe-se em uma equipe multidisciplinar que analisa condições locais (mapa de ventos, carta solar, altitude, temperatura, entre outras) e faz a projeção detalhada da demanda energética. A junção dessas análises permite a criação de projetos que diminuam a demanda através do design energeticamente eficiente e a supra com recursos disponíveis localmente. Existem alguns softwares no mercado que facilitam tais análises, projeções de demanda e gerenciamento da distribuição da energia (Domus-Procel Edifica da Eletrobras e programas BIM, por exemplo).

Alguns dos instrumentos mais usados do design energeticamente eficiente são o posicionamento estratégico de aberturas e a escolha correta dos materiais. Projetados de acordo com o propósito do projeto, esses aspectos promovem aproveitamento da luz, calor e correntes de ar, o que resulta em economias com iluminação e regulação da temperatura interna. Os eletrodomésticos que mais gastam em uma casa são o chuveiro, refrigerador e ar condicionado, respectivamente, somando um total de aproximadamente 75% do gasto de uma residência (FEDRIGO; GONÇALVES; LUCAS, 2009). Desses três, o consumo do ar condicionado pode ser reduzido com as técnicas de design eficiente e o do chuveiro zerado se utilizado aquecimento solar de água. Somados os esforços do projeto ao uso de eletroeletrônicos eficientes, tem-se uma redução considerável do consumo energético (DERU; TORCELLINI; PLESS, 2005; PLESS et al., 2006; TORCELLINI; JUDKOFF; HAYTER, 2002).

O design estratégico possui vários casos de sucesso, como o Centro de Visitantes do Parque Zion (Utah, EUA), onde o consumo reduziu em 70% (sem nenhum acréscimo de custo na

construção) e um sistema fotovoltaico de telhado supriu facilmente a demanda. O desafio, portanto, é transformar residências e comércios já construídos nos moldes tradicionais em unidades autossuficientes. É fato que muitas vezes a autossuficiência não será viável, mas a adoção de algumas tecnologias pode reduzir muito o consumo e a dependência de suprimento governamental.

Outra questão é o regime climatológico das fontes utilizadas, no entanto, a Tabela 3 mostra ZEBs de sucesso nos mais variados lugares, comprovando que um bom projeto pode resolver possíveis limitações. Existe também a possibilidade da tecnologia ZEB ser aplicada a edifícios comerciais, como é mostrado também na Tabela 3, no entanto é necessário o estudo caso a caso. O planejamento a longo prazo é imprescindível, já que a disposição de futuros prédios pode alterar a incidência de ventos e luz solar, comprometendo a eficiência dos geradores (PLESS et al., 2006).

Tabela 3 - Casos de ZEBs de sucesso

Construção	Uso	Local	Tecnologia Utilizada	Comentários	Referência
Alpenchic	Residencial	Poing, Alemanha	Painéis solares, gerador eólico, aquecedores de célula de combustível a hidrogênio e design ambiental sustentável	A residência gera energia suficiente para se manter, abastecer um carro elétrico e o excedente esporadicamente gerado é mandado para a rede. Os painéis solares ficam ligados à rede de forma que o excedente produzido durante o dia é disponibilizado nesta. O gerador eólico é ligado a baterias que garantem o suprimento de energia durante a noite.	SANTOS, 2016
Smart Eco House	Residencial	São Paulo, Brasil	Painéis solares, gerador eólico e sistema de aquecimento e resfriamento ecológicos	A casa conta com um software que monitora o comportamento dos moradores para melhorar sua eficiência energética	Smart Eco House do Brasil, [s.d.]
ReACT	Residencial	Denver, Estados Unidos	Painéis solares + baterias	A energia gerada pelas duas fontes é suficiente para abastecer a casa e um carro elétrico	MOK, 2017
Casa Sustentável Piloto	Residencial	Larvik, Noruega	Painéis solares, energia geotérmica e design ambiental sustentável	Os painéis solares localizados no telhado e estacionamento da edificação produzem 110% da energia necessária para atender as demandas do edifício e um sistema de purificação de esgoto	MARTINS, 2015
Adam Joseph Lewis Center for Environmental Studies	Comercial (salas de aulas, escritórios, auditório e biblioteca)	Ohio, Estados Unidos	Painéis solares, tecnologias e design de energia eficiente	O desing ecológico e energeticamente eficiente resulta em uma edificação com demandas energéticas 70% menores quando comparado a edificações da mesma categoria	BRAIN, [s.d.]
Zion Visitor Center Complex	Comercial (Centro de visitantes de um parque)	Utah, Estados Unidos	Painéis solares, tecnologias e design de energia eficiente	A construção utiliza energia geotérmica para os sistemas de aquecimento e resfriamento e as outras demandas são supridas por painéis solares	TORCELLINI; JUDKOFF; HAYTER, 2002
DEP Cambria	Comercial (Escritórios)	Ebensburg, Estados Unidos	Energia geotérmica, painéis solares, tecnologias e design de energia eficiente		BRAIN, [s.d.]

BigHorn	Comercial (Lojas)	Silverthorne, Estados Unidos	Painéis solares, aquecedores solares, hidrônicos e a gás, tecnologias e design de energia eficiente	O conjunto comercial investe em tecnologias de aproveitamento de energia para gerenciar a temperatura interna, uma vez que se localiza em uma região muito fria	DERU; TORCELLINI; PLESS, 2005
---------	-------------------	------------------------------	---	---	-------------------------------

Também deve ser explorada a possibilidade de complexos ZEB. Zubair (2018) fez um estudo na cidade de Gwadar e comprovou a viabilidade teórica de um sistema residencial baseado em blocos, onde as residências seriam abastecidas por placas solares e geradores eólicos. O bloco seria conectado por uma rede inteligente comandada por um software que permite a melhor distribuição da energia.

4 ANÁLISE DE VIABILIDADE: CASO BRASILEIRO

O sistema mais consolidado no mundo para a geração distribuída é o fotovoltaico, adotado em diversos países por questões logísticas e de sustentabilidade. É fato que a utilização em massa de painéis fotovoltaicos geraria uma grande quantidade de resíduos, dado que estes devem ser substituídos aproximadamente a cada 30 anos. Além do volume de resíduos gerados, a qualidade destes também é preocupante pela possibilidade de contaminação do ambiente por metais pesados (principalmente cromo e chumbo) e gases ácidos (CORCELLI et al., 2016).

Pensando nisso, foram estabelecidas políticas de logística reversa e reutilização de componentes desses sistemas, principalmente na Europa, que estabelece pelo menos 75% de recuperação e reciclagem de painéis solares. Ademais, tecnologias de reciclagem e disposição final de resíduos têm sido cada vez mais pesquisadas e viabilizadas pela academia e indústria. Corcelli et al. (2016) mostraram em seu trabalho diversas técnicas de reciclagem viáveis ambientalmente, energeticamente e economicamente.

A Tabela 4 traz a relação da capacidade instalada e potencial fotovoltaico dos 10 países com capacidade instalada total mais expressiva. É importante evidenciar que esses dois parâmetros não estão diretamente relacionados. O Brasil, por exemplo, possui um potencial de 3,59 – 4,89 kWh/kWp por dia, maior do que o Japão (terceiro colocado) e mesmo assim sua capacidade instalada (4,5 GW) não o coloca em uma posição expressiva no ranking. Esse fato evidencia o potencial brasileiro para a tecnologia e a importância de fatores externos (como políticas públicas, por exemplo) na penetração de energias mais limpas na matriz energética de um país. Outro fato interessante é que 2 dos 5 países mais expressivos (Índia e China) são considerados de economia emergente, pertencente ao grupo BRICS, assim como o Brasil (ANEEL/ABSOLAR, 2020; GLOBAL SOLAR ATLAS, 2021).

Tabela 4 - Relação entre capacidade total instalada e potencial fotovoltaico dos 10 países com maior capacidade instalada

Ranking por capacidade instalada acumulada			
Posição	País	GW	Potencial Fotovoltaico (kWh/kWp por dia)
1	China	204,7	2.21 - 5.82
2	Estados Unidos	75,9	2.32 - 5.47
3	Japão	63,0	2.65 - 4.07
4	Alemanha	49,2	2.72 - 3.32
5	Índia	42,8	3.39 - 5.24
6	Itália	20,8	2.67 - 4.54
7	Austrália	14,6	3.6 - 5.32
8	Reino Unido	13,3	1.94 - 3.08
9	Coreia	11,2	3.32 - 4.02

10	França	9,9	2.90 - 4.38
16	Brasil	4,5	3,59 – 4,89

Fonte: IEA PVPS, 2020 e Global Solar Atlas (2021)

Minas Gerais é o estado brasileiro com maior potência instalada, sendo Uberlândia o município mais expressivo do país, 1º colocado no ranking nacional dos municípios (ANEEL; ABSOLAR, 2020). Segundo a Tabela 5, as cidades do Sudeste podem ser consideradas representativas em termos de consumo, uma vez que este é maior que na maioria das outras regiões (perdendo apenas para a região Sul), ou seja, se existem sistemas capazes de abastecer uma residência nesta região que possui alta demanda, em tese, estes também são capazes de abastecer as demais regiões.

Deve-se considerar também o potencial fotovoltaico do local. O segundo estado mais expressivo em potência instalada é o Rio Grande do Sul, que é também o mais distante da linha do Equador e, conseqüentemente, possui um dos piores potenciais fotovoltaicos do Brasil (ANEEL; ABSOLAR, 2020). Um estudo da EPE sobre o potencial dos recursos energéticos analisou o fator área de telhado como possível entrave para energia fotovoltaica e concluiu que esse também não é um fator limitante (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018c). Os casos citados comprovam a aptidão brasileira para a tecnologia ao se localizarem nas regiões consideradas mais sensíveis do mapa, seja pela alta demanda ou pela oferta limitada de matéria prima.

4.1 Cálculo de viabilidade

(a) Custos do sistema

Para analisar a viabilidade econômica do sistema utilizamos como base o consumo médio de energia por residência na região Sudeste, detalhado na Tabela 5.

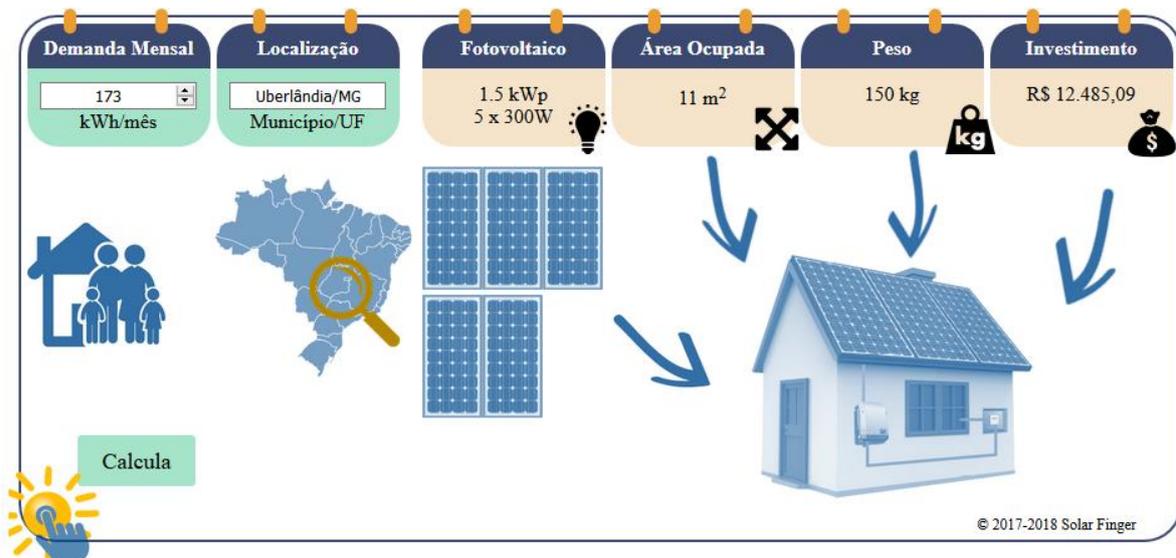
Tabela 5 - Consumo médio residencial por mês por região brasileira

	2012	2013	2014	2015	2016	Δ% (2016/2015)
Subsistemas elétricos	158,9	163	167,2	161,4	159,8	-1
Sistemas isolados	197,8	258	200,8	220,8	189,6	-14,1
Norte	114,2	122,6	144,9	148,9	154,9	4
Nordeste	109,5	118,4	121,3	120,8	121	0,2
Sudeste/C. Oeste	178,9	180,6	183,3	175,6	172,5	-1,8
Sul	178,5	181,6	190,3	177,4	177,1	-0,1

Fonte: Ministério de Minas e Energia - Empresa de Pesquisa Energética (2017)

O dimensionamento do projeto e investimento necessário foram feitos utilizando o site Solar Finger (SOLAR FINGER, 2017) e estão apresentados na Figura 6. A Solar Finger é uma empresa de ferramentas computacionais que atua na área de projetos fotovoltaicos. Para realização dos cálculos, a empresa utiliza de fontes muito seguras para input de dados, como o Global Solar Atlas e a ANEEL. Além disso, utiliza de estudos e instituições que buscam entender o mercado fotovoltaico, trazendo informações de preço e fornecedores.

Figura 6 - Cálculo da potência, área, peso e investimento de um sistema fotovoltaico para uma residência de consumo médio na região Sudeste



Fonte: Solar finger (2017)

O input de dados foi o seguinte:

Demanda mensal: 173 kWh/mês, média de consumo para região Sudeste

Localização: Uberlândia-MG, informação com a qual o software consegue os dados para cálculo do HSP (horas sol pleno).

O software utilizou das seguintes informações de sua base de dados:

Potência do painel (P_p): 300 W

Número de painéis (N_p): 5

Dados que permitem o cálculo da potência total do sistema (P_t):

$$P_t = P_p \times N_p$$

$$P_t = 300 \times 5 = 1500 \text{ Wp ou } 1,5 \text{ kWp}$$

Portanto, a energia solar produzida pelo painel fotovoltaico (E_s) pode ser calculada pela equação seguinte, em que:

HSP: 5,63 h (SOLAR FINGER, [s.d.])

n: número de dias do mês

$$E_s = P_t \times \text{HSP} \times n$$

$$E_s = 1,5 \times 5,63 \times 30 = 253,45 \frac{\text{kWh}}{\text{mês}}$$

É importante notar que, pelo cálculo, o sistema forneceria mais energia do que a demanda da residência, no entanto, isso ocorre porque tais valores são teóricos e na prática muitas intercorrências interferem na produtividade do sistema, que pode acabar não produzindo os valores testados em laboratório. Para corrigir isso e garantir o suprimento da demanda, o resultado final é multiplicado por um percentual correspondente a eficiência prática geral do sistema, nesse caso, em torno de 75%. Os demais dados (investimento, área e peso do sistema) também são da base de informações da empresa.

(b) Custos tradicionais

Segundo a Resolução Normativa 414 da ANEEL, 2010, a conta de energia no Brasil é dividida em custos fixos -Custo de Disponibilidade do Sistema Elétrico e Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública (CIP)- e variáveis (consumo em si). O custo de

disponibilidade é determinado pela ANEEL e a CIP é estabelecida por lei para cada município. Os custos fixos da energia em Uberlândia estão demonstrados nas Tabela 66 e 7.

Tabela 6 - Taxa por disponibilidade

Taxa por disponibilidade (kWh/mês)	
Monofásico	30
Bifásico	50
Trifásico	100

Fonte: CEMIG, [s.d.]

Tabela 7 - Taxa por iluminação pública

Consumo mensal	CIP (% sobre valor do consumo)
< 50	Isento
51 - 100	1,5
101 - 200	4,5
201 - 300	7
301 - 500	8,5
> 500	10

Fonte: Uberlândia (2004)

(c) Payback do sistema

A análise de viabilidade financeira está demonstrada abaixo. A Tabela 8, construída com os dados das Tabela 66

Tabela 77 mostra uma simulação do valor gasto com energia abordando as opções de abastecimento convencional e fotovoltaico. A Tabela 9 mostra o payback do sistema, ou seja, o tempo decorrido até que a economia na conta de energia pague a aquisição e implantação do sistema.

Tabela 8 - Cálculo comparativo do valor da energia convencional e fotovoltaica

	Tarifas fixas		Tarifas variáveis		Total	
	Consumo (kWh/mês)	Taxa por disponibilidade (R\$)	Taxa por Iluminação Pública (R\$)	Consumo de energia (R\$)	Abastecimento convencional (R\$)	Abastecimento fotovoltaico (R\$)
Monofásico		19,71			136,55	22,87
Bifásico	173	32,85	3,16	113,67	149,69	36,01
Trifásico		65,71			182,54	68,87

*Nos cálculos foi considerada uma média das bandeiras tarifárias

Fonte: ANEEL (2010); CEMIG, [s.d.]; Uberlândia,(2004)

Tabela 9 - Análise do payback de um sistema fotovoltaico por consumo mensal

Consumo (kWh/mês)	Preço do sistema	Economia mensal média (R\$)	Payback médio (anos)
173	12.485,09	113,67	9
250	14.184,65	164,27	7
350	17.349,05	229,98	6
450	20.282,09	295,69	6
550	23.043,03	361,39	5

Fonte: CEMIG, [s.d.]; Solar finger (2017)

É notório que quanto maior o consumo mensal de energia mais rápido o sistema se paga, uma vez que os custos fixos não aumentam proporcionalmente ao consumo. Sistemas projetados para atender demandas iguais ou maiores que 400 kWh/mês são mais interessantes por apresentarem um payback mais rápido. No entanto, ainda é vantajoso a implantação em residências com consumo de 173 kWh/mês, uma vez que a maioria das marcas têm garantia de 25 anos, sendo que boas performances foram relatadas com até 30 anos de uso (FRANK ANDORKA, 2014; JORDAN; KURTZ, 2012).

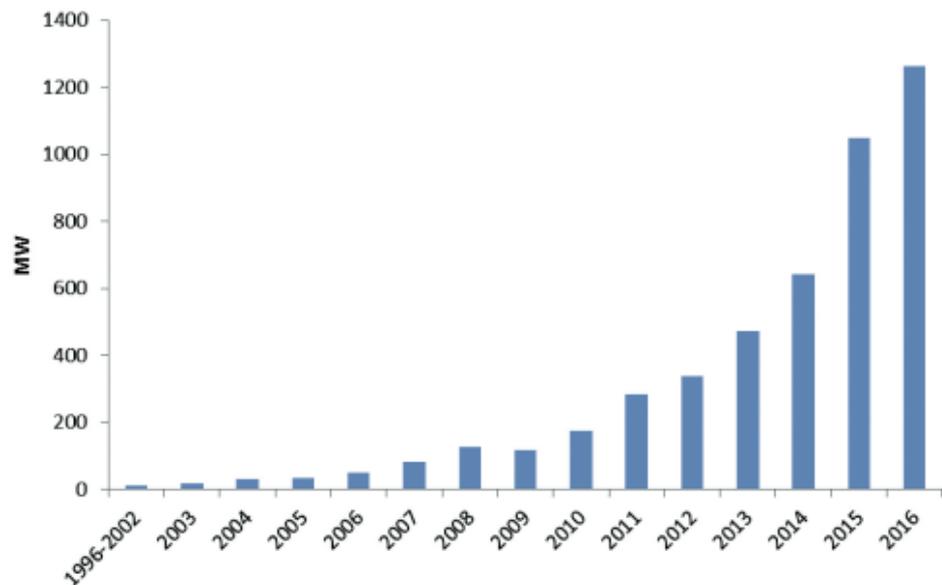
Já existem algumas iniciativas que apoiam a implantação desses sistemas em residências, empresas e indústrias. A maioria dos bancos do Brasil possuem linha de crédito relacionada à sustentabilidade que permitem o financiamento do sistema em várias parcelas com juros inferiores a 2% ao mês (COLAFERRO, 2018). Além disso, a própria resolução 482/2012 da ANEEL sobre geração distribuída possui alguns incentivos, como o sistema de compensação e autoconsumo remoto. Esse recurso garante que a energia produzida por uma unidade seja emprestada gratuitamente à distribuidora local, podendo ser utilizada em até 60 meses por outras unidades de mesma titularidade ou na mesma unidade caso esta produza menos energia que utilizou dentro desse prazo. Dessa forma, o sistema on grid pode injetar energia na rede durante a produção (horários de pico solar) e resgatá-lo durante a noite, quando a produção é zerada. Essa ligação dispensa o sistema de baterias que encarecem a implementação.

Os sistemas on grid aliviarão a pressão no sistema de abastecimento e diminuiriam a demanda por novas unidades já que, mediante grande adesão, uma quantidade significativa de energia seria produzida pelo próprio consumidor. A migração completa para centros urbanos abastecidos somente por fontes pontuais deve ser planejada e consolidada na construção de novas regiões autônomas. Nelas, todas as tecnologias de eficiência energética mencionadas no item **Erro! Fonte de referência não encontrada.** podem ser empregadas na concepção das edificações, de forma a diminuir o consumo e supri-lo de forma sustentável. Um ótimo exemplo de região projetada é o bairro de Schlierberg, em Friburgo, na Alemanha. As edificações locais foram construídas sob preceitos do design ecológico e são abastecidas por placas solares, que geram 4x mais energia que a necessária para suprir as necessidades do bairro (HAGEMANN, 2007).

É fato, porém, que quanto menor o consumo energético, menor é o custo benefício da implementação de um sistema fotovoltaico. No entanto, é importante considerar que o preço da tecnologia já diminuiu mais de 100 vezes desde 1950. Na Europa, os preços dos módulos caíram 83% de 2010 a 2017 e a projeção de queda no custo é de mais de 30% entre 2020 e 2050 (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018d).

Outro ponto a ser considerado é a possibilidade da criação de mais programas de incentivo governamental no setor de energia sustentável. Neles, os gastos com grandes plantas energéticas poderiam ser redirecionando para geração distribuída. P&D ANEEL, ENERGISA e GESEL (2018) fizeram um ótimo estudo sobre a transição da matriz energética de diversos países e como o governo interferiu no planejamento e execução de metas. Na Califórnia, por exemplo, foi criado o Business Energy Investment Tax Credit (ITC) como incentivo, que é um crédito fiscal que provê desconto de 30% para sistemas de geração solar. Tais incentivos aumentaram muito a utilização da energia fotovoltaica (Figura 7), inclusive distribuída, que somam 97% do total de projetos instalados. Hoje o estado da Califórnia é líder nesse ramo nos Estados Unidos e comporta mais da metade de todos sistemas do país (P&D ANEEL, ENEREGISA, GESEL, 2018).

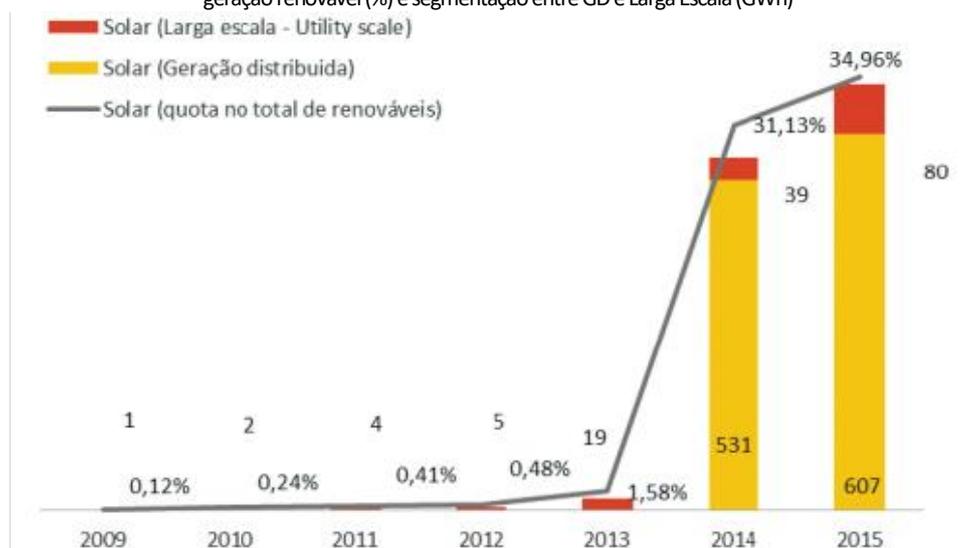
Figura 7 - Evolução da energia solar distribuída na Califórnia



Fonte: California distributed generation statistics (2017)

Uma abordagem diferente pode ser observada no Havaí. Foi criada uma lei que obrigava qualquer nova habitação concebida a partir de 2010 a possuir um sistema solar para aquecimento de água, sendo que o governo oferecia incentivos em forma de crédito fiscal de 35%. Os resultados desta e de outras políticas de incentivo estão apresentados na Figura 8. A Alemanha, por sua vez, é um grande caso de sucesso resultado de políticas de incentivo e uma profunda mobilização social para mudança das matrizes energéticas que ganhou o nome de Energiewende. Foram estabelecidos auxílios de até 70% nos custos de aquisição de sistemas fotovoltaicos, recebimento de tarifas em dinheiro por energia injetada na rede e boas condições de financiamento do sistema. Tudo isso resultou em uma mudança expressiva no quadro energético do país, com grande destaque para geração distribuída (P&D ANEEL, ENEREGISA, GESEL, 2018).

Figura 8 - Aumento da produção de energia a partir de sistemas solares no Havaí, principalmente por GD (participação no total de geração renovável (%) e segmentação entre GD e Larga Escala (GWh)



Fonte: EIA (2016)

Todas essas formas de incentivo podem ser utilizadas na migração brasileira para uma matriz energética mais limpa, incentivando uma gradual migração das grandes plantas energéticas para microgeração distribuída fotovoltaica, através de subsídios e políticas públicas.

Mesmo com a autossuficiência das edificações atingida, é interessante que estas estejam interligadas por uma rede inteligente que distribua a energia entre edificações ZEB da melhor forma possível. Esse sistema evitaria a falta de energia e implicaria em projetos menos robustos na parte instalada nas edificações. É importante ressaltar que a microgeração já funciona dessa forma no Brasil, sendo que a energia gerada pelos painéis solares é injetada na rede durante o dia e o crédito gerado pelo excedente pode ser consumido nos horários de não produção. No entanto, com a adesão em massa desse sistema, é provável que as concessionárias tenham que se adaptar a uma distribuição muito menos contínua, visto que haverá grandes picos de injeção. Uma solução interessante seria a criação de centrais de estratégia e logística para que o excedente acumulado nos horários de produção fosse redistribuído de acordo com a demanda, visto que essa é uma prática, dadas as proporções, já empregada com as hidrelétricas. É importante ressaltar que o sistema atual precisa de adaptações tecnológicas para acompanhar a adesão da geração distribuída, principalmente tratando-se de operação do sistema elétrico e, por isso, pode ser mal visto inicialmente (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018d).

5 CONCLUSÃO

Diante de todos fatos mencionados, o projeto de expansão energética do Brasil vai na contramão da tendência global. Enquanto muitos países como a Alemanha e China buscam formas de desligar suas usinas termelétricas, o Brasil caminha para essa opção assim que exaurir seus recursos hidrelétricos, o que será uma grande perda ambiental e social. A contradição não vem só do investimento nas fontes menos sustentáveis, mas também na atual especulação sobre a taxa da geração fotovoltaica distribuída. A proposta de mudança da Resolução Normativa 482 pode aumentar os encargos sobre a energia injetada na rede em até 60%, tornando a adoção do sistema muito menos atrativa e o mercado inseguro para investir.

Sabe-se que o suprimento de energia em um país tão populoso e de dimensões continentais é inegavelmente um desafio. Pensando na alta disponibilidade de matéria prima renovável e acessibilidade às tecnologias, é possível dizer que a geração distribuída é uma opção lógica e viável para o Brasil, que possui mais recursos em termos de fontes do que países onde este tipo de sistema já é consolidado. Outra questão muito importante é a distância das fontes convencionais dos centros de consumo, que implicam em cadeias de transmissão de alto impacto ambiental que poderiam ser mitigadas caso a GD fosse adotada.

A disseminação de tecnologias limpas de geração distribuída se mostra um grande avanço logístico e ambiental ao substituir plantas de grande impacto por gerações muito menos danosas ambientalmente e socialmente. Para que tal passo seja dado, é importante que a pesquisa seja desenvolvida nesse sentido, de forma a avaliar com mais precisão os recursos disponíveis no Brasil e adaptar melhor as tecnologias a serem aplicadas. A elucidação dessa iniciativa deixaria o mercado mais seguro para investir no setor, assim como ocorreu na Alemanha, onde a instalação de painéis solares virou um investimento rentável. Consolidadas as tecnologias e a necessidade de empregá-las, as grandes empresas e o governo se interessariam na questão, unindo, dessa forma, interesses econômicos e ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEN. **Energia nuclear no brasil atinge nova marca mundial**. Disponível em: <<http://www.aben.com.br/publicacoes-tecnicas>>. Acesso em: 30 jan. 2021.
- AL, S. et al. Heavy metals and arsenic concentrations in ten fish species from the Šalek lakes (Slovenia): assessment of potential human health risk due to fish consumption. **Environmental Monitoring and Assessment**, p. 2647–2662, 2012.
- ANEEL; ABSOLAR. **INFOGRÁFICO ABSOLAR 2020**. Disponível em: < <http://www.absolar.org.br/infografico-absolar.html>>. Acesso em: 29 jan. 2021.
- ANEEL. **Informações técnicas**. Disponível em: < <https://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=41#:~:text=Autoprodutor%20de%20energia%20el%C3%A9trica%20%2D%20%C3%89,destinada%20ao%20seu%20uso%20exclusivo.>>. Acesso em: 30 jan. 2021.
- ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 414**. 2010.
- ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482**. 2012.
- ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL: banco de dados solarimétricos. **Ed. Universitária da UFPE**, 2000.
- AURELIO, M. et al. Gross greenhouse gas fluxes from hydro-power reservoir compared to thermo-power plants. **Energy Police**, v. 34, p. 481–488, 2006.
- BEHESHTI, H. The prospective environmental impacts of Iran nuclear energy expansion. **Energy Policy**, v. 39, n. 10, p. 6351–6359, 2011.
- BRAIN, G. B. **Oberlin College Lewis Center**. Disponível em: <https://greenbuildingbrain.org/buildings/oberlin_college_lewis_center>. Acesso em: 2 set. 2019a.
- BRAIN, G. B. **DEP Cambria**. Disponível em: <https://greenbuildingbrain.org/items/dep_cambria>. Acesso em: 2 set. 2019b.
- CALIFORNIA DISTRIBUTED GENERATION STATISTICS. **California Distributed Generation Statistics**. Disponível em: <<https://www.californiadgstats.ca.gov/>>. Acesso em: 5 jan. 2020.
- CARDU, M.; BAICA, M. Regarding a global methodology to estimate the energy-ecologic efficiency of thermopower plants. **Energy Conversion and Management**, v. 40, 1999.
- CEMIG. **Valores de Tarifas e Serviços**. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx>. Acesso em: 29 dez. 2019.
- COLAFERRO, J. **Financiamento de Energia Solar: As 9 Melhores Linhas Para Você Obter o Melhor Retorno Financeiro Com o Seu Sistema**. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/financiamento-de-energia-solar/>>. Acesso em: 29 dez. 2019.
- CORCELLI, F. et al. Sustainable urban electricity supply chain – Indicators of material recovery and energy savings from crystalline silicon photovoltaic panels end-of-life. **Ecological Indicators**, v. 94, p. 37–51, 2016.
- CRUZ, I. F. et al. Changes in river water quality caused by a diversion hydropower dam bordering the Pantanal floodplain. **Hydrobiologia**, p. 223–238, 2016.
- DEMIRAK, A.; YILMAZ, F. Heavy metals in water , sediment and tissues of *Leuciscus cephalus* from a stream in southwestern Turkey. **Chemosphere**, v. 63, p. 1451–1458, 2006.

DERU, M.; TORCELLINI, P.; PLESS, S. **Energy Design and Performance Analysis of the BigHorn Home Improvement Center Energy Design and Performance Analysis of the BigHorn Home Improvement Center**. 2005.

Dunn, C.; Wunnava, A. **The Effect of the Fukushima Nuclear Disaster on The Evolution of the Global Energy Mix**. Harvard Kennedy School, 2019.

EIA. **USA INFORMATION ENERGY ADMINISTRATION**. Disponível em: <<https://www.eia.gov/>>. Acesso em: 5 jan. 2020.

FARIA, F. A. M. et al. Estimating greenhouse gas emissions from future Amazonian hydroelectric reservoirs. **Environmental Research**, v. 10, 2015.

FARIA, F. A. M. DE; JARAMILLO, P. The future of power generation in Brazil : An analysis of alternatives to Amazonian hydropower development. **Energy for Sustainable Development**, v. 41, p. 24–35, 2017.

FEARNSIDE, P. M. Environmental Impacts of Brazil's Tucuruí's Dam: Unlearned Lessons for Hydroelectric Development in Amazonia. **Environmental Management**, v. 27, n. 3, p. 377–396, 2001.

FEARNSIDE, P. M. Impacts of Brazil's Madeira River Dams : Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. **Environmental Science and Policy**, v. 38, p. 164–172, 2014.

FEDRIGO, N. S.; GONÇALVES, G.; LUCAS, P. F. **Usos Finais de Energia Elétrica no Setor Residencial Brasileiro**. 2009.

FRANK ANDORKA. **Kyocera Solar Modules Independently Tested Show Excellent Performance**. Disponível em: <<https://www.solarpowerworldonline.com/2014/02/kyocera-solar-modules-independently-tested-show-excellent-performance/>>.

FRIEDL, G.; WÜEST, A. Disrupting biogeochemical cycles – Consequences of damming. **Aquatic Sciences**, v. 64, p. 55–65, 2002.

GLOBAL SOLAR ATLAS. **SOLARGIS**. Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/detail?s=-18.918804,-48.276784&m=site&c=-18.918804,-48.276784,11>. Acesso em: 29 jan. 2021.

Atmospheric emissions and pollution from the coal-fired thermal power plants in India. **Atmospheric Environment**, v. 92, p. 449–460, 2014.

HAGEMANN, I. B. **Solarsiedlung am Schlierberg, Freiburg (Breisgau), Germany**, 2007.

IAEA. **IAEA INTERNATIONAL FACT FINDING EXPERT MISSION OF THE FUKUSHIMA DAI-ICHI NPP ACCIDENT FOLLOWING THE GREAT EAST JAPAN EARTHQUAKE AND TSUNAMI**, 2011.

IEA PVPS. **Snapshot of Global PV Markets**. 2020.

JORDAN, D. C.; KURTZ, S. R. **Photovoltaic Degradation Rates — An Analytical Review**, 2012.

LEONARDO, J.; AURÉLIO, M.; FREITAS, V. Amazon and the expansion of hydropower in Brazil : Vulnerability , impacts and possibilities for adaptation to global climate change. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, p. 3165–3177, 2011.

MARTINS, M. J. **Casa Sustentável Piloto ZEB / Snøhetta**. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/773597/casa-piloto-zeb-snohetta>>. Acesso em: 2 set. 2019.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Nacional de Energia 2030**, 2007.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica**, 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Cenários de Demanda para o PNE 2050**, 2018a.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco energético nacional**, 2018b.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050**, 2018c.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Premissas e Custos da Oferta de Energia Elétrica no horizonte 2050**, 2018d.

MOK, K. **reACT house is a resilient, adaptive & smart design for ecological living**. Disponível em: <<https://www.treehugger.com/green-architecture/resilient-adaptive-climate-technology-react-house-university-maryland-solar-decathlon-2017.html>>. Acesso em: 2 set. 2019.

MYERS N., MITTERMEIER R. A., MITTERMEIER C. G., FONSECA G. A. B., J. K. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853–858, 2000.

OLAVO, I. F. et al. Changes in river water quality caused by a diversion hydropower dam bordering the Pantanal floodplain. **Hydrobiologia**, v. 768, n. 1, p. 223–238, 2016.

P&D ANEEL, ENEREGISA, GESEL. **Experiências Internacionais em Geração Distribuída: motivações, impactos e ajustes**. 2018.

PLESS, S. et al. **Zero Energy Buildings : A Critical Look at the Definition Zero Energy Buildings**, 2006.

PORTAL SOLAR. **Modelos de Placa Solar**. In: PORTAL SOLAR. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/modelos-de-placa-solar.html#:~:text=Para%20casas%20e%20empresas%2C%20tradicionalmente,est%C3%A3o%20acima%20de%20250%20Watts>. Acesso em: 31 jan. 2021.

RASHAD, S. M.; HAMMAD, F. H. Nuclear power and the environment : comparative assessment of environmental and health impacts of electricity-generating systems. **Applied Energy**, v. 65, 2000.

SANTOS, T. **Alphenchic**. Disponível em: <https://www.homify.com.br/livros_de_ideias/352166/casa-auto-suficiente>. Acesso em: 2 set. 2019.

SMART ECO HOUSE DO BRASIL. **Cases - Casa Modelo**. Disponível em: <http://www.smartecohouse.com.br/case_model.php?titulo=CASES%20%7C%20CASA%20MODELO>. Acesso em: 30 jan. 2021

SOITO, J. L. S.; FREITAS, M. A. V. Amazon and the expansion of hydropower in Brazil: Vulnerability, impacts and possibilities for adaptation to global climate change. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, p. 3165– 3177, 2011.

SOLAR FINGER. **SOLAR FINGER RESOURCE**. Disponível em: <<https://solarfinger.com.br/radiacao-solar-no-brasil/>>. Acesso em: 27 dez. 2019.

SOLAR FINGER. **Solar Finger Sizing**. Disponível em: <<https://solarfinger.com.br/dimensionamento-online/>>. Acesso em: 27 dez. 2019

TILT, B.; BRAUN, Y.; HE, D. Social impacts of large dam projects : A comparison of international case studies and implications for best practice. **Journal of Environmental Management**, v. 90, p. S249–S257, 2009.

TORCELLINI, P.; JUDKOFF, R.; HAYTER, S. **Zion National Park Visitor Center: Significant Energy Savings Achieved through a Whole-Building Design**, 2002.

UBERLÂNDIA. **LEI COMPLEMENTAR Nº 387**. p. 3–5, 2004.

WU, G. et al. Cadmium contamination in Tianjin agricultural soils and sediments : relative importance of atmospheric deposition from coal combustion. **Environmental Geochemistry Health**, p. 405–416, 2013.

ZUBAIR, M. Analysis of net-zero energy housing society in Gwadar Pakistan to mitigate the load shedding problem. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, v. 065906, n., 2018.

