

Energias Renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável

Renewable Energies: seeking for a sustainable energy matrix

Fabrcio Hoff Dupont¹, Fernando Grassi² e Leonardo Romitti³

¹Doutorado em Engenharia Elétrica, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI, Frederico Westphalen, RS, Brasil

^{2,3}Graduando em Engenharia Elétrica, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI, Frederico Westphalen, RS, Brasil

Resumo

Os padrões de vida atuais apresentam uma dependência e uma demanda cada vez maior de energia, principalmente elétrica, mas não limitada exclusivamente a ela. Contudo, o fornecimento de energia para atender tamanha demanda tem sido realizado de forma insustentável ao longo dos anos, utilizando os recursos naturais como se os mesmos não possuíssem fim. Recentemente o interesse comum da sociedade vem motivando o desenvolvimento e a implantação de sistemas de geração baseados em fontes renováveis, e mudanças importantes já podem ser observadas mundialmente. Neste contexto, este artigo tem por objetivo apresentar uma visão geral dos principais aspectos que envolvem uma inserção maciça de fontes renováveis de energia na composição de novas matrizes energéticas, bem como as mudanças de paradigmas necessárias para que esse novo cenário possa se tornar realidade. Por fim, são apresentados alguns casos de sucesso na implantação de novos sistemas de geração, os desafios encontrados e as experiências adquiridas. Além disso, discute-se também acerca dos incentivos algumas localidades no mundo oferecem, bem como as novas exigências que estes lugares impõe a novas construções tendo como objetivo maior um consumo de energia mais sustentável e menos agressivo ao ambiente em que vivemos.

Palavras-chave: Energias renováveis. Sustentabilidade. Energia solar. Energia eólica. Matriz energética.

Abstract

The current living standards have a dependency and increasing demand for energy, especially electricity, but not limited exclusively to it. However, the supply of power to meet such demand has been unsustainable performed over the years, with people using natural resources as if they were inexhaustible. Recently the common interest of society has motivated the development and implementation of renewable-based energy generation systems, and major changes can already be observed worldwide. In this context, this article aims to present an overview of the main aspects that involve a massive integration of renewable energy sources in the composition of new energy matrices, as well as the paradigm shifts necessary for this new scenario become reality. Finally, some cases of successful implementation of new generation systems, the challenges and the experiences obtained are presented. Moreover, it is also discussed about the incentives that some places in the world offer and the new demands that these places imposes for new construction, with the larger goal of a more sustainable energy consumption and less aggressive to the environment in which we live.

Keywords: Renewable energies, sustainability, solar energy, wind energy, energy matrix.

1 Introdução

A sociedade tecnológica na qual estamos inseridos apresenta sérios desafios com relação a sua própria sustentabilidade, e a mesma pode ser abordada sob os mais diversos aspectos. Desde os primórdios o homem extraiu da natureza os recursos necessários para a saciar as suas necessidades ou realizar suas atividades, quase todas as vezes considerando a natureza como uma fonte infinita de recursos. Nesse sentido, uma regra bastante simples, de não gastar mais do que se pode receber, é quase sempre desprezada. A sustentabilidade, em suas mais diferentes abrangências, está intimamente ligada à essa premissa. Tanto sob um ponto de vista financeiro quanto um ponto de vista de recursos naturais, no sentido de não consumir mais recursos do que a própria natureza é capaz de renovar.

Um dos segmentos que mais tem recebido destaque e relevância no que tange à sustentabilidade é a questão energética mundial. A demanda por energia que os hábitos atuais impõe ao sistema de geração é cada vez maior. Apenas no Brasil, a Empresa de Pesquisa Energética (2014) publica no Balanço Energético Nacional que o consumo total de energia cresceu de 215.498 tep (toneladas equivalentes de petróleo) em 2004 para 282.560 tep no ano de 2013, um incremento superior a 30% em pouco menos de dez anos. Cabe destacar que neste contexto o termo energia não refere-se apenas a energia elétrica, mas sim todas as demais formas de energia utilizadas, para qualquer finalidade.

É evidente que este crescimento não pode ser dissociado de preocupações ambientais, tendo em vista que toda essa energia precisou ser extraída e transformada a partir de recursos naturais. Assim, para acompanhar ritmos de crescimento como esses é essencial que exista uma preocupação com a capacidade de renovação dos recursos. Nesse sentido, os países devem se preparar com a construção de matrizes energéticas adequadas às necessidades e aos recursos disponíveis.

Com enfoque mais específico sob o ponto de vista de energia elétrica, a geração total no Brasil no ano de 2013 atingiu 570 TWh, representando um crescimento de 3,2% em relação ao ano anterior. Isso colocou o país na oitava colocação mundial em geração de energia elétrica (ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2015). Historicamente o Brasil vem investindo massivamente na geração hidrelétrica, principalmente devido a abundância de recursos hídricos disponíveis e o custo relativamente baixo em sua produção. Tais características a tornam uma opção bastante interessante entre os recursos energéticos disponíveis. Além disso, em termos de impactos ambientais, a geração hidrelétrica apresenta impactos inferiores em comparação às termoelétricas a carvão, muito empregadas em países como China, Índia e outros países da Ásia (ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2015). Embora o alagamento de áreas produtivas e a geração de metano e outros gases por meio da decomposição da matéria orgânica provoquem impactos ambientais que não podem ser desprezados (BORGES NETO; CARVALHO, 2012).

Por outro lado, é importante levar em conta, também, que a grande dependência das hidrelétricas vem ameaçando a geração de energia elétrica no Brasil desde o último ano por fatores climáticos, como a forte estiagem registrada na região sudeste. Com isso, os reservatórios de diversas hidrelétricas atingiram níveis críticos e fizeram com que estratégias de emergência tivessem que ser implementadas. Uma dessas estratégias criadas, por exemplo, é a bandeira tarifária, que tem por objetivo desestimular o consumo por meio de sobretaxas ao custo do kWh do consumidor em função dos custos de geração da energia elétrica (BRASIL, 2015). Excluindo a hidráulica, as demais fontes correspondem a pouco mais de 29% da oferta interna de energia elétrica. A Figura 1 ilustra a composição completa da oferta interna brasileira, onde torna-se evidente a grande dependência do país em uma única fonte.

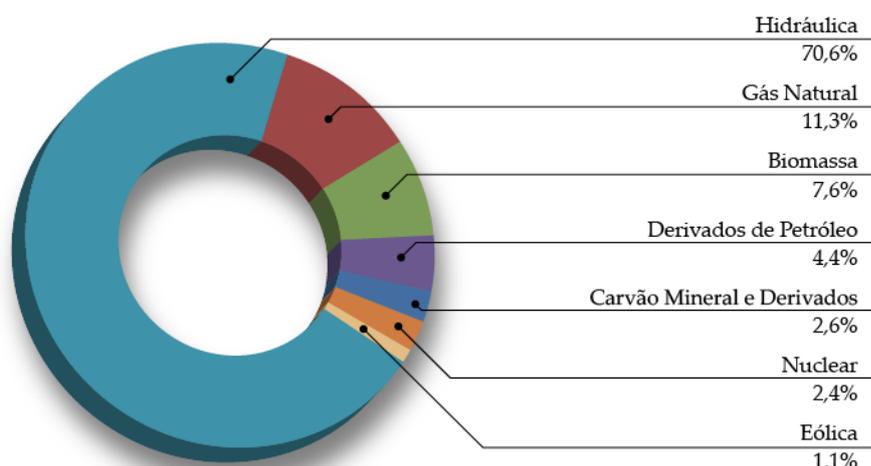


Figura 1 – Composição da oferta interna de energia elétrica.

Fonte: EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2014.

O interesse comum da sociedade vem impulsionando a comunidade científica a pesquisar e desenvolver estratégias para o aproveitamento de fontes alternativas de energia, menos poluentes, renováveis, e que provoquem reduzido impacto ambiental. Esta tendência tem se verificado na prática por meio de uma maior contribuição das fontes renováveis na matriz energética mundial, conforme ilustra a Figura 2, na qual destaca-se ainda a grande dependência mundial energia elétrica proveniente de fontes térmicas a carvão e similares. Comparativamente, também cabe chamar a atenção para a grande diferença entre as dependências das energias térmica e hidráulica entre o Brasil e o mundo.

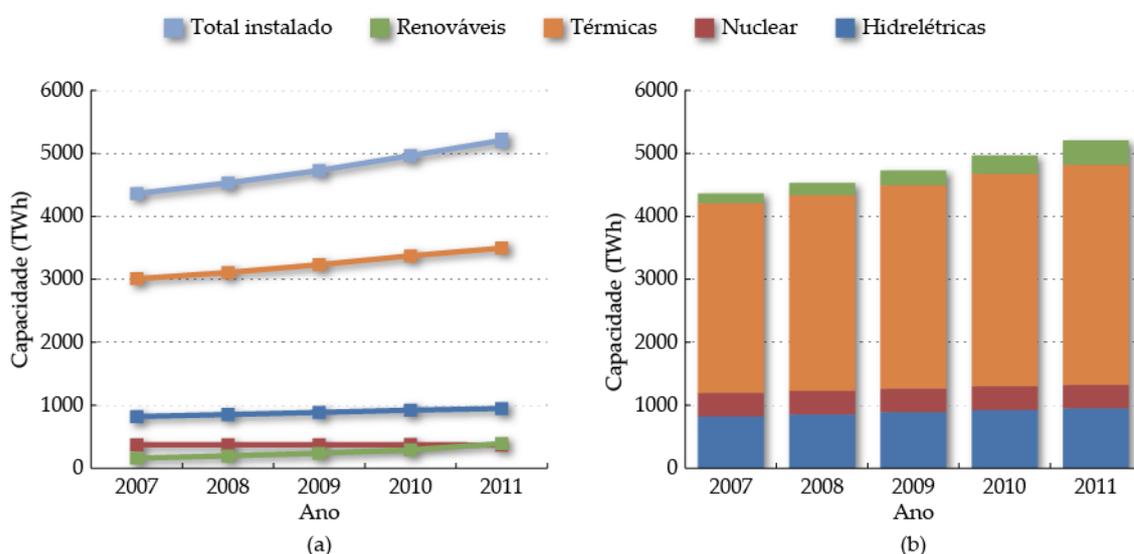


Figura 2 – Capacidade instalada de fontes de energia elétrica instaladas no mundo (a) capacidade de geração; (b) participação das fontes por tipo.

Fonte: EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2014a.

Neste cenário o presente artigo tem por objetivo apresentar algumas das alternativas mais promissoras para a geração de energia elétrica renovável no Brasil, além da hidráulica. Inicialmente, uma breve descrição acerca dos princípios de funcionamento e os impactos de cada fonte são apresentados. Na sequência, as principais mudanças nos modelos de geração e distribuição de energia são abordadas. Por fim, casos e experiências com fontes renováveis e novos modelos econômicos são relatados, onde se torna evidente que a discussão sobre a utilização massiva de fontes renováveis, bem como as novas preocupações que surgem com sua utilização, devem ser ainda muito exploradas.

2 Fontes renováveis de energia elétrica

O uso de fontes renováveis de energia não é um assunto novo. De fato, os primeiros aproveitamentos datam de muitos séculos atrás, fazendo parte da própria história da humanidade. Mais recentemente, o aproveitamento destas fontes recebeu incontáveis melhorias tecnológicas e a crescente demanda por alternativas energéticas, e principalmente sustentáveis, fez que com essas antigas tecnologias fossem revisitadas e adaptadas.

De maneira geral, as fontes de energia renovável fornecem apenas uma fração da energia se comparado com as grandes centrais. Essa característica permite duas categorias de fornecimento de energia para as cargas. A primeira é que esses sistemas podem estar conectados diretamente à rede pública de distribuição de energia (*grid-tie*), e toda a energia gerada é despachada para a rede. A outra refere-se aos sistemas autônomos, ou isolados, na qual o sistema de geração fornece a energia necessária para as cargas. Havendo energia excedente, o sistema entra em um modo de limitação de potência, visto que a carga drena menos energia do que é possível de ser produzido. Do contrário, caso a demanda da carga seja maior que a oferta, cargas de menor prioridade podem ser desligadas a fim de manter as cargas críticas em operação pelo maior tempo possível (ROGGIA et al., 2011). As subseções seguintes apresentam brevemente as principais características, tipos e impactos para as principais fontes de energia renovável mais relevantes considerando as aptidões gerais do país. Mais especificamente, a energia eólica e a solar fotovoltaica.

2.1 Energia eólica

Os primeiros indícios da utilização da energia eólica para a realização de trabalho mecânico são controversos, mas credita-se algumas das primeiras máquinas a Heron de Alexandria, há cerca de dois mil anos (PINTO, 2012). Posteriormente, a energia eólica foi amplamente utilizada em moinhos, substituindo a tração animal. Contudo, foi apenas nos últimos anos que a energia eólica tornou-se uma peça fundamental na geração de energia, principalmente elétrica, período em que houve uma grande expansão na pesquisa e no desenvolvimento para transformar a energia fornecida pelo vento.

A captação da energia cinética do vento pode ser feita basicamente por duas formas distintas: as turbinas de eixo vertical e as de eixo horizontal. No primeiro caso, engrenagem e gerador são colocados ao nível do solo e a turbina é movida por forças de arraste ou sustentação (FARRET, 2014). Uma das versões mais simples é a turbina Savonius, que pode ser construída por meios tonéis excêntricos montados sobre um eixo, conforme ilustra a Figura 3(a). Outro tipo de turbina as Darrieus, ilustradas pela Figura 3(b) sendo as únicas que obtiveram maior aceitação comercial entre as de eixo vertical. Estas turbinas também apresentam baixa complexidade de fabricação e são bastante indicadas para características de vento similares ao sul da América Latina. Por fim, as turbinas de eixo horizontal possuem as engrenagens, eixo e gerador alinhados com a direção do vento, como mostra a Figura 3(c), sendo a opção mais utilizada mundialmente em parques de geração eólicos comerciais. Podem ainda ser encontradas em algumas configurações em função do número de pás, sendo que as turbinas com três pás são as mais empregadas por apresentarem menores esforços mecânicos, menores oscilações de torque e por provocarem menor ruído (BORGES NETO; CARVALHO, 2012).

Mesmo sendo bastante reduzido em comparação à maioria das outras fontes, a geração de energia elétrica a partir de turbinas eólicas gera alguns impactos ambientais conforme apontado em algumas referências. Um desses impactos é a área necessária para a instalação do parque. Para que a perturbação no vento causada por uma turbina não interfira significativamente no funcionamento das turbinas vizinhas a jusante é necessário um espaçamento mínimo entre cinco a dez vezes a altura da torre (BORGES NETO; CARVALHO, 2012). Embora esse espaço não possa ser utilizado para construções, a área do parque ainda pode ser utilizada para plantio ou outras atividades. Outro impacto decorrente da instalação de turbinas eólicas é a emissão de ruídos, os quais podem ser de origem tanto mecânica quanto aerodinâmica. O ruído mecânico é oriundo do próprio funcionamento da turbina, das engrenagens e das máquinas. Já o ruído aerodinâmico está diretamente associado ao

número e a velocidade de rotação das pás e, neste sentido, as turbinas que empregam configurações de três pás apresentam menores níveis de ruído uma vez que nesses casos a velocidade de rotação não excede os 70 m/s (PINTO, 2012).

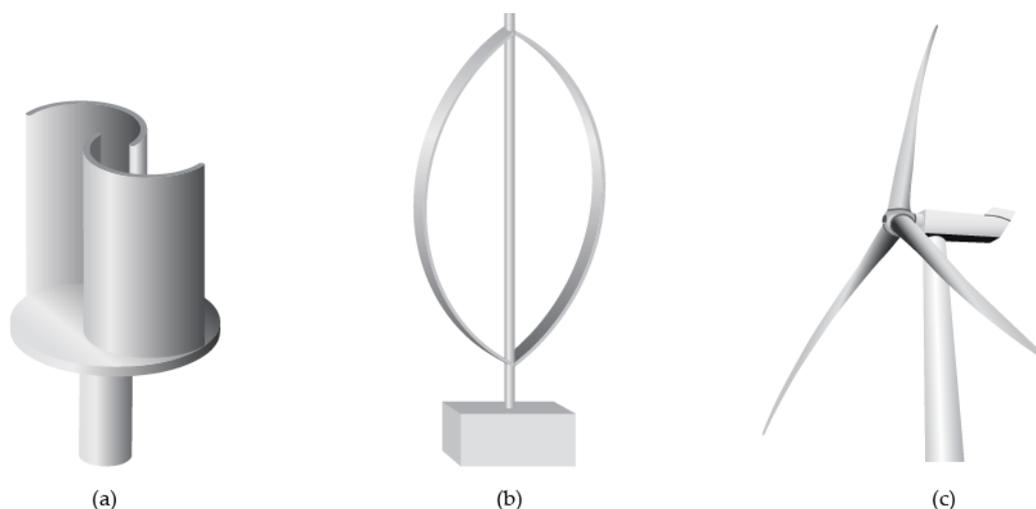


Figura 3 – Tipos básicos de aerogeradores (a) turbina de eixo vertical Savonius; (b) turbina de eixo vertical Darrieus; (c) turbinas de eixo horizontal de múltiplas pás.

2.2 Energia solar fotovoltaica

Entre as fontes renováveis, a energia solar fotovoltaica é uma das mais abundantes em toda a superfície terrestre e é inesgotável na escala de tempo humano. Por esta razão é uma das alternativas mais promissoras para a composição de uma nova matriz energética mundial e seu aproveitamento tem se consolidado em muitos países (VERMA; MIDTGARD; SATRE, 2011). É esperado que até 2040 esta seja a fonte renovável de energia mais importante e significativa para o planeta (BRITO et al., 2011)

As células fotovoltaicas são dispositivos mais recentes, quando em comparação das primeiras tecnologias de aerogeradores, datando de 1839 quando Antoine Henri Becquerel conduziu os primeiros estudos sobre o efeito fotovoltaico. Contudo, foi na década de 1950 que as aplicações de células fotovoltaicas começaram a ter maior atenção nos programas espaciais.

A geração de energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico é bastante simples. Quando fótons incidem em junções de materiais semicondutores dopados com certos tipos de elementos químicos ocorre a liberação de elétrons. A grande maioria das células fotovoltaicas emprega o silício como base para sua fabricação. Isto se deve ao fato deste material ser abundante na natureza e a própria tecnologia de microeletrônica avançou significativamente a manipulação do silício nos últimos anos. Em geral estão disponíveis comercialmente três tipos de células fotovoltaicas (PATEL, 2006). As células policristalinas são formadas pelo derretimento em moldes do silício de elevada pureza. Não há um controle sobre o processo de cristalização, o qual ocorre desordenadamente, resultando em múltiplos cristais, e por esta razão surge sua denominação. São células de menor custo e menor rendimento, mas amplamente aceitas e difundidas comercialmente. Outro tipo de células são as monocristalinas, fabricadas a partir de silício de altíssima pureza (mínimo de 99,9999%), em que após o derretimento os átomos ordenam-se formando um único cristal. O processo de fabricação apresenta elevado custo e o consumo de energia é bastante alto, mas célula monocristalina apresenta melhor rendimento que policristalina. Por fim, as células amorfas, ou de filmes finos, caracterizam-se por não apresentar qualquer ordenação em seu arranjo molecular. Há uma forte tendência de redução de custos nesta tecnologia, razão pela qual é uma das mais estudadas atualmente. São mais leves, podem ser maleáveis, mas ainda apresentam rendimento e vida útil inferior às células cristalinas (BORGES NETO; CARVALHO, 2012).

Além destas, inúmeras outras tecnologias vêm sendo desenvolvidas nos últimos anos, como as células de material orgânico, translúcidas e de material plástico, mas ainda não encontraram seu espaço no mercado por questões tecnológicas de produção em massa ou por competitividade de preços (ZILLES, 2012).

Assim como para os sistemas de geração eólica, um aspecto fundamental para a implementação de sistemas fotovoltaicos é o conhecimento das características ambientais e meteorológicas do local de instalação. No caso dos sistemas fotovoltaicos, deve-se conhecer as características de irradiação solar, além de outras variáveis relevantes como a temperatura média (DUPONT, 2014). Nesse sentido, atualmente estão disponíveis atlas de irradiação solar para a maior parte da superfície terrestre para auxiliar os engenheiros no projeto de sistemas de geração fotovoltaica. Para o país, Pereira et al. (2006) por meio do Atlas Brasileiro de Energia Solar, apresentam as diversas características de irradiação e aproveitamento da energia solar não apenas para a geração de energia elétrica mas também para outras finalidades como a agricultura. Além dessas fontes de dados, análises mais precisas, conduzidas a partir de amostras experimentais de variáveis ambientais, como a apresentada por Dupont, Rech e Pinheiro (2012) permitem a elaboração de projetos otimizados, levando em conta a maximização da capacidade de geração instalada. Conforme demonstrado pelos autores, aproximadamente 70% da energia processada pelos módulos fotovoltaicos situa-se na faixa entre 25% e 50% da potência nominal do sistema.

É importante observar que as questões envolvendo o impacto ambiental devem ser empregadas com cautela, pois deve-se considerar não apenas os impactos durante a operação das fontes, mas também o impacto e as emissões ainda na fase de produção. A maior parte das análises de ciclo de vida (LCA, *life cycle assessment*) realizados para os sistemas fotovoltaicos têm sido realizada para a América do Norte e a Europa. Contudo, atualmente muitos módulos fotovoltaicos têm sido produzidos em países fora desta região, como principalmente a China, que possuem níveis e normas de industrialização bem diferentes. Yue, You e Darling (2014) realizam um amplo levantamento e demonstram que a eficiência da produção na China é 30% inferior a dos Estados Unidos, e que a emissão de carbono associada à fabricação chega a ser o dobro no país asiático, principalmente devido ao fato de que a energia gasta na produção de células fotovoltaicas na China é basicamente proveniente de termoelétricas a carvão. Análises LCA similares realizadas na Europa apontam resultados bastante similares aos obtidos na América do Norte (MULVANEY, 2014). A falta de controle rigoroso na fabricação de células fotovoltaicas na China já permitiu inclusive que uma companhia derramasse rejeitos extremamente tóxicos como o tetracloro de silício diretamente em córregos próximos ao Rio Amarelo por um período de aproximadamente nove meses (CHA, 2008). Depois do episódio, o governo chinês realizou diversos ajustes legais com o objetivo de normatizar a manipulação dos rejeitos tóxicos durante a fabricação de células fotovoltaicas. Tais questões reforçam a necessidade de haver preocupações ambientais não apenas com a geração de energia, mas também como os materiais e equipamentos são produzidos até que estejam disponíveis no mercado.

3 Necessidade de mudanças de paradigmas

Além da própria geração da energia elétrica, outro aspecto importante a ser analisado é o destino, ou consumo, dessa energia. No Brasil, segundo o Balanço Energético Nacional, a maior parcela da energia consumida destina-se às indústrias, representando pouco mais de 34% do consumo. Os consumidores residenciais vêm logo na sequência, e representam mais de 20% do total. Mais detalhes acerca do perfil de consumo da energia elétrica brasileira são apresentados pela Figura 3.

Na Figura 3, uma das fatias que merece maior destaque é o fato das perdas estimadas foram de 93,6 TWh, o que representa 15,3% da energia elétrica consumida no país. Essas perdas são compostas desde, e principalmente, a transmissão das grandes centrais de geração até o consumidor final. Além destas, as perdas também ocorrem no lado do consumo, onde equipamentos e eletrodomésticos de baixo rendimento desperdiçam energia apenas para o seu próprio funcionamento. A título de comparação, no mesmo ano a usina hidrelétrica de Itaipu gerou 98,3 TWh, ou seja, praticamente toda a energia produzida por Itaipu, uma das maiores hidrelétricas do mundo,

foi perdida apenas no processo de transmissão e por equipamentos de baixo rendimento (ITAIPU BINACIONAL, 2015).

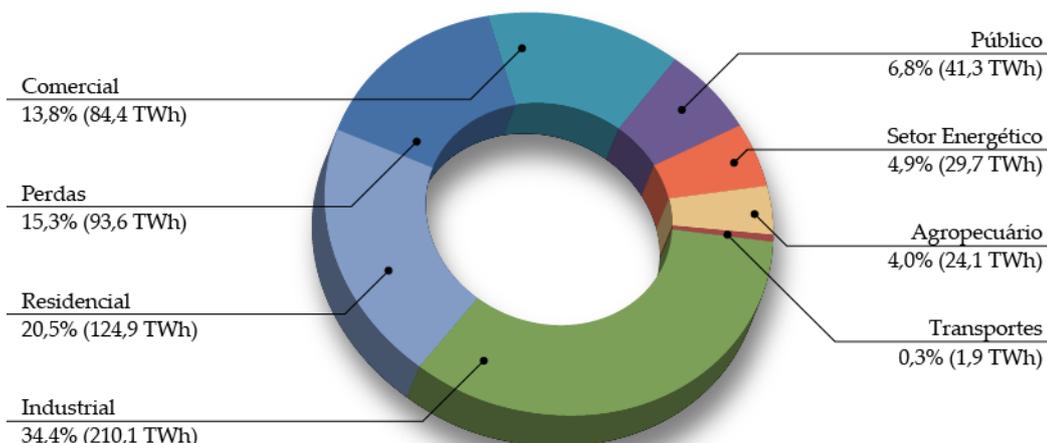


Figura 3 – Composição do consumo de energia elétrica brasileiro.
Fonte: EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2014.

Esta grande parcela de perdas ocorre mundialmente em função da própria arquitetura das redes públicas de distribuição. Grandes centrais de geração, afastada dos centros urbanos, geram grandes quantidades de energia, que então precisam ser transportadas até os consumidores finais, conforme ilustrado pela Figura 4(a). Nesse percurso, a energia acaba naturalmente se perdendo por efeitos físicos, como o efeito Joule. Por outro lado, a entrada em funcionamento de pequenos aproveitamentos de energia, como principalmente a fotovoltaica, permitiu que a geração fosse colocada muito próximo do consumidor final, ou mesmo em suas propriedades. Esta possibilidade tem provocado a quebra do paradigma da grande geração centralizada e fortalecido a construção de sistemas de geração distribuída, como ilustra a Figura 4(b).

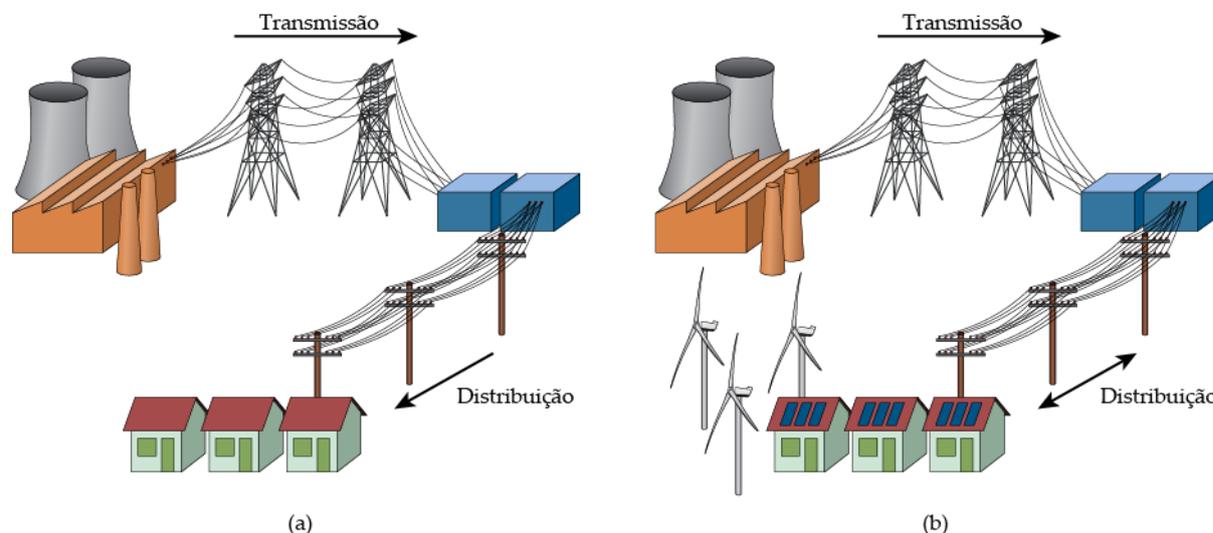


Figura 4 – Arquiteturas de geração e distribuição de energia elétrica (a) geração centralizada; (b) geração distribuída.

Nos sistemas de geração distribuída, a geração pode ser feita em diversos locais, com geradores de diferentes portes e, assim, o processo de distribuição de energia passa a ser bidirecional. As grandes centrais de geração continuam se fazendo presentes, mas agora os próprios consumidores são capazes de gerar uma parcela da sua demanda, ou mesmo atendê-la integralmente. É possível, inclusive, que a energia produzida a mais que a consumida seja despachada para a rede pública, contribuindo com a capacidade de geração total. No Brasil, a Lei nº 10.848/04, que trata sobre a comercialização de energia

elétrica, passa a incluir a geração distribuída como uma das possíveis fontes de geração de energia ainda no ano de 2004. Já o Decreto nº 5163, também de 2004, detalha sobre a comercialização, a outorga e as autorizações, contribuindo com definições que permitem visualizar a geração distribuída como uma forma complementar de geração, auxiliando a própria expansão e atendimento de demanda da rede existente. Contudo é na Resolução Normativa nº 482 de 2012 que são estabelecidas as condições gerais para o acesso da micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição, bem como o sistema de compensação de energia elétrica. Esse conjunto de atos legais tem contribuído para que o país avance na disseminação e implantação de novos sistema de geração distribuída, permitindo agora que qualquer pessoa, física ou jurídica, possa gerar e interagir com a rede pública de energia. Todavia, o país ainda necessita de muitos incentivos reais à inserção massiva de fontes renováveis para compor uma nova matriz energética que não dependa quase que exclusivamente de uma única fonte de energia.

Contribuindo ainda mais nesta perspectiva, diversas cidades ou países vêm oferecendo incentivos reais para a ampliar a participação das fontes renováveis na capacidade total de geração. Um dos casos é a cidade de Palo Alto, na Califórnia, a qual a partir deste ano (2015) possui novas regulamentações para as construções. Novas casas deverão ter seus telhados construídos de maneira acomodar pouco mais de 45 m² de módulos fotovoltaicos, além de disponibilizar um circuito de pelo menos 50 A para a carga de veículos elétricos (PERRY, 2015). Na França, país suprido em mais de 80% a partir de energia nuclear, o parlamento recentemente aprovou leis que obrigam novos edifícios comerciais a terem telhados pelo menos parcialmente cobertos por painéis fotovoltaicos ou plantas (os chamados "telhados verdes"). Características que implicam em novos desafios de engenharia, tendo em vista que a carga que as estruturas deverão suportar são significativamente maiores, especialmente para os "telhados verdes", mas com a contrapartida de grandes reduções financeiras em climatização ou na geração própria de energia elétrica (ACKERMAN, 2015). Ainda em 2005 a prefeitura de Toronto, Canadá, solicitou um estudo para a possível implementação de "telhados verdes" (BANTING et al., 2005). Foram considerados no estudo os telhados planos com mais de 350 m², e que aproximadamente 75% da área do telhado fosse coberta, o que resultou em uma área total de aproximadamente 5000 ha. O estudo demonstrou uma economia inicial de mais de US\$ 350 milhões, e uma economia anual de mais de US\$ 37 milhões, nos quais são inclusos os custos com climatização, eficiência, drenagem, qualidade do ar, entre outros.

Contudo, esta é uma realidade que ainda parece distante para o Brasil. Em 2012 a geração de energia elétrica a partir de fontes não renováveis representava 15,5% do total, e em 2013 essa representação subiu para 20,7%, considerando tanto as centrais de serviço público quanto os autoprodutores (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2014). Por outro lado, em recente apresentação, o ministro de minas e energia, Eduardo Braga, detalhou os temas prioritários do setor elétrico nacional para o ano de 2015. Nela é destacado o recorde de importação de energia de países vizinhos, bem como é salientado que um dos temas prioritários é a implantação de medidas para ampliar a geração de energia e incentivar o seu uso eficiente (BRASIL, 2015a).

Já são vários os casos de sucesso obtidos internacionalmente a partir do uso de fontes renováveis, muitos deles nos países europeus. A Dinamarca é o país líder na participação da energia eólica em sua matriz. Somando com a geração a partir de biomassa e de painéis fotovoltaicos em 2013 o país gerou 60% de toda a energia consumida a partir de fontes renováveis. Outros países que vêm seguindo esse perfil são Portugal, que em 2013 gerou 30% de sua energia a partir de fontes renováveis, e Espanha cuja parcela renovável de energia no mesmo período somou 27%. O caso da Dinamarca é notável. Ao final da década de 1970, com a crise do petróleo, o governo considerou instalar plantas nucleares de geração, o que foi fortemente rejeitado pela população, que se uniu em prol da energia eólica. Pequenos grupos locais passaram então a comprar e instalar aerogeradores por conta própria e com o testemunho de que se o governo não quisesse ajudá-los, a própria população iria realizar a construção e conexão dos aerogeradores com a rede pública de energia (ROSELUND; BERNHARDT, 2015).

Por outro lado, embora não figure nesta lista, a Alemanha é a representante mais forte na capacidade de geração instalada, gerando mais que qualquer um dos três países citados

anteriormente. Contudo, devido a grande demanda interna e a sua industrialização, o balanço entre a demanda total e a representatividade das fontes renováveis ainda é inferior, representando 24% do total. A Alemanha apresenta realidades bastante peculiares, e por vezes a energia fotovoltaica foi capaz de produzir mais de 40% da demanda do país próximo ao meio dia, dependendo das condições climáticas. Esta grande quantidade de energia sendo injetada na rede pode provocar problemas de instabilidade, e a tecnologia de inversores empregada na conexão com a rede faz com que os mesmos sejam automaticamente desconectados caso alguma anomalia na qualidade de energia seja detectada, como, por exemplo, variações na frequência da rede. Em função disso, a partir de 2012 o país passou a exigir novos recursos aos inversores, incluindo adaptações aos já existentes, como a detecção de excesso de energia na rede e a redução gradual da energia injetada, ao invés de optar simplesmente pela desconexão. Esta exigência permite aumentar a estabilidade, ao mesmo tempo que exige a atualização de mais de 315 mil inversores fotovoltaicos já em operação. Todavia, ao fim de agosto aproximadamente metade desses inversores haviam sido atualizados (ROSELUND; BERNHARDT, 2015a).

Fontes renováveis como eólica ou fotovoltaica possuem outras particularidades que devem ser cuidadosamente analisadas, principalmente no que tange a sua variabilidade no tempo. Assim, ao mesmo tempo em que se tem uma série de benefícios ambientais, há um aumento na sensibilidade a questões climáticas como dias nublados ou sem vento, em que a geração dessas fontes é menor. Recentemente o primeiro eclipse solar total sobre o continente europeu causou apreensão dos operadores de sistemas. Na metade da manhã do dia 20 de março de 2015 a radiação solar foi gradativamente obstruída em um evento que durou pouco mais de duas horas. Até então, nenhum sistema havia sido avaliado na prática em situações como esta. Todavia, os resultados foram melhores do que o esperado e o sistema elétrico europeu manteve-se estável ao longo de todo o eclipse (FAIRLEY, 2015).

O problema da variabilidade ao longo do tempo e da susceptibilidade a rápidas variações climáticas também motiva a busca por alternativas para o armazenamento de energia, já prevendo um cenário com baixa dependência em fontes não renováveis mas com capacidade estável de geração. O armazenamento em baterias, embora possível, é inviável para grandes quantidades de energia, e ainda gera o problema do descarte das baterias após o fim de sua vida útil. Uma segunda alternativa é o armazenamento por meio do bombeamento de água para dentro de represas. Embora a primeira vista possa soar como um desperdício, cabe lembrar que esse bombeamento é realizado em períodos de grande geração de fontes como solar ou eólica. Assim, ao invés de desconectar ou reduzir a potência desses geradores, a energia excedente gerada é empregada para reabastecer os reservatórios de água das hidrelétricas. O Japão é um dos países líderes nesses sistemas, o que tem proporcionado maior estabilidade da rede pública de energia frente aos transitórios de aumento ou redução na energia gerada pelo vento ou pelo sol (FAIRLEY, 2015a).

Outra alternativa apontada por Nehrir e Wang (2009) é a utilização da água excedente nos reservatórios das hidrelétricas. Ao invés de simplesmente liberá-la pelos vertedouros, o excedente de água poderia ser convertido em hidrogênio e armazenado, para ser posteriormente convertido em eletricidade por meio de células a combustível ou para o abastecimento de veículos elétricos. Em um cenário futuro, a proliferação da geração distribuída permitirá reduzir os impactos ambientais decorrentes da construção de grandes centrais de geração. A conscientização e os incentivos governamentais podem possibilitar que cada consumidor seja um agente produtor de sua própria energia, aumentando a capacidade total de geração, reduzindo as perdas por transmissão, a liberação de carbono na atmosfera, entre tantas outras vantagens.

4 Conclusões

Este artigo apresentou uma visão geral dos principais aspectos que envolvem a inserção de fontes renováveis na composição de uma nova matriz energética mundial. Nesse sentido, verificou-se que o Brasil possui uma característica diferenciada em comparação ao restante do mundo, visto que a composição da matriz nacional é fundamentalmente baseada em geração hidrelétrica, enquanto nos

demais países as termoelétricas ainda representam mais da metade da energia gerada. Todavia, o impacto ambiental envolvido com a construção de grandes centrais hidrelétricas não pode ser desprezado. Assim, apresentaram-se as principais características e tecnologias disponíveis comercialmente para a geração de energia eólica e solar fotovoltaica, duas das formas mais aceitas mundialmente para o aproveitamento de energias renováveis livremente obtidas na natureza. Embora de grande aceitação, observou-se também os impactos ambientais que estas fontes produzem, e embora sejam consideradas fontes limpas durante sua geração, seu processo de fabricação ainda envolve impactos que devem ser considerados.

Por fim, apresentou-se os diferentes paradigmas que necessitam ser vencidos ou que já estão em processo de obsolescência. A geração distribuída é uma tecnologia habilitadora de uma série de inovações e melhorias para a rede pública de energia, permitindo a redução nas perdas por transmissão e possibilitando que os próprios consumidores possam gerar parte ou a totalidade da energia consumida. Além disso, novos conceitos de construções podem ser desenvolvidos, que contemplem melhor o aproveitamento dos recursos naturais para geração de energia ou climatização. São as propostas de diferentes localidades apresentadas. É evidente que mudanças como essas não ocorrem da noite para o dia, e podem levar décadas para acontecer. Todavia, mesmo que as mudanças sejam conduzidas de forma mais lenta, com novas construções incorporando características mais sustentáveis, equipamentos e eletrodomésticos mais eficientes e uma população mais consciente e engajada com a mudança necessária, permitem alcançar benefícios imediatos e duradouros.

Agradecimentos

Este trabalho tem o apoio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Tecnológica e de Inovação (PROBITI) da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), e da Rede de Estudo e Pesquisa em Desenvolvimento Sustentável (REDES) da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), projeto de pesquisa 3657.

Referências

- ACKERMAN, E. **New Commercial Buildings in France Must Get Green Roofs or Solar Panels**. 2015. IEEE Spectrum. Disponível em: <<http://spectrum.ieee.org/energywise/green-tech/buildings/all-new-commercial-buildings-in-france-getting-green-roofs-or-solar-panels>>. Acesso em 12, jun. 2015.
- BANTING, Doug et al. **Report on the environmental benefits and costs of green roof technology for the city of Toronto**. Toronto: [s.n.], 2005. Disponível em: <<http://www1.toronto.ca/wps/portal/contentonly?vgnextoid=fe420621f3161410VgnVCM10000071d60f89RCRD#energy>>. Acesso em: 12 jul. 2015.
- BORGES NETO, M. R.; CARVALHO, P. C. M. D. **Geração de energia elétrica: fundamentos**. São Paulo: Érica, 2012.
- BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Bandeiras tarifárias**. 2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=758>>. Acesso em: 15 mar. 2015.
- _____. Ministério de Minas e Energia. **Braga apresenta a deputados temas prioritários do setor elétrico**. 2015. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/terceiro-destaque/-/asset_publisher/aJoIeC7YEIJA/content/braga-apresenta-a-deputados-temas-prioritarios-do-setor-eletrico>. Acesso em: 8 mar. 2015a.
- BRITO, M. A. G., et al. **Research on photovoltaics: review, trends and perspectives**. In: Brazilian Power Electronics Conference (COBEP). p. 531-537, 2011.
- CHA, A. E. Solar Energy Firms Leave Waste Behind in China. 2008. The Washington Post. Disponível em: <<http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2008/03/08/AR2008030802595.html>>. Acesso em: 5 de abr. 2015.

- DUPONT, F. H.; RECH, C.; PINHEIRO, J. R. **A methodology to obtain the equations for the calculation of the weighted average efficiency applied to photovoltaic systems**. In: 10th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications (INDUSCON). p. 1-8, 2012.
- DUPONT, F. H. **Estudo, análise e implementação de uma metodologia para otimização de rendimento em sistemas compostos por conversores em paralelo**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria, RS, 2014.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco energético nacional 2014: ano base 2013**. Rio de Janeiro: EPE, 2014.
- _____. **Anuário estatístico de energia elétrica 2014: ano base 2013**. Rio de Janeiro: EPE, 2014a.
- ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **Today in energy**. 2015. Disponível em: <<http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=4390>>. Acesso em: 12 mar. 2015.
- FAIRLEY, P. European Grid Operators 1, Solar Eclipse 0. 2015. IEEE Spectrum. Disponível em: <<http://spectrum.ieee.org/energywise/energy/renewables/despite-bright-sun-its-european-grid-operators-1-solar-eclipse-0>>. Acesso em: 21 abr. 2015.
- FAIRLEY, P. **A Pumped Hydro Energy-Storage Renaissance**. 2015a. IEEE Spectrum. Disponível em: <<http://spectrum.ieee.org/energy/policy/a-pumped-hydro-energy-storage-renaissance>>. Acesso em: 5 mai. 2015.
- FARRET, F. A. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2014.
- ITAIPU BINACIONAL. **Geração**. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/energia/geracao>>. Acesso em 12 jun. 2015.
- MULVANEY, D. **Solar energy isn't always as green as you think**. 2014. IEEE Spectrum. Disponível em: <<http://spectrum.ieee.org/green-tech/solar/solar-energy-isnt-always-as-green-as-you-think>>. Acesso em: 15 jul. 2015.
- NEHRIR, M. H.; WANG, C. **Modeling and control of fuel cells: distributed generation applications**. Piscataway: IEEE Press, 2009.
- PATEL, M. R. **Wind and solar power systems: design, analysis, and operation**. 2.ed. Boca Raton, FL: Taylor & Francis, 2006.
- PEREIRA, E. B., et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: INPE, 2006.
- PERRY, T. **Building a New Home? Better Make It Solar Ready**. 2015. IEEE Spectrum. Disponível em: <<http://spectrum.ieee.org/view-from-the-valley/green-tech/buildings/building-a-new-home-better-make-it-solar-ready>>. Acesso em: 22 abr. 2015.
- PINTO, M. de O. **Fundamentos de Energia Eólica**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- ROGGIA, L.; et al. **Design of a sustainable residential microgrid system including PHEV and energy storage device**. In: Proceedings of the 2011-14th European Conference on Power Electronics and Applications. p. 1-9, 2011.
- ROSELUND, C.; BERNHARDT, J. **Lessons learned along europe's road to renewables**. 2015. IEEE Spectrum. Disponível em: <<http://spectrum.ieee.org/energy/renewables/lessons-learned-along-europes-road-to-renewables>>. Acesso em: 16 jul. 2015.
- ROSELUND, C.; BERNHARDT, J. **Has Germany's Energy Transition Stalled?** 2015a. IEEE Spectrum. Disponível em: <<http://spectrum.ieee.org/energy/renewables/has-germanys-energy-transition-stalled>>. Acesso em: 16 jul. 2015.

- VERMA, D.; MIDTGARD, O.-M.; SATRE, T. O. **Review of photovoltaic status in a European (EU) perspective**. In: 37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC). p. 3292-3297, 2011.
- YUE, D.; YOU, ; DARLING, S. B. Domestic and overseas manufacturing scenarios of silicon-based photovoltaics: Life cycle energy and environmental comparative analysis. **Solar Energy**, v. 105, p. 669-678, 2014.
- ZILLES, R.; et al. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.