

II SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE ENERGIA NA AGRICULTURA

REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

ASPECTOS HISTÓRICOS DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL E NO MUNDO¹

Eduardo Argou Aires Cunha², Jair Antonio Cruz Siqueira³, Carlos Eduardo Camargo
Nogueira³, Anibal Mantovani Diniz⁴

¹Apresentado no 2º Seminário de Engenharia de Energia na Agricultura: 30/11/2017-UNIOESTE, *Campus* Cascavel.

²Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Curso de Engenharia Civil. Rua Universitária 2069, Jardim Universitário, CEP 85819-110, Cascavel – PR. ed.argou@gmail.com

³Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Energia na Agricultura. Rua Universitária, 2069, Jardim Universitário, CEP: 85.819-110, Cascavel, PR.

⁴Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Curso de Ciência da Computação. Rua Universitária 2069, Jardim Universitário, CEP 85819-110, Cascavel – PR.

Resumo: Este trabalho teve como objetivo analisar os principais aspectos da evolução histórica do uso da energia eólica no Brasil e no mundo. Para isso foram avaliados os processos políticos e econômicos que resultaram na invenção dos aerogeradores e no subsequente desenvolvimento dessa tecnologia. Em seguida, estabeleceu-se uma visão abrangente do uso dessa energia diante das problemáticas ambientais emergentes no século XXI, apontando seu potencial na busca pelo desenvolvimento sustentável. As principais conclusões apontaram a grande difusão dos sistemas eólicos nas últimas décadas, que foi possibilitada por recentes avanços tecnológicos desses sistemas.

Palavras-chave: Fontes renováveis, energia eólica, aerogeradores.

Historical aspects of wind energy in Brazil and throughout the world

Abstract: The objective of this work was to analyze the main aspects of the historical evolution of wind energy and its use in Brazil and throughout the world. For this, it evaluated the politic and economic processes that resulted in the invention of the wind turbine and the subsequent development of this technology. Furthermore, it established a comprehensive outlook regarding the current use of wind energy next to the environmental issues brought up in the 21st century, pointing out its potential in the quest for sustainable development. The main conclusions

demonstrated the large propagation of wind energy systems in the last decades, only possible with recent technological advances of wind turbines.

Keywords: Renewable resources, wind energy, wind turbine.

Introdução

De acordo com Lopez (2002), a energia dos ventos é empregada para a movimentação de diversos engenhos do homem desde os primórdios da civilização. Há milênios essa fonte é utilizada para atividades como o beneficiamento de grãos e o bombeamento d'água, dividindo espaço com outras tecnologias como a tração animal e rodas d'água ao longo do avanço da atividade agrícola. Burton et al. (2001) também apresenta o vento como essencial para a navegação, mesmo antes da invenção dos moinhos.

O primeiro registro histórico da utilização de moinhos é da Pérsia, por volta de 200 A.C. Na Europa, o desenvolvimento de moinhos de vento iniciou no retorno das Cruzadas, o que culminou em sua ampla utilização para bombeamento d'água na Holanda entre os séculos XVII e XIX, possibilitando a drenagem de áreas abaixo do nível do mar, o que reforça a importância de seu uso na época. Mais tarde, essa tecnologia se espalhou pelo mundo e encontrou outras aplicações, como serrarias, prensas de grãos e fábricas de papel (Dutra, 2008).

Atualmente, o principal uso da energia eólica se dá na geração de energia elétrica por meio de aerogeradores. Este trabalho objetivou realizar uma breve revisão dos principais aspectos da geração eólica no Brasil e no mundo ao longo das últimas décadas, além de descrever os fatores que incentivaram seu desenvolvimento e sua importância na conjuntura atual e no futuro.

Desenvolvimento dos aerogeradores após a Revolução Industrial

O final do século XIX foi marcado pela Revolução Industrial, que trouxe consigo o declínio do uso tradicional da energia eólica. A profunda transformação nos processos de produção introduziu o uso em massa de combustíveis fósseis (carvão mineral, petróleo, gás natural, etc.), caracterizados pelo alto teor energético, flexibilidade na utilização e facilidade de transporte (Alves, 2017). Por outro lado, o avanço das redes elétricas motivou pesquisas com o objetivo de adaptar os moinhos para a geração de eletricidade, com o primeiro aerogerador sendo desenvolvido pelo americano Charles Brush em 1888 (Dutra, 2008).

O desenvolvimento de aerogeradores em escala comercial, contudo, só foi possível cerca de um século depois, com o interesse nessa tecnologia intensificado pelas complicações da crise do petróleo a partir dos anos 70 (Burton et al., 2001). O número de turbinas eólicas

instaladas no mundo disparou de 150 em 1981 para 16000 em 1985 (Gnoatto, 2017). Segundo Magalhães (2009), as mudanças políticas necessárias à viabilização da energia eólica se deram rapidamente nos países desenvolvidos, ocorrendo de forma muito mais lenta nos países subdesenvolvidos principalmente pela escassez de recursos para investimento em pesquisa e desenvolvimento.

Mais recentemente, a preocupação com a degradação do meio ambiente surgiu como outro fator limitante para o uso dos combustíveis fósseis. Brown (2003) afirma que criou-se uma economia fora de sincronia com o ecossistema do qual ela depende. Considerada o marco inicial dessa questão a nível global, a Conferência de Estocolmo, organizada pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 1972, abriu o debate sobre os perigos trazidos pelo uso intensivo de combustíveis fósseis (Gnoatto, 2017). Nesse cenário, os esforços governamentais vão na direção de uma mudança gradual dos processos produtivos e da matriz energética, a fim de mitigar seu impacto ambiental negativo e adequá-los à ideia de desenvolvimento sustentável.

Participação da energia eólica no desenvolvimento sustentável

Lopez (2002) define desenvolvimento sustentável como um processo que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender a suas próprias necessidades. Nisto se insere a utilização de energias renováveis, que não dependem de recursos naturais considerados finitos, e geralmente produzem baixo impacto ambiental (Parizotto, 2014). Conforme Twidell e Weir (2015), as fontes renováveis se encontram em fluxos que ocorrem naturalmente no planeta, como por exemplo a energia solar, eólica, hidrelétrica e maremotriz.

Como ilustrado na Figura 1, que compara a matriz energética mundial entre 1973 e 2015, as fontes renováveis ainda tem uma participação pequena no processo produtivo, que consiste majoritariamente do uso de biomassa e energia hidrelétrica. Pode-se notar, entretanto, que apesar de um aumento na participação do gás natural e do carvão, o uso de petróleo diminuiu consideravelmente. O gás natural, apesar de tecnicamente ser classificado como combustível fóssil, é considerado aceitável num estado de transição para uma matriz mais equilibrada (Basso, 2017).

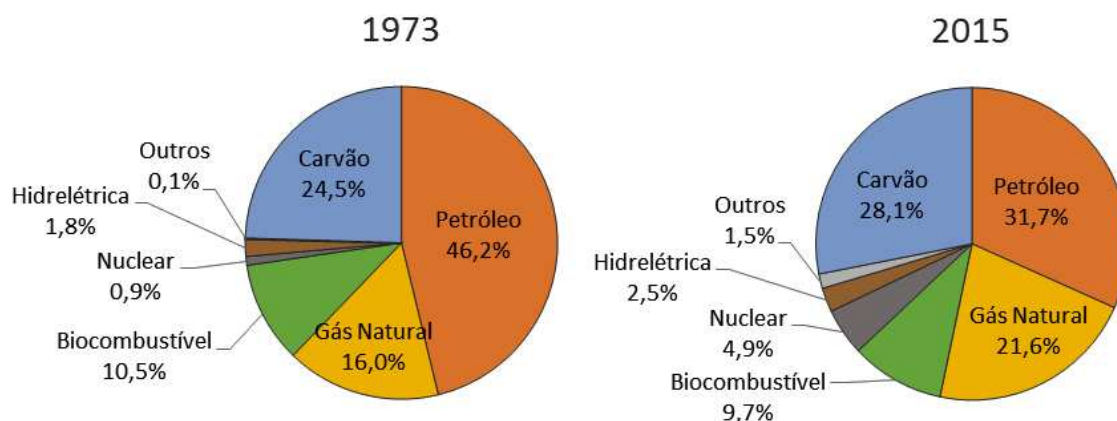


Figura 1. Matriz energética de 1973 e 2015.

Fonte: Adaptado de IEA (2017).

O Brasil aparece nesse cenário em uma posição de destaque no que tange a composição de sua matriz energética, que é baseada principalmente na energia hidrelétrica. O Balanço Energético Nacional 2017 (EPE, 2017) atribui 68,1% da oferta interna a este tipo de energia, sendo a biomassa e a energia eólica também de grande relevância, com participação na matriz nacional de 8,2% e 5,4%, respectivamente. Como evidenciado pela Figura 2, o Brasil demonstra considerável independência de fontes não-renováveis para sua produção energética, ao contrário da tendência global.

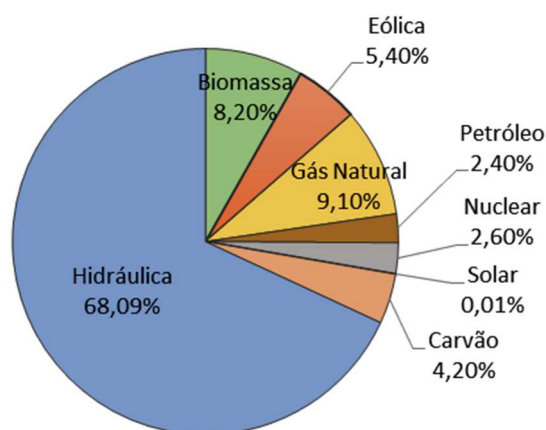


Figura 2. Oferta interna de energia elétrica brasileira por fonte.

Fonte: Adaptado de EPE (2017).

A predominância da energia hidrelétrica, não obstante, tende a diminuir na medida em que surgem limitações à sua expansão. O Brasil enfrenta questões hidrológicas desfavoráveis nos últimos anos, e aumentaram as barreiras ambientais para aprovação de projetos (Basso,

2017). Parizotto (2014) caracteriza essas obras como causadoras de profundos impactos ambientais, e aponta o potencial da energia eólica como alternativa.

Panorama da energia eólica no mundo

Em 2015, a capacidade instalada de geração de energia eólica na União Europeia era de aproximadamente 140 GW, sendo quase metade dessa potência pertencente à Alemanha, ao lado de significativas contribuições da França, Polônia e Reino Unido (GWEC, 2016). A expectativa, ainda de acordo com o relatório do GWEC (2016), é que essa potência aumente em cerca de 70 GW até 2020. Pode-se atribuir a relevância dessa fonte no continente europeu a um tradicional incentivo governamental, presente já no início do século XX, na criação de uma sociedade para conservação e aperfeiçoamento dos moinhos na Holanda no contexto de seu declínio causado pela Revolução Industrial (Dutra, 2008).

O mundo produziu durante o ano de 2015 cerca de 838 TWh de energia eólica, com países como EUA, China, Alemanha e Espanha liderando a produção mundial (IEA, 2017). O aumento da capacidade instalada no mundo é recente, como mostra a Figura 3, e segundo Dutra (2008) o perfil desse crescimento durante a década de 90 indica perspectivas promissoras para as próximas décadas. Sato (2015) reafirma essa possibilidade afirmando que o recurso eólico do planeta com possibilidade de conversão para energia elétrica equivale, aproximadamente, ao triplo da demanda mundial de 2010, o que evidencia seu potencial.

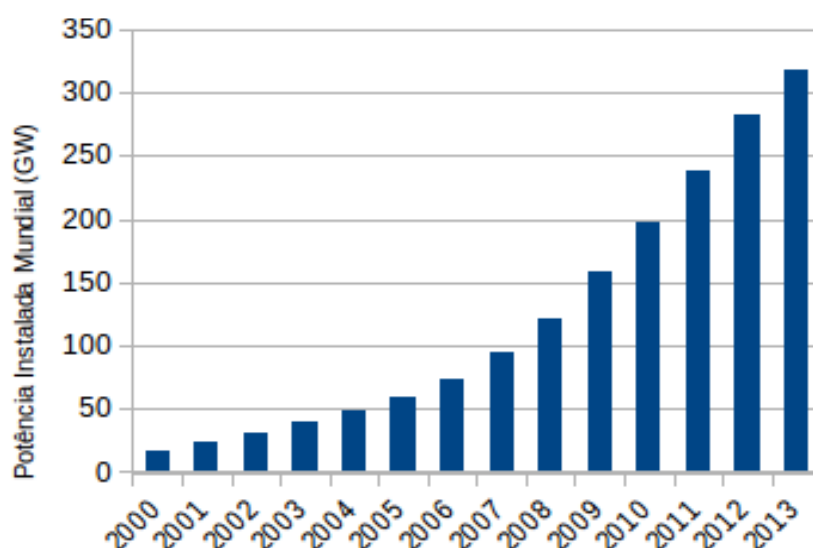


Figura 3. Crescimento da capacidade eólica instalada mundial.

Fonte: Adaptado de Gupta (2016).

O principal responsável por esse crescimento é a China, que despontou na produção eólica mundial a partir de 2009, sendo na época responsável por 40% das instalações de turbinas (Parizotto, 2014). Parizotto (2014) também descreve a matriz eólica chinesa, que além de grandes parques possui instalações de pequeno porte abastecendo vilarejos inteiros em áreas rurais. O aumento da potência instalada na China durante o ano de 2013 supera de maneira acentuada o crescimento dos outros países, tanto em valor absoluto como relativo, conforme ilustrado na Figura 4. Atualmente a China e os Estados Unidos lideram a produção mundial, sendo responsáveis por 45,2% da produção mundial em 2015 e possuindo quase metade da potência eólica instalada no planeta (IEA, 2017).

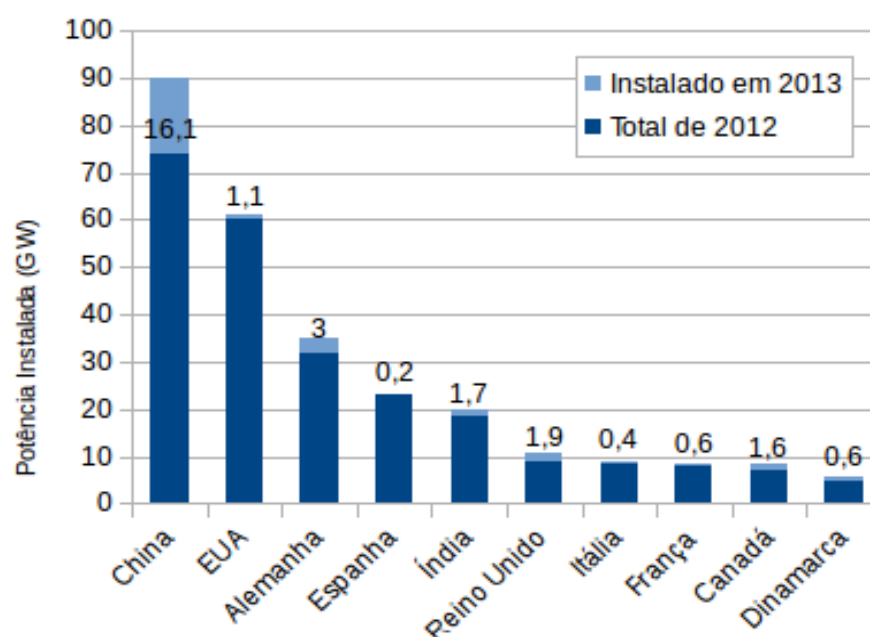


Figura 4. Crescimento da capacidade instalada por país em 2013.

Fonte: Adaptado de Gupta (2016).

Panorama da energia eólica no Brasil

No caso do Brasil, o aproveitamento dos recursos eólicos para geração elétrica também é um fenômeno recente, caracterizado por um *boom* no final da última década que ampliou a geração eólica anual de 663 GWh em 2007 para aproximadamente 33,5 TWh em 2016 (EPE, 2017). Durante o ano de 2015, essa modalidade energética foi a principal responsável (39,5%) pelo aumento da capacidade instalada no país (EPE, 2016). A Figura 5 ilustra o grande crescimento dessa capacidade nos últimos 3 anos.

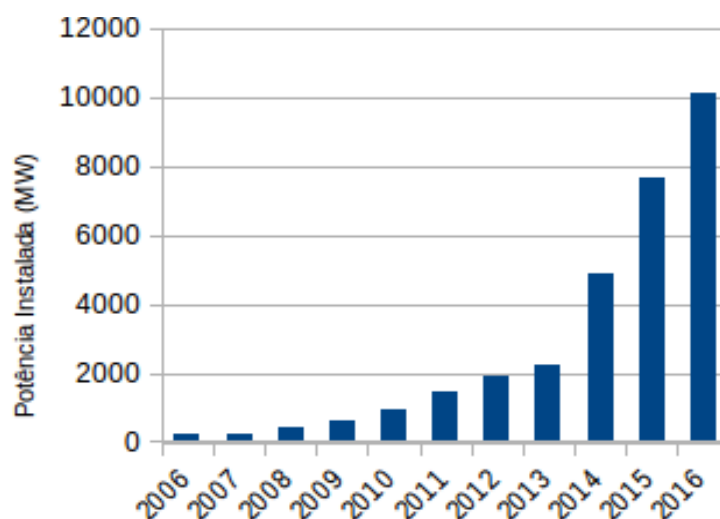


Figura 5. Crescimento da capacidade eólica instalada no Brasil.

Fonte: Adaptado de EPE (2017).

Figurando atualmente entre os grandes produtores de energia eólica do planeta, o Brasil foi o país com a décima maior capacidade instalada (7,6 GW) em 2015 (IEA, 2017). O Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (Amarante et al., 2001) destaca o grande potencial eólico do Nordeste, que contém cerca de metade da potência disponível e contribui com a maior parte da produção nacional. Como indicado na Tabela 1, o estado do Rio Grande do Norte liderou a produção de 2016, seguido por Bahia e Ceará.

Tabela 1. Geração elétrica por estado em 2016.

Fonte: Adaptado de EPE (2017).

Estado	Geração (Gwh)
Rio Grande do Norte	11.529
Bahia	6.295
Ceará	5.024
Rio Grande do Sul	4.773
Piauí	3.133
Pernambuco	2.142
Santa Catarina	278
Paraíba	163
Rio de Janeiro	68
Sergipe	63
Paraná	20

Em um cenário otimista para o ano de 2050, Greenpeace Internacional e Conselho Europeu de Energia Renovável – EREC (2010) estimam que a participação da energia hidrelétrica na matriz brasileira diminuirá para 45,65%, sendo então a eólica responsável por 20,38% da oferta, seguida pela biomassa (16,6%) e a energia solar (9,26%). Essa transformação

condiz com a busca pelo desenvolvimento sustentável, além de estimular o desenvolvimento de novas tecnologias e levar a eletricidade até localidades outrora sem acesso por meio de sistemas descentralizados (Basso, 2017).

Considerações finais

É evidente, dentre as fontes alternativas, o destaque da energia eólica, cuja viabilidade se verifica no grande crescimento da capacidade instalada nos últimos anos, tanto no Brasil como no mundo. Essa energia já desempenha um papel importante no processo de transição da matriz energética do planeta, que vai na direção de uma produção compatível com as questões ambientais atuais e futuras.

O processo de desenvolvimento tecnológico nas próximas décadas, no que tange a produção energética, deverá se concentrar na energia eólica e em outras fontes alternativas, de modo a possibilitar maiores investimentos que confirmam protagonismo às fontes renováveis na produção mundial.

Referências

- ALVES, A.M. **Desenvolvimento de um aplicativo computacional para dimensionamento técnico e econômico de biodigestores tipo tubular**. 105p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.
- AMARANTE, O.A.C.; BROWER, M.; ZACK, J.; SÁ, A.L. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Brasília, 2001. 44p.
- BASSO, T.M. **Análise técnico-econômica de um sistema de geração eólica para uma unidade armazenadora e secadora de grãos**. 94p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.
- BROWN, L.R. **Eco-Economia: construindo uma economia para a terra**. Salvador: UMA, 2003. 368p.
- BURTON, T.; SHARPE, D.; JENKINS, N.; BOSSANYI, E. **Wind Energy Handbook**. Chichester: John Wiley & Sons, 2001. 642p.
- DUTRA, R. **Energia eólica: princípios e tecnologia**. Rio de Janeiro: CRESESB, 2008. 58p.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balanco Energético Nacional 2016: Ano base 2015**. Rio de Janeiro: EPE, 2016. 294p.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balanco Energético Nacional 2017: Ano base 2016**. Rio de Janeiro: EPE, 2017. 296p.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL – GWEC. **Global wind report 2015: annual market update**. Bruxelas: GWEC, 2016. 76p. Disponível em: http://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC-Global-Wind-2015-Report_April-2016_22_04.pdf. Acesso em: 08 nov. 2017.

GNOATTO, H. **Análise de viabilidade técnica e econômica para implantação de aerogerador em propriedades rurais de Cascavel, Londrina e Palmas-PR**. 79p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.

GREENPEACE INTERNATIONAL; CONSELHO EUROPEU DE ENERGIA RENOVÁVEL – EREC. **[r]evolução energética: a caminho do desenvolvimento limpo**. São Paulo: Greenpeace, 2010. 40p. Disponível em: <http://www.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/report/2010/11/revolucaoenergeticadeslimpo.PDF>. Acesso em: 08 nov. 2017.

GUPTA, N. A review on the inclusion of wind generation in power system studies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 59, p. 530-543, 2016.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Key world energy statistics**. 2017. 97p.

LOPEZ, R.A. **Energia eólica**. São Paulo: Artliber, 2002. 156p.

MAGALHÃES, M.V. **Estudo de utilização da energia eólica como fonte geradora de energia no Brasil**. 50p. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

PARIZOTTO, R.R. **Instalação e avaliação de um sistema de bombeamento d'água com aerogerador de pequeno porte para propriedades rurais na cidade de Cascavel-PR**. 69p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2014.

SATO, M. **Avaliação do potencial eólico em microescala de Cascavel e região**. 87p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2015.

TWIDELL, J.; WEIR, T. **Renewable energy resources**. Abingdon: Routledge, 2015. 816p.