Desafios da modelagem: Meso-microescala e uma estimativa do potencial técnico eólico offshore das regiões sul e sudeste brasileiras

Luiz Filipe de Assis Tavares, M.Sc.



Prof. Milad Shadman, D.Sc.

Prof. Luiz Paulo de Freitas Assad, D.Sc.



SUMÁRIO

Discussão acerca do desafio da modelagem meso-microescala no contexto da energia eólica.

Apresentação de algumas funcionalidades do modelo atmosférico Weather Research & Forecasting (WRF) aplicadas a energia eólica.

Apresentação de uma publicação do grupo relacionada a estimativa do potencial técnico eólico offshore das regiões sul e sudeste brasileiras.

INTRODUÇÃO

 Espera-se que a demanda e a implantação da energia eólica cresça por um fator de 10 até 2050. Chegando a 1/3 ou mais da matriz elétrica mundial (Veers et al., 2019; DNV GL, 2018).

 Participação da eólica offshore no crescimento mundial.



Fig. 1: Capacidade instalada acumulada global (GW) para energia eólica e LCOE (Levelized cost of energy) estimado para regiões do interior do USA (Centavos de dólar por kwh) de 1980-presente. Fonte: Veers et al., 2019.

DESAFIOS DA CIÊNCIA DA ENERGIA EÓLICA

 Um dos grandes desafios: fazer uma integração dos efeitos das diferentes escalas para suprir as demandas e antecipar os problemas a um baixo custo.

• A interdependência das áreas do conhecimento requer um esforço em conjunto.



Fig. 2: Integração das escalas dos processos envolvidos na energia eólica. Fonte: Veers et al., 2019.

ESCALA DOS AEROGERADORES



Fig. 3: Crescimento das estruturas das turbinas eólicas.

ESCALAS DA MODELAGEM

Historicamente as maiores escalas • da modelagem foram negligenciadas.

- Fundamentalmente a física da • mesoescala e da microescala são tratadas de maneiras diferentes.
- As turbinas eólicas estão entrando na escala espacial da terra da incógnita.



Fig. 4: Escalas temporais e espaciais da modelagem. Fonte: Vortex.

ESCALAS DA MODELAGEM

- Atualmente algumas maneiras de tratar o problema são:
- WRF-LES (Large eddy simulation) em casos reais.
- Acoplamento de um modelo de mesoescala + CFD (Computacional fluid dynamics).
- Considerar efeitos da estabilidade atmosférica e compressibilidade nas simulações de CFD.



Fig. 4: Escalas temporais e espaciais da modelagem. Fonte: Vortex.

WRF



- Método de volumes finitos
- Compressível, conservativo e nãohidrostático
- Coordenada vertical híbrida sigmapressão

Fig. 6: Coordenadas verticais. Fonte:Skamarock et al. (2019).



Fig. 5: Representação do conceito de um modelo de área limitada.

WRF



Fig. 7: Configuração de domínios para uma simulação típica do modelo WRF.

- Downscaling dinâmico Criação de ulletdomínios aninhados (1:3) para aumento da resolução espacial.
- Se um determinado processo físico 3000 • estiver em uma:
- 2000 > Escala maior que a escala do modelo
 - Explicitamente resolvido

1000

- > Escala menor que a escala do modelo
 - Implicitamente resolvido => Parametrizado
 - WRF possui diversos módulos de parametrizações

WRF-LES

- WRF-LES é uma tentativa de resolver os maiores vórtices do escoamento turbulento. ~ 100 m de resolução
- Δ Turbulence motions are divided in Large Eddies and Small Eddies.
- \triangle Large Eddies (> Δx) are solved as a solution of the Navier-Stokes Equations.
- ▲ Small Eddies (< △x) need to be parameterized in subgrid-scale models (SGS) and resolved sub-filter scales (SFS).

Model Grid Spacing: PBL and LES



WRF-LES

- WRF-LES possui alto custo computacional.
- Grade refinada horizontalmente e verticalmente.
- Pequeno passo de tempo.
- Grande volume de output.
- I. Técnicas de big data podem ser tornar necessárias.



Fig. 9: Série temporal da média de 10' da velocidade do vento. Fonte: Vortex.

- WRF- WFP foi desenvolvida por Fitch et al. (2012).
- Algumas modificações na abordagem vem sendo propostas como a de Volker et al. (2015) WRF-EWP(Explicit Wake parameterization)
- Os efeitos das turbinas são representados por uma retirada de momento do escoamento médio, transferindo energia cinética em eletricidade e a parte não aproveitada em energia cinética turbulenta.



Fig. 10: Modelo de disco atuador. Fonte: Burton et al. (2015).

- Possibilidade de representar uma turbina ou wind farm.
- Pontos de grade ou latitude e longitude.
- Usar diferentes tipos de turbinas simultaneamente.





Fig. 12: Distribuição dos níveis verticais (Lee and Lundquist, 2017).

Fig. 11: Domínios da simulação e localização geográfica das turbinas eólicas(Lee and Lundquist, 2017).

- Estimativa da produção e representação do efeito wake.
- Limitação: Necessidade da resolução espacial ser pelo menos 5x o diâmetro do rotor para representar wake.
- Necessidade de parametrização de PBL exclusiva.



Fig. 13: Representação do efeito wake dentro do elemento de grade Fitch et al. (2012).

 WRF-WFP consegue diminuir a superestimativa de produção representando em parte o efeito wake.



ENERGIA EÓLICA OFFSHORE

29.136 global 22.99 Accumulated installed capacity [MW] 18.658 12.167 7.046 515 695 1.106^{2.063} 2003 2004 2005 2005 2006 2007 2009 2011 2012 2014 2019 Years

Figura 15: Evolução da capacidade acumulada global instalada de energia eólica offshore em MW (1991-2019). Fonte: Dados da EWEA (1991-2010) e GWEC (2011-2019).

 A energia eólica offshore experimenta rápido crescimento e vem impulsionando o setor.



are Export



Energy Volume 196, 1 April 2020, 117097



Assessment of the offshore wind technical potential for the Brazilian Southeast and South regions

Luiz Filipe de Assis Tavares ª, Milad Shadman ^{b, c} ペ ⊠, Luiz Paulo de Freitas Assad ^{a, d}, Corbiniano Silva ^d, Luiz Landau ^d, Segen F. Estefen ^b

Show more 🗸

https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117097

Get rights and content

Highlights

- Approximately 86% of the technical potential is in water depths beyond 50 m.
- Wind potential 88% larger than the equivalent Brazilian oil&gas

FLOWCHART



Figure 1: Flowchart of the applied methodology.

STUDY AREA AND WIND DATA



Table 1: Geographical information, measurement period, number of observation (N) and bathymetry of the PNBOIA program.

Boia	Latitude	Longitude	Período	Ν	Batimetria
Itajaí	$28,50^{\circ}S$	$47,36^{\circ}W$	17/02/2011 a $25/10/2018$	41.299	202 m
Santos	$25,28^{\circ}S$	$44,93^{\sf o}W$	12/04/2011a $30/09/2018$	58.528	$244~\mathrm{m}$
Cabo Fri o 2	$23,63^{\rm o}S$	$42,20^{\rm o}W$	20/07/2016a $30/09/2018$	8.639	$307 \mathrm{m}$
Cabo Frio	$22,98^{\circ}S$	$42,10^{\rm o}W$	13/03/2012a $23/05/2013$	2.528	$54 \mathrm{m}$
Vitória	$20,58^{\circ}S$	$40,34^{\rm o}W$	13/10/2015a $23/07/2017$	15.561	$15 \mathrm{m}$

Table 2: Characteristics of the atmospheric reanalysis database.

Reanálises	Período	Resolução horizontal	Resolução vertical	Resolução temporal
CFSv2	$2011 \ a \ 2018$	$0,205^{\circ} \ge 0,204^{\circ}$	64 níveis	Horária
ERA5	$2011 \ a \ 2018$	$0,25^{\circ}\ge 0,25^{\circ}$	137 níveis	Horária
MERRA2	$2011 \ a \ 2018$	$0,5^{\circ}\ge 0,625^{\circ}$	72 níveis	Horária

STATISTICAL VALIDATION OF THE ATMOSPHERIC REANALYSIS



Figure 4: Taylor diagrams for comparing the reanalysis results and measured data from PNBOIA program.

OFFSHORE WIND AND ENERGY FIELDS

Figure 5: Wind speed [m/s] and direction at a height of 10 m for CFSv2, ERA5 and MERRA2 atmospheric reanalysis for the period of 2011 to 2018. The solid black line is EEZ.

Figure 10: NREL 6-MW capacity factor [%] for CFSv2, ERA5 and MERRA2 atmospheric reanalysis for the period of 2011 to 2018. The solid black line is EEZ.



FIRST APPROACH

Table 4: Estimate of the usable area, number of turbines, nameplate capacity and total annual energy production for the South and Southeast EEZ of Brazil for the period of 2011 to 2018 for ERA5 database.

	Approach I					
		Southeast	South	Total		
%	Area [km ²]	483,776	415,489	899,265		
	Number of turbines	$241,\!888$	207,745	$449,\!633$		
%	Nameplate capacity [GW]	1,451	1,246	2,698		
	Average output [GW]	578	592	$1,\!170$		
	AEP [TWh/yr]	5,063	5,186	1,0249		
	Production-to-demand ratio [%]	2,173	6,101	3,223		

 A área utilizável da região sul é 14% menor do que da região sudeste. Contudo, AEP da região sul é 2,43% maior em relação ao sudeste

 AEP estimada das regiões costeiras do sudeste e sul são aproximadamente 22 e 61 vezes maiores do que a demanda elétrica das regiões, respectivamente.

DEFINITION OF THE EXCLUDED AREAS



SECOND APPROACH

Table 5: Estimate of the usable area, number of turbines, nameplate capacity and total annual energy production for the South and Southeast EEZ of Brazil for the period of 2011 to 2018 for ERA5 database.

Approach II							
		Area $[km^2]$	Number of turbines	Nameplate capacity [GW]	Average output [GW]	AEP [TWh/yr]	Production- to-demand ratio [%]
Up to 20 m	Southeast	1,979	990	6	2	18	8
	South	3,413	1,707	10	4	35	41
20–50 m	Southeast	18,900	9,450	57	20	175	75
	South	16.612	8,306	50	21	184	216
50–100 m	Southeast	$16,\!481$	8,241	49	20	175	75
	South	$45,\!440$	22,720	136	61	534	628
100–1,000 m	Southeast	74,836	37,418	225	83	727	312
	South	93,851	46,926	282	133	1,165	1,371
Up to 1,000 m	Southeast	112,196	56,098	337	125	1,095	470
	South	159,316	$79,\!658$	478	219	1,918	2,256

- Total de área utilizável para profundidades até 50 m na região sudeste é 4% maior do que na região sul. Contudo, a AEP para o sudeste é 12% menor do que para a região sul.
 - Recurso da região sul está localizado em águas relativamente rasas (até 50 m), onde fundações fixas são praticáveis (Wu et al., 2019) e são capazes de atender a demanda elétrica total da região.

CONSIDERATIONS

 Considerando águas intermediárias e profundas, a região sul possui a maior área usável nas faixas de profundidades de 50-100 m e 100-1000 m, providenciando um total de AEP por volta de 88% maior comparado a região sudeste.

- Adicionalmente, 86% do recurso técnico offshore de vento das regiões sul e sudeste estão localizados em águas além de 50 m, onde a implementação de fundações de turbinas de fundo fixo começa a ser inviáveis tecnicamente e economicamente.
- O total de AEP para as regiões sudeste e sul com restrições são reduzidos em 78% e 63%, respectivamente.
- Pode ser observado que o AEP da energia eólica offshore para a área estudada (3013 TWh) é 88% maior do que a produção de óleo & gás equivalente brasileira de 944,1 MBOE (milhões de barris de óleo equivalente) em 2018.

TRABALHOS EM DESENVOLVIMENTO E FUTUROS

- > Cálculo de potencial técnico eólico usando modelagem regional.
- Hindcast utilizando a técnica de spectral nudging.

Estimativa de custo nivelado de energia (LCOE).

> Aplicação do WRF-LES.

Obrigado ! <u>luizfilipe@lts.coppe.ufrj.br</u>