



Impactos Ambientais em Parques Eólicos

Sombreamento e Ruídos



Eduardo Wagner e Bruna Oliveira

Eng. Civil/Analista Ambiental
Diretoria de Licenciamento Ambiental

Eng. Ambiental MSc. Eng. Civil
Coordenadora de Projetos

IBAMA

Maron Ambiental

Impactos em Parques Eólicos: Sombreamento e Ruídos



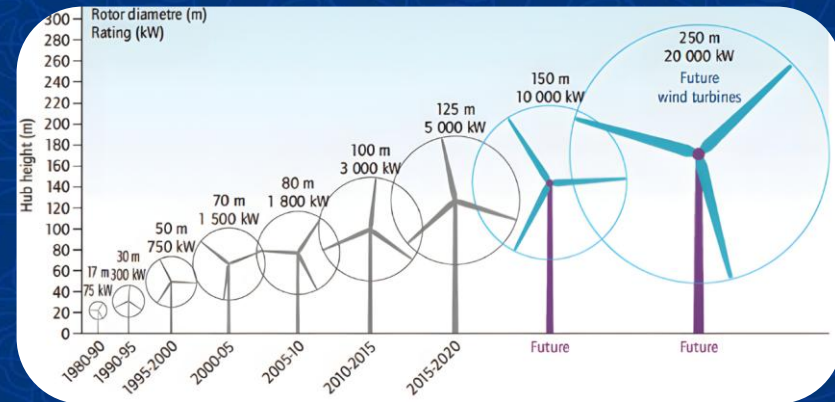
- O Brasil possui mais de 34 GW instalados mais 55 GW outorgados, em eólicas onshore.
- Crescimento dos parques eólicos e dimensões de turbinas: hoje >150 m de diâmetro e >120 m de altura.
- Denúncias recorrentes sobre impactos provenientes de ruídos e sombreamento.
- Expansão exige gestão de impactos socioambientais em assentamentos humanos.



Impactos em Parques Eólicos: Sombreamento e Ruídos



- Resolução Conama 462/2014
- “Para os empreendimentos cujo limite do parque esteja posicionado a menos de 400m de distância de residências isoladas ou comunidades apresentar este estudo de forma a caracterizar os índices de ruídos e o efeito estroboscópio visando o conforto acústico e a preservação da saúde da comunidade.”
- O ganho em potência e em fator de capacidade vem acompanhado da necessidade de novos critérios de distanciamento já que os impactos passaram a ser percebidos em maiores distâncias.





RUÍDOS

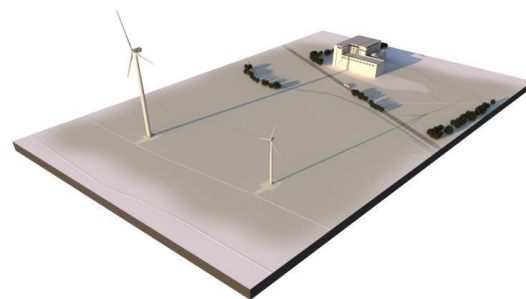
Ruído mecânico: O ruído mecânico é gerado pelo funcionamento do gerador elétrico, da caixa de multiplicação (quando presente), dos rolamentos e de outros componentes internos do aerogerador.

Ruído aerodinâmico: O ruído aerodinâmico das pás dos aerogeradores é causado pela interação do ar com suas superfícies em movimento, especialmente nas pontas, onde a velocidade é maior e há maior geração de turbulência.

SOMBREAMENTO

Sombreamento ou Shadowflicker: ocorre quando o sol passa por trás das pás do aerogerador em movimento, projetando uma sombra intermitente diretamente em pessoas e ou residências próximas ao aerogerador.

Comum quando o sol está próximo ao horizonte.





RUÍDOS

Ruído específico: parcela do som total que pode ser identificada e que está associada a uma determinada fonte

Ruído total: som existente em uma dada situação e em um dado instante, resultante da contribuição de todas as fontes sonoras

Ruído residual: som remanescente do som total em uma dada posição e em uma dada situação quando são suprimidos os sons específicos em consideração

SOMBREAMENTO

Sombreamento anual: tempo total de ocorrência do sombreamento ao longo de todo o ano, em um ponto receptor, expresso em horas/ano

Sombreamento diário: tempo máximo de ocorrência de sombreamento em um único dia em um determinado receptor, expresso em minutos/dia

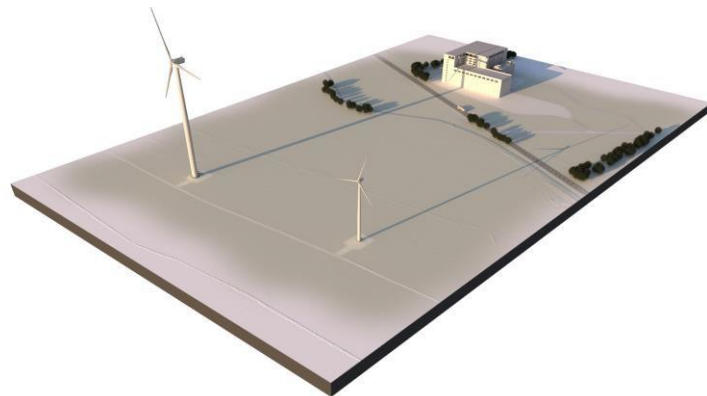


IMPACTOS NA SAÚDE HUMANA – RUÍDOS

- Podem causar distúrbios do sono, irritabilidade e dificuldade de concentração.
- Exposição crônica pode aumentar riscos de estresse, fadiga e hipertensão (OMS, 2018).
- Mais perceptíveis à noite, quando o ambiente é naturalmente mais silencioso.

IMPACTOS NA SAÚDE HUMANA - SOMBREAMENTO

- O efeito de sombra intermitente pode provocar desconforto visual e irritação.
- Em pessoas sensíveis, pode desencadear dores de cabeça, ansiedade ou mal-estar.





CRITÉRIOS DE RUÍDOS E DISTÂNCIAMENTO MÍNIMOS

- Os critérios adotados pelo IFC – International Finance Corporation e pelas Diretrizes Ambientais, de Saúde e Segurança da Environmental, Health, and Safety Guidelines – EHS, não definem um limite absoluto de ruído, mas adotam como referência que o incremento de ruído gerado pelo empreendimento não deve ultrapassar 3 dB em relação ao nível de ruído de fundo existente na área (background noise), especialmente em zonas residenciais.
- IFC/EHS adota para o Sombreamento, a recomendação europeia, onde mais de 30 horas/ano ou 30 minutos/dia de exposição contínua são considerados limiares de desconforto relevante e devem ser tratados.
- De acordo com a ABNT NBR 10151:2019 (Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - Aplicação de uso geral) são considerados aceitáveis os níveis de pressão sonora do som específico para áreas de residências rurais que não ultrapassem 40dB para período diurno e 35 para noturno.
- Não há uma norma brasileira ou internacional única que defina a distância mínima entre aerogeradores e edificações habitadas. A IFC/EHS recomenda a aplicação de critérios baseados em risco, especialmente associados a ruído e shadow flicker.

Impactos em Parques Eólicos: Sombreamento e Ruídos



CRITÉRIOS DE RUÍDOS E DISTÂNCIAMENTO MÍNIMOS

Muitos países europeus adotam distâncias mínimas entre 400 m e 1.000 m (Dalla Longa, F. et All), dependendo da densidade populacional e porte das turbinas. (Média de 780 Metros)

País	Região	Distância Mínima	País	Região	Distância Mínima
Albânia	Todas	500 m			
Áustria	Niederösterreich	1200 m		Hamburg	500-800 m
	Oberösterreich	800 m		Mecklenburg-Vorpommern	200-1000 m
	Steiermark	1000 m		Nordrhein-Westfalen	400-700 m
	Burgenland	1000 m		Rheinland-Pfalz	400-1000 m
	Vorarlberg, Tyrol, Carinthia, Viena	Salzburg, Não permitido		Saarland	750-1000 m
Bélgica	Flandres	600 m		Sachsen	1000 m
	Valônia	400 m		Sachsen-Anhalt	400-1000 m
	Bruxelas	Não permitido		Schleswig-Holstein	750-800 m
Bósnia Herzegovina	Todas	500 m	Thüringen	700-1000 m	
Bulgária	Todas	500 m	Grécia	Todas	500 m
Croácia	Todas	500 m	Hungria	Todas	1000 m
Chipre	Todas	850 m	Islândia	Todas	500 m
República Tcheca	Todas	500 m	Irlanda	Todas	500 m
Dinamarca	Todas	600 m	Itália	Todas	750 m
Estônia	Todas	1000 m	Kosovo	Todas	500 m
Finlândia	Todas	1000 m	Letônia	Todas	500 m
França	Todas	500 m	Lituânia	Todas	500 m
Alemanha	Baden-Württemberg	1000-1250 m	Luxemburgo	Todas	500 m
	Bayern	1000 m	Malta	Todas	500 m
	Brandenburg, Berlin, Hesse, Niedersachsen	300-1000 m			
			Montenegro	Todas	500 m
			Países Baixos	Todas	400 m
			Noruega	Todas	500 m
			Polônia	Todas	1250 m (10x altura total)
			Portugal	Todas	500 m (com base em regulação de ruído)
			Romênia	Todas	500 m
			Sérvia	Todas	500 m
			Eslováquia	Todas	500 m
			Eslovênia	Todas	500 m
			Espanha	Todas	500-1000 m
			Suécia	Áreas urbanas	1000 m
				Casas isoladas	500 m
			Suíça	Todas	500 m
			Reino Unido	Inglaterra	700-800 m
				País de Gales	500 m
				Irlanda do Norte	500 m
				Escócia	2000 m



CRITÉRIOS DE RUÍDOS E DISTÂNCIAMENTO MÍNIMOS

- A definição mais adequada de distanciamento é aquela baseada em modelagem matemática, que considera a propagação do ruído e do sombreamento em função do relevo, da vegetação, das residências e do regime de ventos, ajustando os afastamentos mínimos de cada aerogerador às condições específicas de cada parque eólico.
- A modelagem matemática da locação dos aerogeradores permite definir os afastamentos de forma ajustada às características de cada equipamento e às condições locais de propagação sonora e luminosa, assegurando que não haja impacto significativo sobre as residências próximas e garantindo o equilíbrio entre a expansão da energia eólica e o bem-estar das comunidades.
- Porém, com a necessidade de se fixar regramento em material técnico (Revisão Res. Conama 462/2014), sugerimos a adoção de distanciamento mínimo com o fator multiplicador de 5 vezes o diâmetro do rotor, em relação a residências e grupamentos humanos, em caso de não realização de modelagem que defina especificamente para cada aerogerador sua distância mínima possível.
- Tal fator implicaria em distâncias entre 685 m e 860 m, considerados os aerogeradores hoje disponíveis no mercado.

“O distanciamento adequado proporciona mitigação para ruídos e efeito de sombreamento”



Impactos em Parques Eólicos: Sombreamento e Ruídos

ESTUDOS E ANÁLISES MULTICRITÉRIO

- Análise do nível de pressão sonora nos receptores relacionados ao **ruído específico**, considerando a modelagem de emissão sonora dos aerogeradores.

Ventos Fracos	Receptor	Ruído específico (dB)	Ruído residual (dB)
	001	26	31
	002	32	35
	003	34	30
	004	38	40

Ventos Fortes	Receptor	Ruído específico (dB)	Ruído residual (dB)
	001	35	36
	002	38	42
	003	42	35
	004	45	46

Velocidade do vento [m/s]	Nível de potência sonora [dB]
2.5	99.1
3.0	99.1
3.5	99.1
4.0	99.1
4.5	99.1
5.0	101.0
5.5	103.1
6.0	105.0
6.5	106.7
7.0	108.3
7.5	109.8
8.0	111.0
Velocidade > 8	111.0

- Matriz da variação da velocidade do vento médio do Projeto a 120m de altura [m/s]

Hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
00:00 - 01:00	12.43	12.45	10.92	10.04	9.33	8.87	9.06	10.18	11.18	12.58	12.83	12.98
01:00 - 02:00	11.88	11.96	10.41	9.80	9.04	8.77	8.81	10.02	10.94	12.25	12.69	12.76
02:00 - 03:00	11.47	10.93	9.67	9.32	8.73	8.47	8.51	9.82	10.67	11.58	12.24	12.65
03:00 - 04:00	11.03	10.15	9.11	8.99	8.46	8.17	8.42	9.57	10.41	11.08	11.64	12.36
04:00 - 05:00	10.41	9.84	8.55	8.67	8.07	8.13	8.26	9.31	10.13	10.55	11.47	11.96
05:00 - 06:00	9.50	9.25	8.15	8.32	7.85	8.22	8.26	9.25	9.77	9.98	10.94	11.49
06:00 - 07:00	8.64	8.60	7.64	7.86	7.45	7.92	8.11	9.05	9.40	9.09	9.86	10.42
07:00 - 08:00	7.78	7.67	6.90	7.14	7.11	7.48	7.88	8.53	8.80	8.36	8.51	9.17
08:00 - 09:00	6.96	6.75	6.39	6.50	6.87	7.48	7.92	8.35	8.27	7.64	7.42	7.96
09:00 - 10:00	6.07	5.77	5.77	5.97	6.63	7.38	7.77	7.96	7.56	6.80	6.46	6.70
10:00 - 11:00	5.51	5.13	5.32	5.43	6.35	7.26	7.33	7.58	7.01	6.22	5.79	5.86
11:00 - 12:00	5.25	4.80	5.08	5.25	6.21	7.15	7.15	7.33	6.58	6.00	5.48	5.45
12:00 - 13:00	5.28	4.72	5.07	5.23	6.14	7.03	7.02	7.15	6.45	5.76	5.34	5.38
13:00 - 14:00	5.32	4.83	5.10	5.29	6.14	7.10	7.09	7.17	6.50	5.81	5.30	5.46
14:00 - 15:00	5.52	5.20	5.27	5.59	6.43	7.25	7.19	7.26	6.68	5.99	5.68	5.55
15:00 - 16:00	5.96	5.48	5.77	5.94	6.57	7.41	7.45	7.51	6.99	6.22	5.93	5.79
16:00 - 17:00	6.28	5.82	6.41	6.44	6.82	7.54	7.69	7.74	7.37	6.76	6.45	6.14
17:00 - 18:00	7.07	6.51	7.13	7.12	7.37	8.11	8.24	8.32	8.17	7.61	7.32	6.80
18:00 - 19:00	8.49	7.82	8.04	8.24	8.53	9.05	9.15	9.54	9.74	9.40	9.05	8.42
19:00 - 20:00	10.21	9.58	9.15	9.30	9.33	9.66	9.68	10.56	11.09	10.99	10.70	10.18
20:00 - 21:00	11.65	10.90	10.17	10.00	9.63	9.74	9.95	11.05	11.46	11.81	11.70	11.46
21:00 - 22:00	12.14	11.89	10.58	10.27	9.74	9.59	10.00	11.02	11.42	12.38	12.33	12.20
22:00 - 23:00	12.51	12.32	10.89	10.35	9.83	9.40	9.79	10.73	11.54	12.69	12.83	12.59
23:00 - 24:00	12.69	12.55	10.96	10.25	9.57	9.06	9.39	10.45	11.43	12.88	12.83	13.06
Mensal	8.75	8.37	7.85	7.80	7.84	8.18	8.34	8.98	9.15	9.18	9.20	9.29

Matriz da variação da emissão de ruído do Projeto [dB]

Hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
00:00 - 01:00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
01:00 - 02:00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
02:00 - 03:00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
03:00 - 04:00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
04:00 - 05:00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
05:00 - 06:00	111.00	111.00	111.00	111.00	110.67	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
06:00 - 07:00	111.00	111.00	110.15	110.69	109.66	110.82	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
07:00 - 08:00	110.50	110.24	107.98	108.73	108.66	109.76	110.72	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
08:00 - 09:00	108.17	107.52	106.34	106.70	107.89	109.74	110.82	111.00	111.00	110.16	109.57	110.91
09:00 - 10:00	105.26	104.17	104.16	104.88	107.13	109.47	110.48	110.92	109.95	107.68	106.57	107.36
10:00 - 11:00	103.14	101.56	102.36	102.80	106.21	109.11	109.31	110.01	108.33	105.78	104.24	104.50
11:00 - 12:00	102.03	100.20	101.31	102.06	105.72	108.76	108.77	109.32	106.95	104.98	103.03	102.89
12:00 - 13:00	102.15	99.93	101.28	101.95	105.50	108.39	108.36	108.77	106.55	104.11	102.42	102.62
13:00 - 14:00	102.35	100.32	101.40	102.22	105.49	108.61	108.57	108.83	106.70	104.32	102.26	102.91
14:00 - 15:00	103.19	101.83	102.14	103.47	106.48	109.08	108.88	109.12	107.27	104.96	103.80	103.29
15:00 - 16:00	104.84	103.03	104.15	104.78	106.93	109.54	109.67	109.82	108.28	105.75	104.74	104.22
16:00 - 17:00	105.97	104.35	106.40	106.51	107.72	109.91	110.29	110.40	109.44	107.53	106.55	105.49
17:00 - 18:00	108.51	106.74	108.70	108.66	109.44	111.00	111.00	111.00	111.00	110.08	109.29	107.67
18:00 - 19:00	111.00	110.60	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
19:00 - 20:00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
20:00 - 21:00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
21:00 - 22:00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
22:00 - 23:00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
23:00 - 24:00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
Mensal	111.00	111.00	110.66	110.55	110.64	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00



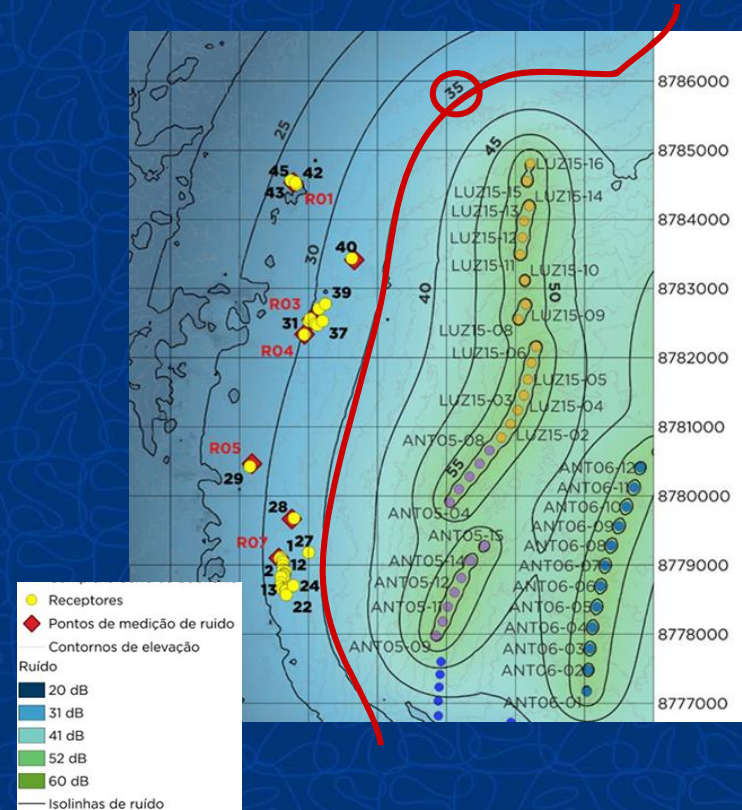
Impactos em Parques Eólicos: Sombreamento e Ruídos

ESTUDOS E ANÁLISES MULTICRITÉRIO

- Análise do **incremento** do nível de pressão sonora gerado pelo empreendimento.

	Receptor	Ruído específico (dB)	Ruído residual (dB)	Ruído total (dB)	Acréscimo (dB)
Ventos Fracos	001	26	31	32	1
	002	32	35	37	2
	003	34	30	35	5
	004	38	40	42	2

	Receptor	Ruído específico (dB)	Ruído residual (dB)	Ruído total (dB)	Acréscimo (dB)
Ventos Fortes	001	35	36	39	3
	002	38	42	43	1
	003	42	35	41	8
	004	45	46	49	3



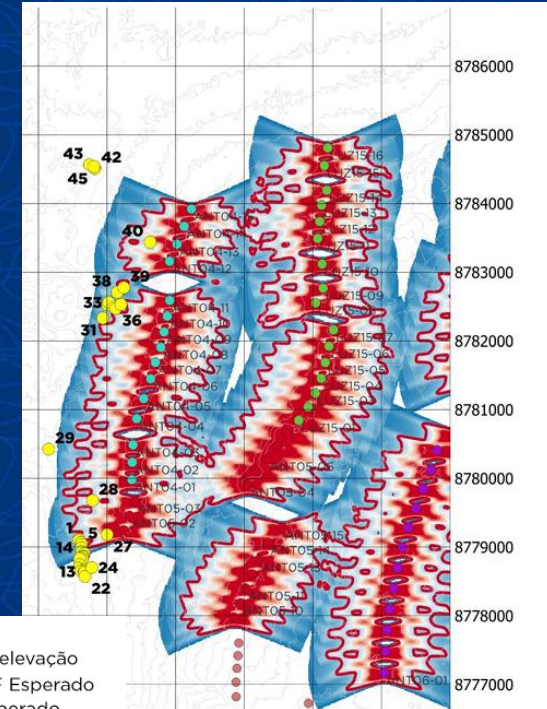


Impactos em Parques Eólicos: Sombreamento e Ruídos

ESTUDOS E ANÁLISES MULTICRITÉRIO

- Análise do **total anual** de horas de **sombreamento intermitente** em cada receptor.
- Alguns fatores afetam a existência do sombreamento:
 - Nos momentos em que o aerogerador não está orientado perpendicularmente ao vetor sol-rotor, há redução tanto na área quanto na duração do sombreamento;
 - O tempo nublado reduz a incidência solar e consequentemente a intensidade do sombreamento.

Receptor	Sombreamento anual (h/ano)
001	126
002	28
003	76





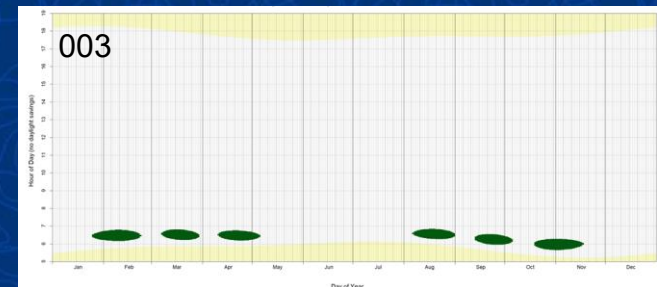
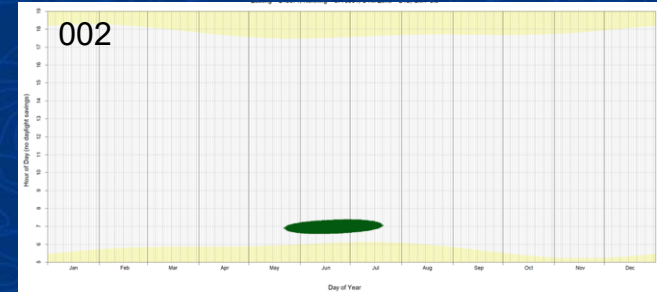
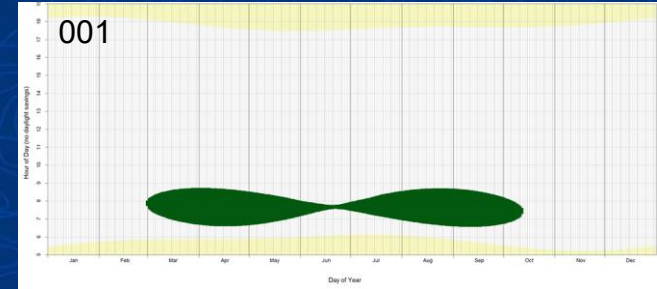
Impactos em Parques Eólicos: Sombreamento e Ruídos

ESTUDOS E ANÁLISES MULTICRITÉRIO

- Análise do total máximo de exposição ao **sombreamento intermitente em um único dia** em cada receptor.

Receptor	Sombreamento anual (h/ano)	Sombreamento diário (min/dia)
001	126	111
002	28	48
003	76	29

Mês	Cobertura média de nuvens	Período de céu limpo
Janeiro	66.93%	33.07%
Fevereiro	69.94%	30.06%
Março	70.05%	29.95%
Abril	65.84%	34.16%
Mai	65.10%	34.90%
Junho	55.76%	44.24%
Julho	46.17%	53.83%
Agosto	42.81%	57.19%
Setembro	32.94%	67.06%
Outubro	42.67%	57.33%
Novembro	60.96%	39.04%
Dezembro	66.34%	33.66%





MEDIDAS DE MITIGAÇÃO - RUÍDOS

Projeto das Pás: Pás com designs aerodinâmicos avançados podem reduzir o ruído aerodinâmico.

Barreiras Acústicas: Em alguns casos, barreiras naturais ou artificiais podem ser usadas para bloquear ou reduzir o ruído.

Isolamento do Gerador: pode ser minimizado por isolamento e tecnologias avançadas nos componentes internos.

Monitoramento e Regulamentação: Medições de ruído e regulamentações locais ajudam a garantir que os níveis de ruído estejam dentro dos limites aceitáveis.

Distanciamento adequado com base em modelagem: Em condições normais, a atenuação do ruído ocorre de acordo com a lei da inversão quadrática, onde a intensidade do som diminui em aproximadamente 6 dB a cada duplicação da distância entre emissor e receptor.

MEDIDAS DE MITIGAÇÃO - SOMBREAMENTO

Software de controle das turbinas: Modelos de turbinas modernos possuem sensores que permitem interromper temporariamente o funcionamento quando a sombra atinge áreas sensíveis.

Planejamento e modelagem da localização das turbinas: Modelar com dados de relevo, residências e intensidade dos ventos contribuem para a melhor adequação da locação dos aerogeradores.

Barreiras naturais ou artificiais: Árvores, vegetação densa ou estruturas físicas podem bloquear a projeção da sombra intermitente.

Distanciamento adequado: Garantir um afastamento superior a 1 km das áreas residenciais reduz significativamente os impactos do efeito estrobo.



Fontes:

- IEC 61400-11:2012 - Wind turbines - Part 11: Acoustic noise measurement techniques (International Electrotechnical Commission)
- McKenna, R., Pfenninger, S., Heinrichs, H., Schmidt, J., Staffell, I., Bauer, C., Gruber, K., Hahmann, A. N., Jansen, M., Klingler, M., Landwehr, N., Larsén, X. G., Lilliestam, J., Pickering, B., Robinius, M., Tröndle, T., Turkovska, O., Wehrle, S., Weinand, J.M., & Wohland, J. (2022). High-resolution largescale onshore wind energy assessments: A review of potential definitions, methodologies and future research needs. *Renewable Energy*, 182, 659-684. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.10.027>
- Dalla Longa, F., Kober, T., Badger, J., Volker, P., Hoyer-Klick, C., Hidalgo, I., Medarac, H., Nijs, W., Poliss, S., Tarvydas, D. and Zucker, A. (2018). Wind potentials for EU and neighbouring countries: Input datasets for the JRC-EU-TIMES Model, EUR 29083 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-79-77811-7. <https://dx.doi.org/10.2760/041705>
- Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2010) - *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application* (2nd ed.).
- RESOLUÇÃO CONAMA N° 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005
- ABNT NBR 10151:2019 – Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas – Aplicação de uso geral
- [IFC - World Bank Group. 2007. General EHS Guidelines: Environmental Noise Management. https://www.ifc.org/en/insights-reports/2000/general-environmental-health-and-safetyguidelines](https://www.ifc.org/en/insights-reports/2000/general-environmental-health-and-safetyguidelines)
- Nota Técnica nº 5/2025/Cenef/CGTef/Dilic – (SEI nº 22601533) - Distanciamento de torres eólicas de assentamentos humanos a ser proposto na revisão da Resolução CONAMA 462/2014 - Documento SEI ([20791405](https://www.sei.gov.br/20791405)).

OBRIGADO.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E DA MUDANÇA DO CLIMA – MMA

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis –
IBAMA - Diretoria de Licenciamento Ambiental

Eduardo Wagner

Eng. Civil Analista Ambiental
Coordenador de Licenciamento Ambiental de Geração Energia
por Fontes Renováveis e Térmicas - COERT/CGTEF/DILIC/IBAMA
e-Mail: coert.sede@ibama.gov.br
Tel.: (61)-3316-1750



MARON AMBIENTAL

Bruna Oliveira

Eng. Ambiental MSc. Eng. Civil
Coordenador de Projetos

e-Mail: bruna@maronconsultoria.com.br
Tel.: (84) 99650-9725



VIEX

