

REVISÃO SISTEMÁTICA DE TÉCNICAS DE REMEDIAÇÃO E MÉTODOS ANALÍTICOS APLICADOS A SOLOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBONETOS DERIVADOS DE VAZAMENTOS DE ÓLEO EM AEROGERADORES DE PARQUES EÓLICOS

Danrley Bosco Santos Silva *

Vanessa Nunes Alves *

Resumo: Os aerogeradores, equipamentos fundamentais para geração de energia renovável através do vento, utilizam diversos tipos de óleos (lubrificantes, hidráulicos e de engrenagem) para seu funcionamento. Em casos de vazamentos, mesmo que pontuais e geralmente restritos à base do equipamento, há risco potencial de contaminação do solo, e consequente impacto ambiental. Este estudo tem como objetivo realizar uma revisão dos métodos analíticos e das técnicas de remediação aplicadas a solos contaminados por óleo proveniente de vazamentos em aerogeradores, avaliando sua eficiência e aplicabilidade. Os estudos selecionados foram publicados entre os anos de 2007 e 2024, e indicam que a aplicação combinada de métodos físicos e biológicos apresenta maior eficiência na remoção de contaminantes. A integração entre a extração direta do solo contaminado, e o uso de métodos biológicos de biorremediação, como *Landfarming* e/ou Biopilha, mostrou-se eficaz devido ao tempo reduzido de tratamento, custo moderado, menor impacto ambiental e a viabilidade logística, considerando a localização dos parques eólicos no Brasil. Essas técnicas se destacam por promoverem a degradação natural dos contaminantes, exigindo apenas a adição de nutrientes e umidade, sem necessidade de equipamentos complexos. Para avaliação da extensão da contaminação e monitoramento da eficácia da remediação, destacam-se as análises de hidrocarbonetos por Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (CG-EM). Conclui-se que o método combinado físico-biológico constitui a alternativa mais eficiente para remediação de solos contaminados por óleo, enquanto a CG-EM se mostra a melhor técnica para o monitoramento contínuo do processo.

Palavras-chave: contaminação do solo; parque eólico; biorremediação

* Instituto de Química – UFCAT: danrleybosco@gmail.com, vanessa.nunes@ufcat.edu.br.

INTRODUÇÃO

Os aerogeradores, também conhecidos como turbinas eólicas, são equipamentos projetados para aproveitar a energia cinética dos ventos, convertendo-a inicialmente em energia mecânica e, posteriormente, em energia elétrica (ROCHA *et al.*, 2023). Essa tecnologia tem se consolidado como uma alternativa limpa e sustentável para a geração de eletricidade, uma vez que, durante sua operação, não há emissão direta de poluentes atmosféricos ou gases de efeito estufa, diferentemente das fontes não renováveis que dependem da queima de combustíveis fósseis (LIMA e OLIVEIRA, 2015; FADIGAS, 2017). Nesse contexto, a energia eólica destaca-se como uma importante estratégia para a diversificação da matriz energética e para a redução dos impactos ambientais associados à produção de energia, contribuindo para o desenvolvimento sustentável.

Embora a energia eólica seja classificada como uma fonte renovável, ela também apresenta algumas limitações e impactos associados às fases de construção e operação dos empreendimentos (FADIGAS, 2017; SANTOS *et al.*, 2024). Esses impactos são significativamente menores quando comparados aos das fontes não renováveis baseadas na queima de combustíveis fósseis (NUNES NETO, 2024). Entre os aspectos desfavoráveis, destaca-se a possibilidade de vazamentos de óleos e fluidos hidráulicos, que podem escoar e contaminar o solo e os recursos hídricos, contribuindo para a poluição ambiental (MIRANDA, 2007).

Para o funcionamento adequado desses equipamentos, é indispensável o uso de óleos e fluidos lubrificantes, hidráulicos e de engrenagem, aplicados principalmente nas caixas de engrenagens e nos sistemas hidráulicos dos aerogeradores (ANTALA, 2020; KLUEBER, 2022). Esses fluidos desempenham papel fundamental na redução do atrito, na dissipação de calor e na garantia da eficiência operacional, mesmo sob condições ambientais adversas (SALES, 2025). No entanto, em determinadas circunstâncias, como falhas mecânicas ou inadequações nos procedimentos de manutenção, incluindo desgaste de componentes, falhas de vedação, deterioração de mangueiras e tubulações, além de outros processos de degradação mecânica, podem ocorrer vazamentos desses fluidos (ARAUJO, 2021). Tais ocorrências configuram uma potencial fonte de contaminação ambiental, com impactos principalmente sobre o solo e os recursos hídricos.

Os vazamentos de óleos e fluidos associados à operação de aerogeradores ocorrem, em geral, de forma pontual e são predominantemente restritos à base e aos solos ao redor das estruturas (BLOOMBERG, 2017; VORTEX, 2024). Essas ocorrências costumam demandar a adoção de protocolos ambientais, que incluem a mitigação imediata da área afetada, a coleta do material contaminado e a remoção do solo contaminado para destinação ambientalmente adequada. Entretanto, o tratamento desses solos, que são enquadrados como resíduos perigosos, envolve custos elevados quando destinados a aterros sanitários licenciados ou submetidos a processos como lavagem ou incineração, o que torna essas alternativas economicamente onerosas e, em muitos casos, pouco viáveis (ANDRADE *et al.*, 2010). Diante desse cenário, a adoção de alternativas voltadas à remediação e ao tratamento dos solos contaminados surge como uma estratégia potencialmente mais viável, capaz de reduzir custos operacionais e, em determinados casos, possibilitar o reaproveitamento do solo tratado, contribuindo para uma gestão ambiental mais eficiente.

Este trabalho tem como objetivo analisar, por meio de uma revisão da literatura científica, as técnicas de remediação e os métodos analíticos aplicados a solos contaminados por hidrocarbonetos decorrentes de vazamentos de óleo em usinas eólicas.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Vazamentos de óleos em Aerogeradores

As turbinas eólicas utilizam para o seu funcionamento diversos tipos de óleos especializados, principalmente óleos minerais ou sintéticos, cuja função é reduzir o atrito entre os componentes mecânicos em movimento, dissipar o calor gerado durante a operação e proteger as engrenagens e rolamentos contra o desgaste (ALVES *et al.*, 2022).

Os vazamentos de óleo em turbinas eólicas caracterizam-se, em geral, como eventos pontuais, associados à perda de integridade dos sistemas de lubrificação e acionamento dos equipamentos (MEDEIROS; REIS, 2022). Essas ocorrências podem estar relacionadas à ausência ou inadequação de práticas de manutenção, a falhas

mecânicas, bem como ao desgaste natural de componentes, como vedações, mangueiras e conexões, ou ainda a inconsistências nos procedimentos operacionais adotados ao longo da vida útil do aerogerador (PROENÇA, 2017).

Figura 1 – Vazamento de óleo de uma turbina eólica



Fonte: Autores (2026).

A contaminação do solo e das águas subterrâneas por óleos provenientes de turbinas eólicas pode ocorrer quando vazamentos não são removidos ou devidamente tratados e mitigados, oferecendo um potencial risco ambiental (FADIGAS, 2017; COSTA, 2024).

Técnicas de Remediação

As técnicas de remediação podem ser empregadas de maneira isolada ou de forma integrada, visando à recuperação de solos contaminados, sendo que a definição da estratégia mais adequada deve levar em consideração diversos fatores, como o tipo de solo, as características hidrogeológicas da área e as particularidades da contaminação, incluindo o tempo de exposição, a natureza do contaminante e sua fase de ocorrência no meio ambiental (SORIANO *et al.*, 2023)

A biorremediação é definida como uma técnica de remediação ambiental que se fundamenta na utilização de microrganismos, tais como bactérias, fungos e cianobactérias, capazes de promover processos de degradação, imobilização ou transformação de contaminantes em substâncias de menor toxicidade, possibilitando a redução ou eliminação das concentrações de substâncias poluentes nos ambientes afetados (BRAUN *et al.*, 2019; HERNANDEZ *et al.*, 2021) Os princípios básicos da biorremediação baseiam-se na redução da solubilidade dos contaminantes

ambientais através da alteração do pH, das reações redox e da adsorção de contaminantes do ambiente poluído (OJUEDERIE *et al.*, 2017).

De acordo com Lacerda, Navoni e Amaral (2019), a biorremediação apresenta diversas vantagens em relação a outras técnicas de remediação, destacando-se o menor custo operacional, a capacidade de promover a degradação de substâncias perigosas em compostos menos tóxicos, em vez de apenas transferir o contaminante entre compartimentos ambientais, além de utilizar agentes que não oferecem riscos significativos ao meio ambiente.

Em contrapartida, a aplicação da biorremediação apresenta algumas limitações, como a necessidade de longos períodos de monitoramento e manutenção da área em tratamento. Além disso, o processo pode se mostrar menos eficiente para resíduos orgânicos fortemente adsorvidos ao solo, o que reduz a biodisponibilidade dos contaminantes aos microrganismos. Outro fator limitante refere-se à dependência do ciclo de vida dos microrganismos utilizados, bem como à influência das condições físicas e químicas do meio, que podem afetar significativamente a taxa de degradação dos poluentes (ANDRADE *et al.*, 2010).

O processo de biorremediação pode ser conduzido por duas abordagens principais: *in situ*, quando o tratamento é realizado diretamente na área contaminada, e *ex situ*, quando o material impactado é removido para tratamento em local distinto (SILVA, *et al.*, 2016).

O *landfarming* consiste em uma técnica de biorremediação que envolve o tratamento do solo por meio de processos mecânicos, nos quais o solo contaminado é revolvido e misturado a material não contaminado, com a adição de nutrientes adequados ao desenvolvimento de bactérias e/ou fungos responsáveis pela degradação dos contaminantes (HERNANDEZ *et al.*, 2021).

O processo de tratamento envolve, ainda, o aporte controlado de nutrientes e a promoção da aeração do material contaminado, atividades que podem ser realizadas de forma manual ou por meio do emprego de maquinário agrícola, de modo a favorecer a atividade microbiana responsável pela degradação dos contaminantes (BARBOSA, 2022).

A biopilha é uma técnica de biorremediação baseada na disposição do material contaminado em montes controlados, nos quais são adicionados nutrientes e

promovida a aeração, com a finalidade de estimular a atividade microbiana nativa e potencializar a biodegradação dos contaminantes (SILVA, *et al.*, 2016).

A aplicação da técnica de biopilha requer a implantação do sistema sobre superfícies impermeabilizadas, com o objetivo de minimizar a percolação de lixiviados e a possível contaminação do meio ambiente. Em determinadas situações, são instalados sistemas de drenagem para a coleta desses efluentes. De modo geral, as pilhas são recobertas com lonas ou materiais plásticos, tanto para evitar a volatilização de contaminantes quanto para protegê-las da ação de fatores climáticos. A eficiência do processo biológico é potencializada por meio do controle da umidade e da suplementação de nutrientes essenciais, como nitrogênio e fósforo, além disso, a instalação de dutos perfurados na base da pilha, interligados a sistemas de insuflação de ar, assegura uma adequada oxigenação do material (SEABRA, 1997; PALA, 2002).

As técnicas de biopilha e *landfarming* são métodos de tratamento *ex situ* aplicados a solos contaminados que apresentam custos inferiores quando comparadas às técnicas tradicionais de remediação e a outras alternativas de destinação do solo impactado (BARBOSA, 2022).

Métodos analíticos para avaliação de solos contaminados

A Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (CG-EM) é uma técnica analítica amplamente utilizada para a identificação e quantificação de compostos orgânicos, especialmente aqueles de natureza volátil e termicamente estável. Essa metodologia resulta da integração entre a cromatografia gasosa, responsável pela separação dos componentes de uma mistura, e a espectrometria de massas, que possibilita a caracterização estrutural e a quantificação dos analitos. A combinação dessas técnicas confere elevada sensibilidade, seletividade e confiabilidade aos resultados, permitindo a análise simultânea de múltiplos compostos em uma única corrida analítica (VÉKEY, 2001; ANDREGHETTI; XAVIER, 2023).

No sistema de cromatografia gasosa, a amostra é introduzida por meio de um dispositivo de injeção, podendo ser apresentada na forma gasosa, líquida ou, em casos específicos, sólida ou semissólida, mediante o uso de um pirolisador (SKOOG *et al.*, 2006). Após a injeção, os compostos são conduzidos por um gás de arraste até a coluna cromatográfica, que se encontra acondicionada em um forno com controle

programado de temperatura (NASCIMENTO *et al.*, 2018). A variação térmica aplicada ao longo da análise promove a separação dos constituintes da amostra com base em suas interações com a fase estacionária, restringindo a aplicação da técnica a substâncias que apresentem volatilidade e estabilidade térmica adequadas (HARRIS, 2012).

Após a separação cromatográfica, os compostos eluídos são direcionados ao espectrômetro de massas, onde ocorre o processo de ionização, ainda nesse estágio, as moléculas neutras são convertidas em íons por meio do bombardeamento com elétrons de alta energia, geralmente em torno de 70 eV, promovendo a fragmentação característica dos analitos (SKOOG *et al.*, 2006). Os íons gerados são então separados em função da razão massa/carga em um analisador do tipo quadrupolo, que utiliza campos elétricos contínuos e de radiofrequência para selecionar os íons que alcançam o detector (SKOOG *et al.*, 2014).

O detector do espectrômetro de massas é responsável por registrar e amplificar os sinais elétricos gerados pelos íons analisados, resultando na formação de espectros de massas característicos para cada composto, os quais funcionam como uma verdadeira “impressão digital” molecular e possibilitam a identificação dos analitos por meio da comparação com bibliotecas espectrais consolidadas, como as disponibilizadas pelo National Institute of Standards and Technology (NIST) (SKOOG *et al.*, 2014; HARRIS, 2018). Além disso, a utilização de padrões analíticos possibilita a construção de curvas de calibração, tornando a CG-EM uma ferramenta robusta tanto para a identificação quanto para a quantificação de contaminantes, sendo amplamente empregada no monitoramento de solos impactados por hidrocarbonetos e outros estudos ambientais (NASCIMENTO *et al.*, 2018).

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho caracteriza-se como um estudo de natureza exploratória, fundamentado em uma revisão sistemática da literatura nacional e internacional. A pesquisa foi desenvolvida por meio de buscas em periódicos científicos indexados no Google Acadêmico, bem como em repositórios digitais de instituições de ensino superior, incluindo IFRN, UFRGS, USP, UFRN, UNESP, UNEB e UFBA, além da consulta a livros técnicos e obras de referência relevantes para a temática abordada.

Foram incluídos nesta revisão estudos com resumos e textos completos disponíveis, redigidos nos idiomas português e inglês, publicados no período de 2007 a 2024, desde que apresentassem aderência à questão norteadora da pesquisa. A delimitação temporal adotada justifica-se pela escassez de trabalhos mais recentes e específicos sobre a temática investigada.

Inicialmente, a busca avançada utilizando as palavras-chave “vazamento de óleo” e “parques eólicos” não resultou na identificação de estudos diretamente relacionados ao objeto deste trabalho. Diante dessa limitação, optou-se por ampliar a estratégia de busca, empregando termos como “técnicas de remediação” e “óleos lubrificantes”, o que possibilitou a seleção de estudos pertinentes e aplicáveis ao contexto de solos contaminados por vazamentos de óleo associados à operação de aerogeradores.

Ao término do processo de seleção e análise, apenas dois artigos atenderam integralmente aos critérios estabelecidos, sendo, portanto, utilizados como base para a presente revisão.

RESULTADOS

Baseado na análise dos estudos, foi possível traçar um percurso sobre os impactos ambientais causados pela implantação de usinas de energia eólica, através da pesquisa feita no portal de periódicos. Vale ressaltar que houve dificuldade em encontrar estudos sobre o assunto devido ser um tema muito específico/restrito a uma área e setor.

Losacco e Brito (2009) avaliaram a aplicação da técnica de *landfarming* na remediação de resíduos de borra oleosa de petróleo, coletados em um aterro sanitário localizado no estado de Alagoas, por meio de simulação em escala laboratorial. Os autores desenvolveram reatores com altura previamente definida, com o objetivo de simular uma camada de solo, conforme ilustrado na Figura 2. No interior desses reatores foi acondicionada a borra oleosa misturada ao solo argiloso, em um sistema dotado de saída e entrada de ar. O sistema foi monitorado de forma contínua ao longo do experimento, sendo realizados ensaios de lixiviação antes e após a aplicação da técnica.

Figura 2 – Reatores utilizados na pesquisa



Fonte: Losacco e Brito (2009)

A avaliação do potencial de lixiviação foi conduzida conforme normas técnicas reconhecidas, incluindo os procedimentos da ABNT NBR 10004:2004 e ABNT NBR 10007:2004, bem como o método TCLP da U.S. EPA, que contempla a determinação do potencial hidrogeniônico (pH) e a mobilidade de contaminantes presentes no resíduo. Para a caracterização da borra oleosa, foram realizadas análises de teor de umidade, sólidos totais e suas frações, com amostras coletadas diretamente dos reatores após os ciclos de aeração, assegurando a representatividade dos dados obtidos.

A efetividade do experimento foi comprovada por meio das análises realizadas pelos autores, que avaliaram a redução do Hidrocarboneto Total de Petróleo (HTP) e a concentração de metais. A quantificação dos HTP foi realizada por cromatografia gasosa, enquanto a determinação dos metais foi conduzida por espectroscopia de absorção atômica, permitindo a verificação da eficiência do processo de remediação aplicado.

Os resultados demonstraram reduções expressivas nas concentrações de contaminantes, com diminuição aproximada de 83% para cromo, 30% para níquel e 69% para zinco, além de uma redução de 58,1% nos hidrocarbonetos totais de petróleo. A redução significativa dos contaminantes está associada à intensificação da atividade microbiana no solo, favorecida pela aeração, controle de umidade e incorporação do resíduo na camada reativa.

No contexto desta revisão sistemática, os resultados apresentados por Losacco e Brito (2009) estão em consonância com outros estudos que destacam o *landfarming* como uma técnica de remediação caracterizada por baixo custo operacional e elevada eficiência na biodegradação de contaminantes. A similaridade entre a composição da borra oleosa utilizada no experimento e os óleos lubrificantes

empregados em aerogeradores confere alta relevância aos achados para o cenário de vazamentos de óleo em parques eólicos. Essa correspondência se explica pela presença de hidrocarbonetos com características semelhantes em ambos os casos, o que indica que os mecanismos de degradação observados no estudo podem ser aplicáveis a solos impactados por vazamentos em turbinas eólicas.

Viotti et al. (2019) avaliaram a eficiência da biorremediação de solos contaminados por óleo lubrificante usado por meio da técnica de biopilha em escala de bancada, considerando diferentes estratégias de tratamento. O estudo contemplou oito condições experimentais, organizadas em duplicata, totalizando 16 biopilhas. Os tratamentos avaliados incluíram: atenuação natural monitorada (C1 e C2), na qual apenas o contaminante foi adicionado ao solo; bioestímulo (BE1 e BE2), com adição exclusiva de nutrientes; bioestímulo associado ao bioaumento (BEA1 e BEA2), com a incorporação de nutrientes e inóculo microbiano; e bioestímulo com bioaumento aliado à adição de material estruturante (E1A, E2B, E2A, E2B, E3A, E3B, E4A, E4B, E5A e E5B), distribuído em diferentes composições.

Para a execução do experimento, foram utilizados aproximadamente 6 kg de solo argiloso contaminado, sendo cada biopilha composta por 500 g de solo. As 16 unidades experimentais foram monitoradas semanalmente quanto à umidade e submetidas à aeração por meio de revolvimento mecânico ao longo de um período de 63 dias. Nos tratamentos aplicáveis, foram adicionados 10% (p/p) de inóculo microbiano e 10% (p/p) de material estruturante, com o objetivo de favorecer a atividade microbiana e otimizar as condições físicas do sistema.

Os resultados demonstraram aumento significativo da população de microrganismos heterotróficos totais em todos os tratamentos, acompanhado por expressiva redução das concentrações de n-alcanos, evidenciando a efetividade do processo de biodegradação dos hidrocarbonetos. O tratamento baseado exclusivamente em bioestímulo apresentou o melhor desempenho, atingindo aproximadamente 96,2% de degradação dos n-alcanos, enquanto a atenuação natural monitorada apresentou a menor eficiência, com cerca de 92,3% de degradação. Esses achados indicam que a adição de nutrientes exerce papel fundamental no incremento da atividade microbiana e na aceleração do processo degradativo.

Dessa forma, os resultados obtidos por Viotti et al. (2019) reforçam a eficiência da biorremediação por bioestímulo como alternativa tecnicamente viável para a

recuperação de solos contaminados por óleo lubrificante. Ademais, considerando a similaridade entre os óleos lubrificantes avaliados e aqueles empregados em aerogeradores, os achados apresentam elevada aplicabilidade ao contexto de vazamentos de óleo em parques eólicos, indicando o potencial de adaptação dessa técnica para áreas impactadas por esse tipo de contaminação.

CONCLUSÕES

A análise dos estudos selecionados evidencia que ainda são escassas as pesquisas direcionadas especificamente aos impactos ambientais associados aos vazamentos de óleos e fluidos provenientes da operação e manutenção de aerogeradores. A maior parte da literatura disponível concentra-se em aspectos socioambientais, especialmente nos efeitos da implantação de parques eólicos.

Embora os vazamentos de óleos e fluidos sejam frequentemente mencionados nos levantamentos e avaliações de impactos ambientais realizados durante a fase de operação de projetos eólicos, observa-se a ausência de estudos aprofundados que abordem de forma específica esse tipo de ocorrência, bem como a carência de pesquisas que avaliem comparativamente a eficiência das técnicas de remediação aplicáveis. Esse cenário evidencia uma lacuna científica relevante, reforçando a necessidade de novos estudos voltados à caracterização desses impactos e ao desenvolvimento de estratégias técnicas mais eficazes para a gestão ambiental e mitigação da contaminação do solo em parques eólicos.

A análise dos estudos revisados evidencia o elevado potencial das técnicas de biorremediação na redução de contaminantes em solos impactados, com destaque para as técnicas de biopilha e landfarming, que se mostraram eficientes, economicamente viáveis e ambientalmente adequadas quando comparadas ao descarte de solos contaminados em aterros sanitários ou à aplicação de convencionais de remediação de maior custo. Os resultados também indicam o potencial de aplicação dessas técnicas na remediação de solos contaminados por vazamentos de óleo em parques eólicos em operação, contribuindo para uma gestão ambiental mais sustentável e alinhada aos princípios da economia e da mitigação de impactos ambientais.

Os trabalhos também ressaltam a relevância da Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (CG-EM) como ferramenta fundamental para o monitoramento e a avaliação da eficiência dos processos de remediação, permitindo a identificação e a quantificação precisa dos hidrocarbonetos presentes no solo.

REFERÊNCIAS

- ALVES, I. F.; MIAGAVA, J.; SANTOS, R. G.; MARCOS, G. P. **Bancada de Testes para Óleo Lubrificante Aditivado com Grafeno: caso baseado em caixa de transmissão de turbina eólica**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Insper Instituto de Ensino e Pesquisa.
- ANDRADE, J. de A; AUGUSTO, F; JARDIM, I.C. S. **Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados**. Eclética Química, Vol. 35, no 3, 2010.
- ANDREGHETTI, S. H. M; XAVIER, C. **Cromatografia em fase gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS)**. 2023. Disponível em: <https://www.iq.unesp.br/#/lacaque/cromatografia-em-fase-gasosa-acoplada-a-espectrometria-de-massas-gc-ms/apresentacao/>. Acesso em 11 jan. 2026.
- ANTALA, **Lubrificantes para turbinas eólicas**. Antala Specialty Chemicals. 2020. Disponível em: <https://www.antala.pt/lubrificantes-turbinas-eolicas/>. Acesso em: 04 jan. de 2026.
- ARAÚJO, G.H. **Manutenção preventiva: aplicação de um plano de manutenção para o redutor do yaw de um aerogerador**. 2021. 46f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Centro Tecnológica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2021.
- BARBOSA, A.C. **Estratégias de Biorremediação de Óleo Diesel Intemperizado por Biopilhas**. 2022. 36 p. Monografia (MBA em MBA em Gestão de Áreas

Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

BLOOMBERG. **Poluição de energia eólica gera dor de cabeça para o México.** 2017. Disponível em: < <https://www.bloomberg.com.br/blog/poluicao-de-energia-eolica-gera-dor-de-cabeca-para-o-mexico/>.> Acesso em 10 jan. 2026.

BRAUN, A.B.; TRENTIN, A.W.S.; VISENTIN, C.; THOMÉ, A. **Biorremediação como alternativa de tratamento de solos contaminados com metais tóxicos.** Revista CIATEC -UPF. Passo Fundo, RS, v. 11, n. 2, p. 73 -87, 2019.

COSTA, L. F. F. S. de A. **Análise de dados e estratégias de mitigação para as principais fontes de acidentes em parques eólicos.** 2024. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Centro de Ciências e Tecnologias Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Paraíba, Brasil, 2024.

FADIGAS, E.A.F. A. Energia Eólica. In: Simões-Moreira, José Roberto (org.). **Energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética,** Rio de Janeiro: LTC, 2017. 393p. cap.8, p.428-512.

HARRIS, D. C. **Análise Química Quantitativa.** 8. ed. Rio de Janeiro: LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora SA, 2012. ISBN 9788521620426.

HARRIS, D. C. **Análise Quantitativa de Harris.** 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2018.

HERNANDEZ, A.R.C.; SIMÕES, F.; BORDIN, J.; BERRETA, M. dos S. R.; BINKOWSKI, P. **Glossário de verbetes em ambiente e sustentabilidade.** 2021.247p. Disponível em: < <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/224169/001128726.pdf?sequence=1&isAllowed#page=63>.> Acesso em 10 jan. 2026.

KLUEBER. **Fatores que influenciam o desempenho dos parques eólicos. 2022.**

Disponível

em:

<

<https://www.klueber.com/br/pt/empresa/novidades/novidades/fatores-que-influenciam-o-desempenho-dos-parques-e%C3%B3licos/>.> Acesso em 10 jan. 2026.

LACERDA, F; NAVONI, J.A, AMARAL, V.S. 2019. **Biorremediação: Educação em saúde e alternativas à poluição ambiental.** Instituto Federal do Rio Grande

do Norte.

82p.

Disponível

em:

<

<https://memoria.ifrn.edu.br/bitstream/handle/1044/1771/A%20biorremedia%C3%A7%C3%A3o.pdf?sequence=5&isAllowed=y>.> Acesso em 10 jan. 2026.

LIMA, C. C.; OLIVEIRA, M. L. de. Energia Eólica: Por uma Revisão Das bases Energéticas e Incentivo a Economia de Baixo Carbono. **Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFSM**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 619–645, 2015. DOI: 10.5902/1981369419748.

Disponível

em:

<https://periodicos.ufsm.br/revistadireito/article/view/19748>. Acesso em: 28 dez. 2025.

LOSACCO, I. W.; BRITO, A. L. F. de. Aplicação da Tecnologia de Landfarming em resíduos de borra oleosa de petróleo. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFCG, 6., 2009, Campina Grande. **Anais [...]**. Campina Grande - PB, 2009. ISSN: 2177-112X.

MEDEIROS, F. C. do N; REIS, R. P. B. dos. **Análise em caixa multiplicadora eólica utilizando o método de inspeção boroscópica.**2022. 10p. Monografia (Engenharia Mecânica) - Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA, Mossoró-RN, 2022.

MIRANDA, A.S. da C.R. **O Papel da AIA NA Melhoria da Qualidade dos Projectos no Caso dos Parques Eólicos. 2007.** 102p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de

Lisboa, Lisboa, 2007. Disponível em:
<<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395137455862/dissertacao.pdf>>.

NASCIMENTO, A. C. A. DE L. DO; BARBOSA, P. G. A.; SILVA, V. P. A. DA.
Cromatografia gasosa: aspectos teóricos e práticos. Imprensa
Universitária, 2018. ISBN 978-85-7485-326-0.

NUNES NETO, F. L. **Programa de incentivo às fontes alternativas de energia elétrica (Proinfra): estudo de caso do complexo eólico de Alegria.** 2024. 73p.
Dissertação (Mestrado – Programa de Mestrado Profissional em Governança e Desenvolvimento) – Escola Nacional de Administração Pública (ENAP), 2024. Brasília.

OJUEDERIE, O. B., BABALOLA, O. O. (2017). **Microbial and Plant-Assisted Bioremediation of Heavy Metal Polluted Environments: A Review.** In International journal of environmental research and public health. <http://doi:10.3390/ijerph14121504>.

PALA, D.M. **Estudo da biorremediação de solo impactado por óleo cru.** 2002. 114p. Dissertação (Mestrado em ciências), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

PROENÇA, A.C.M. **Operação e Manutenção de Turbinas Eólicas.** 2017. 87p. Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

ROCHA, A. V. da; RODRIGUES, L. K. de O.; OLIVEIRA, O. C. de; JACOMINI, R. V. **Fundamentos de energia eólica.** 2023. 116 f. Programa de Educação Tecnológica Profissional (Conteúdo Didático Curricular). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal (RN), 2023.

SALES, R. **Lubrificante industrial: qual sua importância e como escolher o adequado**. 2025. Disponível em: <https://blog.acoplastbrasil.com.br/lubrificante-industrial/>. Acesso em 10 jan. 2026.

SANTOS, A. V. dos; MENEZES, A. de C. S.; TEIXEIRA, A. V. de S; CASTRO, E. R; SOUZA, D. de A. Energia renovável não polui? Estudo sobre a aplicação de análise de redes para a avaliação de impactos ambientais de parques eólicos de cidades baianas.2024. **Revista Educação e Ciências Sociais**, [S. l.], v. 6, n. 11, p. 50–67, 2024. DOI: 10.38090/recs.vol6.n11. a18774. Disponível em: <https://www.revistas.uneb.br/cienciassociais/article/view/18774>. Acesso em: 4 jan. 2026.

SEABRA, P.N.C. **Uso de tensoativos na mobilização e biodegradação de óleo diesel em solos impactados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. 1997.

SILVA, A. S. da; ANDRIZEN, G. de A; MORAIS, H. V. de; ANDRADE, L. de; BERNADINO, L. B.; SANTOS, L. A. dos; MACHADO, M. R; OLIVEIRA, V. V; PAES, M. F. Biorremediação: micro-organismos x resíduos. **Genética na Escola**, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 100–107, 2016. DOI: 10.55838/1980-3540.ge.2016.232. Disponível em: <https://geneticanaescola.com.br/revista/article/view/232>. Acesso em: 11 jan. 2026.

SKOOG, D.; WEST, D. M; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. **Fundamentos de Química Analítica**. 8. ed. São Paulo: Thomson, 2006. 1088 p.

SKOOG, D. A. **Fundamentos de Química Analítica**. 9. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

SORIANO, A. U.; SCHNEIDER, M. R.; BORTOLASSI, A. C. C.; BAESSA, M. P. M.; GIACHINI, A. J. **Remediação de Áreas Contaminadas por Vazamentos de**

Hidrocarbonetos de Petróleo e Biocombustíveis: Protocolo Técnico. 1. ed.

- Rio de Janeiro: Synergia, 2023.

VÉKEY K. **Mass spectrometry and mass-selective detection in chromatography.**

J Chromatogr A. 2001 Jul 6;921(2):227-36.

VIOTTI, M. A. P., COSTA, T. F. da, AMARAL, W. D. M., GODOY DE ANDRADE RODRIGUES, D. C. 2017. **Biorremediação de Solo Contaminado Por Óleo Lubrificante Usado em Biopilha de Bancada.** *Cadernos UniFOA*, 12(34), 5–14. <https://doi.org/10.47385/cadunifoa.v12.n34.440>

VORTEX Engenharia. **Inspeção Visual de Turbinas Eólicas: Identificando Problemas Comuns.** 2024. Disponível em:

<<https://vortexeletrica.com.br/blog/inspecao-visual-de-turbinas-eolicas-identificando-problemas-comuns-manutencao-eolica/#:~:text=Vazamento%20de%20%C3%93leo,imediatamente%20para%20evitar%20danos%20maiores.>> Acesso em 10 jan. 2026.