ENGENHARIA:
A MÁQUINA QUE CONSTRÓI O FUTURO

VOLUME XXIII



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

Plínio Ferreira Pires

Engenharia: a máquina que constrói o futuro

23ª ed.

Piracanjuba-GO
Editora Conhecimento Livre

Copyright© 2026 por Editora Conhecimento Livre

23ª ed.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Pires, Plínio Ferreira
P638E Engenharia: a máquina que constrói o futuro

/ Plínio Ferreira Pires. – Goiâna-GO

Editora Conhecimento Livre, 2026

80 f.: il
DOI: 10.37423/2026.edcl1244
ISBN: 978-65-5367-745-6
Modo de acesso: World Wide Web
Incluir Bibliografia

1. desenvolvimento 2. projeto 3. construção I. Pires, Plínio Ferreira II. Título

CDU: 620

https://doi.org/10.37423/2026.edcl1244

O conteúdo dos artigos e sua correção ortográfica são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

Conselho Editorial

MSc Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior

MSc Humberto Costa

MSc Thays Merçon

MSc Adalberto Zorzo

MSc Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno

PHD Willian Douglas Guilherme

MSc Andrea Carla Agnes e Silva Pinto

Dr. Walmir Fernandes Pereira

MSc Edisio Alves de Aguiar Junior

MSc Rodrigo Sanchotene Silva

MSc Adriano Pereira da Silva

MSc Guilherme Fernando Ribeiro

MSc Fabricio Vieira Cavalcante

PHD Marcus Fernando da Silva Praxedes

MSc Simone Buchignani Maigret

Dr. Adilson Tadeu Basquerote

Dra. Thays Zigante Furlan

MSc Camila Concato

PHD Miguel Adriano Inácio

Dra. Anelisa Mota Gregoleti

PHD Jesus Rodrigues Lemos

MSc Karine Moreira Gomes Sales

Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

MSc Pedro Panhoca da Silva

MSc Helton Rangel Coutinho Junior

MSc Carlos Augusto Zilli

MSc Euvaldo de Sousa Costa Junior

Dra. Suely Lopes de Azevedo

Dr. Francisco Odecio Sales

MSc Ezequiel Martins Ferreira

MSc Eliane Avelina de Azevedo Sampaio

MSc Carlos Eduardo De Oliveira Gontijo

Dr. Rodrigo Couto Santos

Dra. Milena Gaion Malosso

PHD Marcos Pereira Dos Santos

Editora Conhecimento Livre
Goiânia-GO
2026

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 5
O USO DE AGROTÓXICOS NO BRASIL
Mayane Prado de Oliveira
Claudinéia Aparecida Queli Geraldi
Sumaya Ferreira Guedes
Cesar Vinicius Toniciolli Rigueto
Raquel Aparecida Loss
Anny Beatriz Santana e Silva
Túlio Klassen
DOI 10.37423/260110639

CAPÍTULO 2 36
AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DA BASE DE UM AEROGERADOR OFFSHORE DE 10 MW PARA OPERAÇÃO NA COSTA MARÍTIMA DO RIO GRANDE DO NORTE/BRASIL
Jéssica Chayanne de Carvalho Silva das Neves
Elierton Evangelista das Neves
Cleiton Rubens Formiga Barbosa
Cleiton Rubens Formiga Barbosa Júnior
Edilson Marinho da Silva Júnior
DOI 10.37423/260110643

CAPÍTULO 3 49
MODELAGEM MATEMÁTICA E ANÁLISE COMPUTACIONAL DA CINEMÁTICA DIRETA EM MANIPULADORES RRR DE TRÊS GRAUS DE LIBERDADE
Flavia Macedo Pontim
João Matheus Simm de Oliveira
Reginaldo Ferreira de Sousa Barbosa
Flávio Luiz Rossini
DOI 10.37423/260110651

CAPÍTULO 4 58
ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DE PLANTAS AUTÔNOMAS DE DESSALINIZAÇÃO POR OSMOSE REVERSA
Cleiton Rubens Formiga Barbosa Júnior
Cleiton Rubens Formiga Barbosa
Wertson da Silva Resende
Jéssica Chayanne de Carvalho Silva das Neves
Elierton Evangelista das Neves
Edilson Marinho da Silva Júnior
DOI 10.37423/260110657

CAPÍTULO 5 68
EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA E PERSPECTIVAS FUTURAS DE PAINEIS FOTOVOLTAICOS COM RESFRIAMENTO POR NANOFLUIDOS TÉRMICOS
Cleiton Rubens Formiga Barbosa Júnior
Cleiton Rubens Formiga Barbosa
Jéssica Chayanne de Carvalho Silva das Neves
Elierton Evangelista das Neves
Wertson da Silva Resende
Edilson Marinho da Silva Júnior
DOI 10.37423/260110658

SUMÁRIO

Capítulo 1

10.37423/260110639

O USO DE AGROTÓXICOS NO BRASIL

Mayane Prado de Oliveira — *Universidade do Estado de Mato Grosso*

Claudinéia Aparecida Queli Geraldi — *Universidade do Estado de Mato Grosso*

Sumaya Ferreira Guedes — *Universidade do Estado de Mato Grosso*

Cesar Vinicius Toniciolli Rigueto — *Universidade Estadual do Rio Grande do Sul*

Raquel Aparecida Loss — *Universidade do Estado de Mato Grosso*

Anny Beatriz Santana e Silva — *Anny Beatriz Santana e Silva*

Túlio Klassen — *Escola Cenecista Hilda Strenger Ribeiro*

RESUMO

Ao longo dos anos o Brasil se tornou um dos maiores produtores e exportadores agrícolas do mundo. Em paralelo, houve um aumento expressivo no uso de agrotóxicos, que atuam diretamente no controle de pragas e doenças, para aumento da produtividade na colheita, assim como, o aumento do uso de fertilizantes químicos. Nesse contexto, há grande preocupação em relação a saúde humana, fauna e flora, já que os insumos podem passar por diferentes processos químicos e migrar por vários compartimentos ambientais. Nesse contexto, este artigo aborda uma revisão de literatura acerca de estudos que tem reportado a presença de agrotóxicos em diversos compartimentos ambientais como água (superficiais e de irrigação), solo e alimentos, sendo apresentados estudos de diferentes autores, realizados em diferentes estados do Brasil. Na matriz água, a contaminação podem ser oriundas tanto de atividade agrícolas, quanto de resíduos urbanas e industriais, por conta da carência de infraestrutura de abastecimento ou por conta de tratamentos instáveis. No solo, as partículas contaminantes podem prosseguir por diferentes meios ao atingi-lo, como permanecer no solo ou na solução do solo, ou ainda, dependendo do resíduo é possível que sejam removidas da área. Na matriz de alimentos, foram citados análises realizadas sobre várias fontes de alimentares, desde de carnes, ovos, frutas, hortaliças, até leites e mel, que podem ter sido contaminados de forma direta ou ainda indireta, o mesmo pode ser relatado a alimentos orgânicos que apresente grau de contaminação. As concentrações detectadas são relatadas para cada matrizes estudadas, os seus Limites Máximos de Resíduos (LMR) são apresentados conforme o estabelecido pelas legislações vigentes, e os valores de Ingestão Diária Estimada (IDA) ou Ingestão Diária Aceitável (IDA) são mencionados. Bem como, também serão apontados os efeitos nocivos que podem acarretados a saúde, pela exposição indevida a estes agroquímicos. De forma geral, observou-se que os DDT's e seus metabólitos foram reportados em concentrações além LMR, seguido pela atrazina, descumprindo com a quantidade estabelecida pela legislação. Em relação às estimativas de ingestão, há maior preocupação com as crianças por serem mais vulneráveis a esta exposição, em virtude do baixo peso corporal quando comparada a adultos. Por fim, são necessários estudos que considerem o efeito acumulativo para melhor avaliar os diferentes componentes químicos na dieta humana e os potenciais efeitos adversos a saúde da população. Com perspectivas de incrementar cada vez mais, as técnicas de detecção e quantificação, para o monitoramento destes agroquímicos.

Palavras-chave: Agrotóxicos. Água. Alimentos. Brasil. Solo.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil tem um dos maiores setores agrícolas do mundo, com produção total superior a 238 milhões de toneladas por ano, sendo atualmente, o segundo maior exportador de produtos agrícolas do mundo. O aumento da produção agrícola tem sido alcançado de duas formas, tanto através mudanças no uso da terra, quanto por meio do aumento na quantidade e variedade de insumos como fertilizantes químicos e pesticidas usados em diversas culturas, a fim de garantir a máxima produtividade, além da proteção contra doenças e pragas (GUARDA et al., 2020; NOVOTNY et al., 2020; DELLA-FLORA et al., 2019).

Atualmente, o Brasil é o maior consumidor mundial de agrotóxicos, respondendo por aproximadamente 20% do total do uso global (FIGUEIRÊDO et al., 2020; SOUZA et al., 2020). Além disso, o Brasil é considerado um dos maiores importadores de agrotóxicos, sendo permitido a utilização de quinze agrotóxicos que na União Europeia são proibidos. Para se ter uma ideia, somente no ano de 2021 foi permitida a liberação de mais de 400 defensivos agrícolas por parte do governo, sendo que destes, 273 produtos podem ser prontamente utilizados nas lavouras e outros 138 são princípios ativos usados na fabricação de pesticidas (G1, 2021; LAGE et al., 2019).

Entretanto, o uso intensivo destes defensivos agrícolas representa um grande perigo para toda a diversidade biológica existente, além de riscos à saúde da população, uma vez que estes insumos migram para diferentes compartimentos e sofrem vários processos físicos, químicos e biológicos que definem suas disponibilizações e o seu destino no meio ambiente (GUARDA et al., 2020; SOUZA et al., 2020; SOUZA et al., 2019; PETTER et al., 2017).

Atualmente, diversos estudos têm relatado contaminação dos recursos hídricos (BARROS et al., 2019; MONTAGNER et al., 2019; VIEIRA et al., 2017), de animais aquáticos (VIERA et al., 2019; MARTINS; COSTA; BIACHINI, 2020), alimentos (PEREIRA et al., 2019; PAZ et al., 2016; ARAÚJO et al., 2015) e solo (MESQUITA et al., 2017; MENDES et al., 2017; CASTANHO et al., 2016), devido ao uso de insumos agrícolas de forma incorreta ou acima dos limites máximos estabelecidos por legislação.

De modo geral, a contaminação dos solos, geralmente, é decorrente do uso excessivo de agrotóxicos, que podem vir a ser lixiviados, contribuindo negativamente para a contaminação dos recursos hídricos. Segundo Galvão et al. (2012) a contaminação dos peixes pode ocorrer tanto pela criação em águas poluídas ou ainda pela dieta adquirida, levando à bioacumulação destes compostos nos tecidos dos organismos.

Segundo Tang e Maggi (2021) o Brasil é um dos principais focos de contaminação por pesticidas, juntamente com Argentina, Chile, China, Malásia e Japão. Tais fatos alertam que a saúde da população está exposta a um grande risco, por conta da toxicidade dos agrotóxicos, bem como pelo fato de alguns compostos apresentarem maior bioacumulação à medida que avançam na cadeia alimentar (GUARDA et al., 2020; SANTOS et al., 2020; BOTARO et al., 2011). Alguns dos problemas desenvolvidos na saúde pública decorrentes da exposição a agrotóxicos são o desenvolvimento de distúrbios reprodutivos, problemas endócrinos, neurotoxicidade, aneuploidia e carcinogenicidade (LAGE et al., 2019; MORETTO et al., 2017).

Nesse contexto, é de extrema relevância o desenvolvimento de técnicas que possibilitem determinar e quantificar agrotóxicos em diversas matrizes, tendo em mente seu impacto sobre o meio ambiente e a sociedade, em particular em regiões onde a economia é baseada principalmente na agricultura. Essas ferramentas além de auxiliar a traçar estratégias de manejo mais sustentável, ajudam a compreender melhor o comportamento e a interação dos agrotóxicos em diversas matrizes ambientais (TANG; MAGGI, 2021; SILVA et al., 2019; MARCATO et al., 2017).

O objetivo deste estudo foi realizar uma análise bibliométrica e revisão de literatura atual sobre a detecção de pesticidas em diferentes matrizes ambientais no Brasil, bem como os potenciais riscos à saúde humana.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os artigos utilizados para a fundamentação teórica desta revisão foram encontrados pela inserção dos termos “PESTICES” AND “BRAZIL” na base Scopus, entre título, resumo e palavra-chave. O período da pesquisa foi de 2010 a setembro de 2021.

Os resultados das buscas preliminares do Scopus foram analisados para eliminar artigos com conteúdo sobreposto, recategorizar determinados artigos para o método considerado mais adequado com base em seu conteúdo e, mais importante, excluir artigos que não se enquadravam no escopo deste artigo

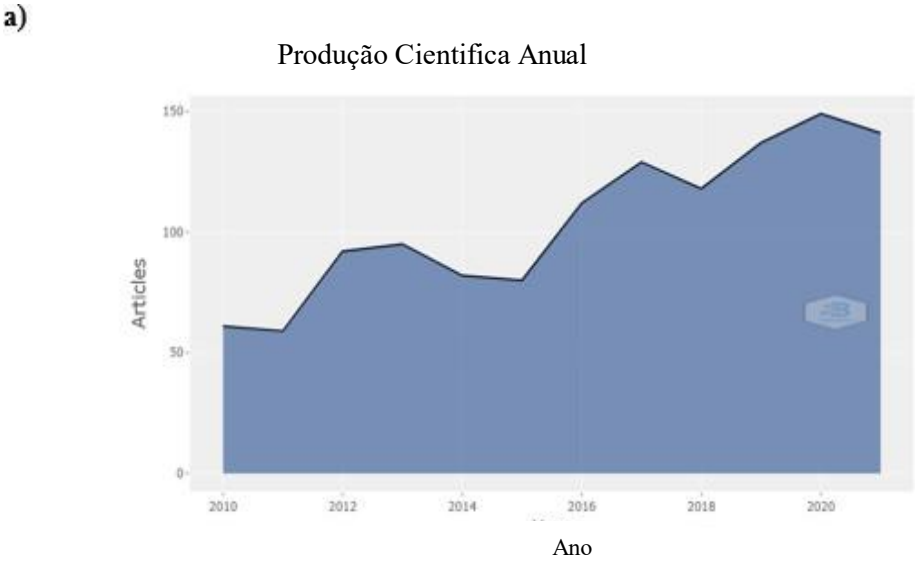
A partir dos levantamentos e da análise de conteúdo, os artigos selecionados foram explorados pelos autores principalmente utilizando a ferramenta “Bibliometrix” do software RStudio® versão 7.6, como forma de sistematizar o estado da arte e tecer discussões que gerem novos conhecimentos sobre a presença de agrotóxicos em diferentes compartimentos ambientais brasileiros.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise bibliométrica

De acordo com a análise bibliométrica realizada, nota-se que há um interesse crescente pelo tema de agrotóxicos no Brasil, com crescimento acentuado a partir de 2015 e o maior pico de publicação em 2020 e taxa de crescimento anual de 7,91% (Figura 1a). Como esperado, o Brasil é o país que mais publica artigos sobre o tema, seguido pelos EUA, Alemanha, Portugal e Espanha, o que sugere parcerias de pesquisa entre esses países e o Brasil (Figura 1b). Ainda, de acordo com a Figura 1c, as universidades pioneiras em publicações sobre o tema abordado nesta revisão são: Universidade de São Paulo (USP), Universidade Federal de Viçosa (UFV), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), mostrando que as instituições de ensino que mais estudam a presença de agrotóxicos no meio ambiente e nos alimentos, concentram-se majoritariamente na região sul e sudeste do Brasil.

Figura 1 - a) Produção científica global anual; b) Produção científica por país; c) Universidades que mais publicam sobre o tema desta revisão; d) Nuvem de palavras com as 100 palavras mais citadas nos resumos dos artigos analisados



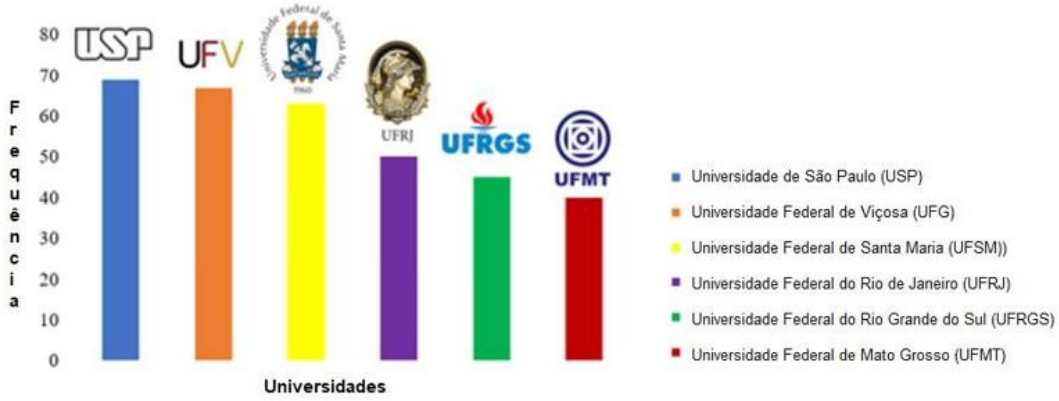
b)

Produção·Científica·do·País¶



Países	Frequência
Brasil	3013
USA	140
Alemanha	44
Portugal	42
Espanha	41

c)



d)



Fonte: RStudio – Bibliometrix

Na nuvem de palavras gerada com as 100 palavras mais citadas nos resumos dos artigos (Figura 1d), as palavras circuladas em amarelo ("environment", "soil", "water", "river","fish", "food" and "soybean") indicam os principais compartimentos ambientais que os agrotóxicos foram detectados no Brasil e relatados em estudos, também, as palavras circuladas em vermelho ("human",

"concentrations", "residue", "exposure", "levels", "population", "toxicity", "health" and "risks") sugerem a realização de estudos que abordem os riscos da exposição a agrotóxicos à saúde da população brasileira.

Nas seções a seguir, será apresentada a detecção de agrotóxicos no Brasil em diferentes compartimentos ambientais e em alimentos.

3.2 Detecção de agrotóxicos em compartimentos ambientais

3.2.1 Água

Por se tratar de um recurso natural extremamente importante para a saúde humana, e para a sobrevivência de todos os seres vivos, é fundamental que a água esteja disponível para diversas finalidades e boa qualidade, no entanto, nem toda a população tem acesso a água potável, resultando na exposição à contaminantes químicos presentes recursos hídricos sem tratamento prévio (GUARDA et al., 2020; CARMO et al., 2020).

Os grandes sistemas hídricos são frequentemente usados para transporte, irrigação, recreação, pesca e abastecimento de água potável. Porém, verificou-se um considerável aumento do uso de águas subterrâneas como fonte alternativa de água potável, principalmente em regiões onde há escassez e degradação dos recursos hídricos superficiais causados pela ação antrópica (GONÇALVES et al., 2020; SILVA; ALMEIDA; PERON, 2020; DELLA-FLORA et al., 2019).

Estes problemas relacionados às águas superficiais e subterrâneas, podem ser explicados pela falta de gerenciamento adequado de águas residuais urbanas e industriais ou atividades agrícolas, assim como pela ausência infraestrutura de abastecimento e tratamento estáveis, afetando assim a qualidade da água potável (CARMO et al., 2020; PORTAL et al., 2019).

Segundo Almeida et al. (2019), os tratamentos convencionais de água e esgoto, geralmente não eliminam completamente determinadas substâncias complexas, como os pesticidas, por esse motivo, resquícios desses contaminantes podem chegar até a população. Para famílias rurais a preocupação é ainda maior, já que podem consumir a água sem tratamento/controle de qualidade adequado, oriundas de fontes naturais como minas ou poços.

Logo, o monitoramento da qualidade da água é importante para garantir sua utilização em seus múltiplos usos urbanos e rurais. Na Tabela 1, são apresentadas as concentrações reportadas de pesticidas detectados em matrizes aquosas em estudos recentes realizados no Brasil.

Tabela 1 - Detecção de pesticidas em matrizes aquosas.

Local do estudo	Quantidade de amostras	Pesticida	Concentração reportada (µg/L - média ou intervalo)	VMP (µg/L)	Referência
Lago Guaíba (Porto Alegre/RS)	35	Simazina	0,00906 a 0,20998	2	Perin et al. (2021)
		Atrazina	<0,001 a 0,232	2	
		Bifentrina	<0,015 a 0,0487	–	
		Carbendazim	<0,001 a 0,0701	120	
		Carbofurano	0,00425 a 0,00454	7	
		Ciproconazol	<0,001 a 0,429	30	
		DDD	<0,015 a 0,0428	1	
		DDT	0,0484 a 0,25	1	
		Diuron	0,001 a 0,00418	20	
		Epoxiconazol	<0,015 a 0,0509	60	
		Imazetapir	<0,001 a 0,578	–	
		Imidacloprid	0,031 a 0,544	–	
		Metilo tiofanato	0,0159 a 0,132	–	
		Metolacloro	<0,015 a 0,138	10	
		Tebuconazol	<0,001 a 0,0891	180	
		Tiametoxam	0,0184 a 0,0311	36	
		Triciclazol	0,0021 a 0,187	–	
		Hidrazina maleico	<0,012 a 0,0824	–	
Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí (Cachoeira do Sul/RS)	32	Atrazina	<0,02 a 0,56	2	Marins et al. (2021)
		Bentazona	<0,04 a 0,59	300	
		Quinclorac	0,22 a 0,5	–	
		Simazina	<0,02 a 0,051	2	
		Azinfos-etill	<0,02	–	
		Carbari	<0,02	0,02	
		Carbofurano	0,03 a <0,04	7	
		Fipronil	0,04 a 0,067	1,2	
		Imidacloprid	<0,02 a <0,13	–	
		Propoxur	<0,02 a 0,039	–	
		Triclorfon	<0,02 a 1,23	–	
		Azoxistrobina	0,02 a 0,024	–	
		Diclofluanida	0,061	–	
		Epoxiconazol	0,074	60	
		Flutolanil	<0,02	-	
		Metalaxil	<0,02	-	
		Propiconazol	0,074	3	
		Tebuconazol	<0,04 a <0,13	180	
		Tetraconazol	0,06 a 0,15	–	
		Trifloxistrobina	<0,04 a 0,061	–	

Água doce coletadas na Zona rural da região da Baía de Todos os Santos e água do mar na cidade de salvador (Salvador/BA).	7	Molinato	0,00111	6	Nascimento, Rocha e Andrade (2021)
		Atrazina	0,0174	2	
		Lambda-cialotrina	0,0472	–	
		Dimetoate de acaricídio	0,02 (<LOD) a 0,12	1,2	
		Malathion organofosforado	0,0133 (<LOD) a 0,0857	–	
Rio Uruguai (Itaqui/RS)	56	Byspiribac-sódio	0,22	–	Gonçalves et al. (2020)
		Imidacloprid	0,07	–	
		Quinclorac	0,59	–	
		Simazina	0,07	2	
		Malathion	0,21	0,01	
		Propoxur	0,85; 0,26 e 0,13	–	
Água de estação de tratamento de esgoto (Brasília/DF).	160	α-BHC	ND	–	Carvalho et al. (2020)
		p,p'-DDE		1	
		δ-BHC		–	
		Dieldrin		0,03	
		p,p'-DDT		1	
		Endosulfan I		20	
		Endosulfan sulfato		–	
		Heptacloro		0,03	
		Heptacloro epóxido (isomer B)		0,03	
		Metoxicloro		20	
Rio Formoso (Formoso do Araguaia/TO)	28	Clomazone	0,149 a 0,538	–	Guarda et al. (2020)
		Fuazifop-p-buty	0,020		
		Flutolanil	0,020		
		Metsulfuron-metil	0,040		
		Propanil	0,020		
		Imidacloprid	0,040 a 0,065		
Rios, poços rasos e um reservatório hidrelétrico (Santarém/PA)	58	Glifosato	1,5 a 9,7	500	Pires et al. (2020)
		AMPA	0,65 a 1,9	500	
		Glufosinato	ND	–	
Microbacias da Bacia hidrográfica do Paraná 3 (Paraná/PR).	124	Glifosato	350 a 1650	500	Mendonça et al. (2020)
		AMPA	550 a 750	500	
Rios e córregos	22	Acefato	ND	7	

(Ouro Branco/MG)		Difenoconazol	0,01253 a 0,09476	30	Barros et al. (2019)
		Fenamidona	ND	–	
		Fluazifo	ND	–	
		Fluazinam	ND	–	
		metamidofós	ND	7	
		Tiametoxam	ND	36	
Estação de tratamento de água (Londrina/PR).	24	Atrazina	0,216 e 0,145	2	Souza et al. (2019)
		Azoxistrobina	0,027 e 0,023	–	
		Carbendazim	0,018 e 0,086	120	
		Imidacloprid	0,027 e 0,036	–	
		Diuron	0,024 e 0,0076	20	
		Hexazinon	0,023	–	
		Simazina	0,023	2	
		Tebuconazol	0,027	180	
		Tebutiuron	0,019	–	
Bacia do rio São Francisco (MG)	40	4.4-DDE	0,19 a 0,49	1	Valenzuela, Menezes e Cardeal (2019)
		Propazina	0,06 a 0,43	–	
		4.4-DDD	0,08 a 2,88	1	
		Atrazina	0,96 a 10,72	2	
		Diazinon	0,13 a 0,29	–	
		Oxifluorfen	0,44 a 16,8	–	
		δ-BHC	0,64 a 1,65	–	
		Triazofos	0,32 a 0,92	–	
		Alaclor	0,37 a 4,88	20	
		Hexaconazol	3,09 a 11,43	–	
		Lindano	0,97	2	
		Pirimifos M.	0,10	–	
		Procimidona	2,09	–	
		Fenthion	2,54	–	
		Napropamida	1,14	–	
		Dieldrin	0,54	0,03	
		Kresoxim M.	2,21	–	
		Carfentrazone	1,49	–	
Poços rasos no assentamento Zumbi dos Palmares (Campos dos Goytacazes e São Francisco do Itabapoana/RJ)	12	Atrazina	0,07 a 50	2	Portal et al. (2019)
		Carbaril	0,361 a 50	–	
		Hexazinona	0,177 a 50	–	
		Metil paration	0,4 a 50	–	
Rios do Estado de São Paulo (Campinas, Espírito Santo do Pinhal, Itatiba, Ribeirão Preto, São	708	Ametrina	0,017	60	Montagner et al. (2019)
		Atrazina	0,0033 e 0,036	2	
		Azoxistrobina	0,028 e 0,001	–	
		Bromacil	0,027 e 0,0007	–	
		Carbendazim	0,158 e 0,009	120	
		Clomazona	0,010 e 0,028	–	
		Difenoconazol	0,014 e 0,002	30	
		Epoxiconazol	0,008 e 0,024	60	

Paulo, Limeira, Santa Bárbara D'Oeste, Rio Claro e Piracicaba/ SP).		Fipronil	0,01 e 0,005	1,2	
		Flunquinconazol	0,017 e 0,012	–	
		Imidacloprid	0,013 e 0,011	–	
		Malathion	0,026 e 0,023	–	
		Picoxistrobina	0,013	–	
		Piraclostrobina	0,003	–	
		Simazina	0,009 e 0,01	2	
		Tebuconazol	0,039 e 0,01	180	
		Trifloxistrobina	0,004	–	
Nascente do Rio São Lourenço (São Lourenço/MT)	39	Acetamiprid	<0,02	–	Berton, Brugnera e Dores (2018)
		Carbendazim	<0,02	120	
		Carbofurano	<0,20	7	
		Diuron	<0,02	20	
		Imidacloprid	<0,02	–	
		Malathion	<0,03	–	
		Metolacloro	<0,02	10	
		Trifluralina	<0,08	20	
Rios (Nova Prata do Iguaçu, Salto do Lontra, Ampére, Santa Isabel do Oeste e Planalto/RS)	20	Atrazina	0,004 a 1,0	2	Vieira et al. (2017)
		Epoxiconazol	0,040 a 0,04	60	
		Fipronil	0,0008 a 0,04	1,2	
		Iprodione	0,040 a 0,07	–	
		Malathion	0,004 a 0,05	60	
		Penoxsulam	0,040 a 0,1	–	
		Simazina	0,004 a 0,06	2	
		Tebuconazol	0,040 a 0,10	180	

ND= Não detectado; LOQ= Limite de Quantificação; LOD= Limite de detecção; VMP= Valor Máximo Permitido; (–) VMP não estimulada ou não encontrada.

Caso os pesticidas cheguem aos corpos hídricos, a sua concentração pode vir ser reduzida por conta de processos como sorção em sedimentos e degradação química e/ou biológica, do mesmo modo que podem aumentar através da bioacumulação (NASCIMENTO; ROCHA; ANDRADE, 2021; GUARDA et al., 2020).

A concentração dos agrotóxicos no sistema aquoso também é influenciada pela mobilidade do resíduo, solubilidade da água e a persistência dele neste compartimento ambiental, e ambos auxiliam a entender a probabilidade de um pesticida atingir corpos d'água e compreender o comportamento de diversas substâncias nos diferentes compartimentos ambientais (GUARDA et al., 2020).

Guarda et al. (2020) ainda mencionam que mesmo não podendo ser identificado os resíduos de pesticidas, não significa que não estejam presentes nas amostras, mas que podem estar presentes em concentrações abaixo do limite de quantificação estabelecido pelo método utilizado na análise.

3.2.2 Solo

Os pesticidas também podem ocasionar um estresse considerável na saúde do solo, afetando sua biota, que é a responsável pela manutenção de suas funções e da microfauna do solo, como as bactérias oxidantes de amônia e archeas e das minhocas (TANG; MAGGI, 2021; ROSA; MARQUES, 2011).

Segundo Arantes et al. (2012) e Rosa e Marques (2011), ao atingir o solo, as moléculas de pesticidas podem ser retidas na fase sólida ou permanecer na solução do solo, podendo deixar a área de aplicação por meio da volatilização, lixiviação, escoamento superficial, ou "runoff", que é a absorção dos pesticidas pelas plantas e remoção através de outros organismos.

Com relação às amostras de solo, a maioria dos artigos analisados estudou a reação dos resíduos de agrotóxicos em animais não-alvo, como a minhoca, ou em um determinado solo exposto a uma certa quantidade de agrotóxico a fim de avaliar suas "respostas", teor de infiltração e/ou escoamento, por exemplo. Outros trabalhos ainda analisaram o percentual dos resíduos que ficaram retidos em culturas de cobertura. Dessa forma, os estudos que entraram no escopo desta revisão relacionados à detecção de pesticidas no solo, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Detecção de pesticidas nos solos

Local do estudo	Quantidade de amostras	Pesticida	Concentração reportada (mg/kg - média ou intervalo)	LMR (mg/kg)	Referência
Caieiras/SP	15	α-HCH	<LOQ (0,0126) a 3690	0,02	Varca et al. (2020)
		β-HCH	<LOQ (0,012) a 970	0,1	
		γ-HCH	<LOQ (0,0116) a 1,61	0,07	
		δ-HCH	<LOQ (0,0116) a 76,8	–	
As margens do Rio Formoso/TO	28	Carbário	ND	–	Guarda et al. (2020).
		Carbofuran		0,7	
		Clorprofame		–	
		Metomíl		–	
		Propoxur		–	
		Molinato		–	
		Tiobencarbe		–	
Belém/PA	11	pp'-DDT	2,43 a 289,58	2	Rodrigues et al. (2017)
		pp'-DDE	1,53 a 76,72	1	
		pp'-DDD	0,71 a 29,11	3	
		op'-DDT	0,76 a 37,70	2	
		op'-DDE	0,42 a 10,93	1	
		op'-DDD	0,2 a 3,80	3	

Fonte: Autores (2023)

ND= Não detectado; LOQ= Limite de quantificação; LOD= Limite de Detecção; LMR= Limite Máximo de Resíduo; (–) VMP não estimulada ou não encontrada.

Segundo Varca et al. (2020), vários métodos analíticos para a determinação de agrotóxicos são utilizados para avaliar diferentes tipos de matrizes, porém, para a comparação de resultados, principalmente em solos, é bem mais complexa a análise, tendo em mente que a resposta dos métodos está diretamente ligada ao efeito matricial. Além disso, como cada solo apresenta variações em suas propriedades (como o pH, a granulometria, textura e o conteúdo orgânico) devido à natureza da sua matriz, há um impacto direto na quantificação do analito, sendo fundamental realizar a caracterização do solo para compreender as interações entre a matriz e o contaminante (VARCA et al., 2020).

3.2.3 Alimentos

Apesar dos pesticidas serem frequentemente empregados nas lavouras agrícolas, para aumento da produtividade em virtude da proteção das culturas contra pragas, fungos, insetos e bactérias, estudos têm detectado a presença de resíduos químicos em alimentos, em alguns casos, em níveis que excedem os valores permitidos do Limite Máximo de Resíduos (LMR), estabelecidos pelo Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), o que ocasiona uma grande preocupação com a segurança dos alimentos e a saúde dos consumidores (STRINGHINI et al., 2021; PINHEIRO et al., 2020; JARDIM et al., 2018; ARAÚJO et al., 2015).

Este fato pode estar associado ao uso inadequado dos resíduos, seja pela técnica de aplicação, pelo uso de doses acima da recomendada por cada fabricante, uso de agrotóxicos restritos no Brasil, ou ainda por conta das características químicas particulares dos ingredientes ativos desses agrotóxicos (FREITAS et al., 2021; STRINGHINI et al., 2021; PINHEIRO et al., 2020; SANTOS et al., 2015).

Neste estudo é mostrada a presença de várias classes de contaminantes em frutas (NAKANO et al., 2016; PAZ et al., 2016; KEMMERICH et al., 2014), hortaliças (ARAÚJO et al., 2015), mel (PINHEIRO et al., 2020), carnes (DALLEGRAVE et al., 2018), peixes (MARTINS; COSTA; BIACHINI, 2020; VIERA et al., 2019), ovos (PEREIRA et al., 2019;

DALLEGRAVE et al., 2018) e leite bovino (SANTOS et al., 2015; FAGNANI et al., 2011).

Além disso, a contaminação de alimentos por pesticidas pode ocorrer de forma indireta, como o mel, por exemplo, que está associada à exposição das abelhas ao ambiente contaminado com o pesticida, que pode estar nas folhagens, no néctar ou pólen, e é transportado pelas abelhas até a colmeia, sendo incorporados ao mel (FREITAS et al., 2021; TETTE et al., 2016).

Nos ovos, podem ser provenientes de resíduos presentes na ração do animal ou na água, que após serem metabolizados, se bioacumulam na gema do ovo (PEREIRA et al., 2019; DALLEGRAVE et al., 2018). Assim como, ocorre com a carne bovino e no leite, entretanto, os pesticidas acumulam em músculos e gordura, logo, durante a retirada do leite, estes resíduos presentes no tecido adiposo são excretados junto ao leite (SOUZA et al., 2020; FAGNANI et al., 2011). A presença de pesticidas também tem sido reportada em peixes, que estão expostos às águas poluídas por pesticidas, e por serem importantes fontes proteicas, está bioacumulação pode afetar toda uma cadeia alimentar (SANTANA et al., 2020; FERREIRA et al., 2019; GALVAO et al., 2012).

A presença de resíduos de agrotóxicos em alimentos orgânicos é um fato que chama muita atenção, o que pode ser decorrente de uma contaminação ambiental, ou seja, a exposição desses alimentos por resíduos advindos de áreas vizinhas, como água de irrigação contaminada, por exemplo, corroborando com as informações reportadas no tópico sobre a contaminação de recursos hídricos (ARAÚJO et al., 2014).

Portanto, dados sobre monitoramento de resíduos de pesticidas em alimentos são relevantes para comprovar a sua ocorrência no ambiente, efeito bioacumulativo e possíveis efeitos nocivos à saúde humana. Na Tabela 3 são apresentados estudos que abordam a detecção de resíduos de pesticidas em matrizes alimentícias no Brasil.

Tabela 3 - Detecção de pesticidas em alimentos.

Local do estudo – Tipo de alimento	**Quantidade de amostras**	**Pesticida**	**Concentração reportada (média ou intervalo) (µg/kg)[a] ou (µg/L)[b]**	**LMR (µg/kg)[a] ou (µg/L)[b]**	**Referência**
Santo Ângelo/RS – Tomate	16	Clorantraniliprole	11[a]	300[a]	Stringhini et al. (2021)
		Clorpirifós	17 e 22[a]	500[a]	
		Diflubenzuron	63[a]	500[a]	
		Famoxadona	23[a]	1000[a]	
		Imidacloprid	12 a 98[a]	500[a]	
		Piraclostrobina	238[a]	200[a]	
		Tebuconazol	45 e 11[a]	200[a]	
		Tiametoxam	11_a	1000[a]	
		Azoxistrobina	10[a]	500[a]	
		Clotianidina	10[a]	100[a]	
12 municípios do semiárido do Rio Grande do Norte/RN – Mel	35	Organofosforados monocrotofós	49[a]	–	Pinheiro et al. (2020)
		Triclorfon	10 a 74[a]	–	
		Clorpirifós	10[a]	20[a]	
Lagoa de Patos/RS – Peixe	18	Atrazina	0 a 11,70[a]	–	Martins, Costa e Bianchini
		Clorpirifós	0 a 3,82[a]	–	

		Diclofluanida	0 a 10,51ª	–	(2020)
		Diclofenac	79,15 a 1474,25ª	–	
		Diuron	0 a 0,16ª	–	
		Methylparaben	0 a 87,85ª	–	
		Octocrileno	0 a 18,97ª	–	
		Σ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons	833,42 a 2134,82ª	–	
		Trifluralina	0 a 2ª	–	
Rio de Janeiro/RJ –Ovos	13	Pirimifos	4,5ª	–	Pereira et al. (2019)
		Mephosfolan	4,5ª	–	
		Piraclostrobina	4,5ª	–	
		Spiroxamine	8,3ª	50ª	
		salinomycin	32ª	3ª	
Londrina/PR – Peixe	1000	Organoclorados (ΣOCPs)	8,61 a 60,40ª	–	Vieira et al. (2019)
Rio Grande do Sul/RS – Carnes	147	Clorpirifós	ND a 0,28ª	50ª	Dallegrave et al. (2018)
		Bifentrina	0,01 a 1,04ª	3000ª	
		Cialotrina	0,01 a 0,04ª	20ª	
		Permetrina	ND a 0,03ª	50ª	
		Cipermetrina	0,02 a 0,51ª	50ª	
		Deltametrina	ND a 0,025ª	30ª	
Fortaleza/CE – Goiaba e Graviola	8	Lindano	10,44ª	–	Paz et al. (2016)
		α-HCH	5,84 a 20,16ª	–	
		β HCH	6,30ª	–	
Rio Paranaíba/MG – Cenoura	20	Linuron	9160 e 3200ª	1000ª	Araújo et al. (2015)
		Procimidona	5850 e 2510ª	1000ª	
		Haloxifope-metil	480ª	1000ª	
São Paulo/SP – Laranja	57	Bifentrina	80ª	70ª	Nakano et al. (2016)
		Clofentezina	50ª	200ª	
		Miclobutanil	220ª	–	
		Azinfos-etil	50ª	–	
		Fenitrotion	60ª	–	
		Parathion	70ª	–	
		Profenofos	80ª	–	
Alto Vale do Itajaí/SC – Pepino	7	Carbendazim	790 e 12,7ª	200ª	Neto e Gonçalves (2016)
		Fluopicolida	150 e 51,1ª	200ª	
		Propaclor	20,7 e 124ª	–	
		Propamocarbe	1320ª	2000ª	
		Tiametoxam	81,4; 21,4 e 32,9ª	20ª	
		Imidacloprid	19,4ª	200ª	
Santa Maria/RS – Leite fluido, leite em pó e queijo	113	Hexachlorobenze-ne	2,20; 0,25 e 1,83ª	10ª	Santos et al. (2015)
		α-HCH	1,85; 0,08 e 0,61ª	4ª	
		Lindano	4,60; 1,46 e 0,76ª	10ª	
		Aldrin	2,30; 0,14 e 8,68ª	6ª	
		p,p'-DDE	8,53; 0,04 e 0,56ª	2ª	
		o,p'-DDD	5,40; 0,15 e 11,49ª	2ª	
		p,p'-DDD	0,52; 0,08 e 1,23ª	2ª	
		o,p'-DDT	0,65; 0,04 e 0,97ª	50ª	
		DDT	15,09; 0,30 e 14,26ª	50ª	

Espírito Santo/ES – Tomate	40	Clorpirifós	80 a 100ª	500ª	Santos et al. (2015)
		Diclorvos	50 a 180ª	–	
		Metamidofos	120ª	–	
		Permetrina	210 a 510ª	300ª	
		Fenpropatrina	410ª	200ª	
		Carbaril	180 a 230ª	100ª	
Santa Maria/RS – Pimenta	20	Acetamiprid	50ª	700ª	Kemmerich et al. (2014)
		Azoxistrobina	10,5 a 13,6ª	500ª	
		Boscalida	45,7ª	500ª	
		Buprofezina	10,8 e 26,2ª	500ª	
		Carbendazim	14,3 a 294,4ª	–	
		Clorpirifos	10,3 a 42,8ª	500ª	
		Clotianidina	53,9ª	50ª	
		Difenoconazol	44 e 36,6ª	500ª	
		Fenpropatrina	53,6ª	200ª	
		Piraclostrobina	10,1 a 113,5ª	1000ª	
		Pirimetanil	97,9ª	1000ª	
		Tiametoxam	12,3ª	200ª	
Pernambuco/PE – Tomate e pimenta	60	Acefato	0 a 80ª	50ª	Araújo et al. (2014)
		Carbendazim	25 e 30ª	200ª	
		Ciromazina	0 e 20ª	30ª	
		Imidacloprid	35 e 50ª	500ª	
		Tiofanato-metílico	20 e 20ª	200ª	
		Metamidofos	0 a 90ª	-	
		Metomil	20ª	-	
		Deltametrina	60ª	60ª	
		Ditiocarbamato	400ª	3000ª	
Pernambuco/PE – Leite	30	Fenthion	0,06 [b]	500[b]	Fagnani et al. (2011)
		Coumafos	0,04[b]	500[b]	
		Malathion	0,02[b]	10[b]	
		Dimetoato	0,01[b]	50[b]	
		Carbofuran	0,01[b]	100[b]	
		Aldicarbe	0,02[b]	10[b]	
		Carbaril	0,02[b]	20[b]	

Fonte: Autores (2023)

ND= Não detectado; LOQ= Limite de Quantificação; NA= Não analisado; LMR= Limites Máximos de Resíduos; (–) VMP não estimulada ou não encontrada.

A ANVISA constantemente vem efetuando reavaliações de toxicologia dos ingredientes ativos dos pesticidas, podendo levar a uso restrito da substância ou até a proibição deste, a depender dos resultados. Levando em consideração este fato, foi observado a presença de alguns ingredientes ativos relatados nos estudos realizados por Araújo et al. (2014), Santos et al. (2015) e Nakano et al. (2016), identificados como de uso proibido no Brasil para as culturas estudadas (pimenta, tomate e laranja, respectivamente) segundo a ANVISA (2012), sendo eles Metamidofós, Metomil, Diclorvos,

Miclobutanil, Azinphos-ethyl, Fenitrotion, Parathion e Profenofós, devido aos seus possíveis efeitos nocivos à saúde humana.

3.3 Uma visão geral sobre legislação a legislação brasileira e os limites de agrotóxicos estabelecidos

De acordo com o Art. 15 da lei no 9.974, de 6 de junho de 2000, a "produção, comercialização, transporte, aplicação, e a destinação a resíduos e embalagens vazias de agroquímicos, em descumprimento com às exigências estabelecidas pela legislação pode levar a pena de reclusão, de dois a quatro anos, além de multa" (BRASIL, 2000).

Do mesmo modo, o art. 3o da lei 7.802 de 1989, prediz sobre os agrotóxicos, seus componentes e afins, que só "poderão ser produzidos, exportados, importados, comercializados e utilizados, se previamente registrados em órgão federal, de acordo com as diretrizes e exigências dos órgãos responsáveis pelos setores da saúde, do meio ambiente e da agricultura".

Caso entre em descumprimento de lei, e o agrotóxico não estiver autorizado pela legislação de regência, estará sujeito a infração penal do crime prevista Art. 334-A, que prevê reclusão de 2 a 5 anos.

Ademais, a PL 7.710/2017 que ainda está em fase de aprovação na câmara dos deputados, prevê a desapropriação da propriedade rural que utilizar defensivos agrícolas proibidos no Brasil.

Estas são legislações que visam garantir a proteção, bem-estar e saúde da população e do meio ambiente de produto ou substância tóxica, perigosa ou nociva, no entanto, ainda se observa a presença de agroquímicos proibidos em alguns estudos, fato que pode estar relacionado a falta de fiscalização sobre estes produtos, assim como, da persistência desses ingredientes ativos no ambiente.

O Limite máximo de resíduos (LMR) é definido como a quantidade máxima do resíduo, oficialmente aceita no alimento, expressa em partes (em peso) do agrotóxico (mg/kg). Em alimentos de origem animal o limite de referência utilizados é expresso em µg/kg (no mel, ovo, pescado e na carne) e µg/L (leite), segundo a instrução normativa nº 24, de 09 de agosto de 2011. Em matrizes aquosas, este limite é dado como valor máximo permitido (VMP) expresso em µg/L em parâmetros de potabilidade para agrotóxicos e metabólitos que representam risco à saúde, presentes na portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. No solo este parâmetro é expresso em mg/kg de peso seco, relatado na resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009.

No Brasil, os órgãos responsáveis por definir o LMR e VMP são Ministério da Saúde, e Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), de acordo com o Decreto nº 10.833/2021.

Além disso, a legislação brasileira é composta por algumas resoluções nas quais regulamentam a presença dos agrotóxicos nas matrizes abordados neste estudo, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Algumas legislações brasileiras sobre presença de contaminantes químicos e LMR em água, solo e alimentos.

Tipo	Identificação	Órgão emissor	Data da publicação	Assunto
Portaria	Portaria GM/MS Nº 888, 4 de maio de 2021	Ministério da Saúde	07/05/2021	Art. 1º dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade;
				Art. 4º Toda água destinada ao consumo humano está sujeita à vigilância da qualidade da água;
				Art. 5º define no inciso I - água para consumo humano: água potável destinada à ingestão, preparação de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem.
Decreto	Decreto Nº 10.833, de 7 de outubro de 2021	Presidência da República	7/10/2021	Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins.
Instrução Normativa	A Instrução Normativa N° 51, de 19 de dezembro de 2019	Ministério da Saúde e ANVISA	26/12/2019	Estabelece a lista de limites máximos de resíduos (LMR), ingestão diária aceitável (IDA) e dose de referência aguda (DRfA) para insumos farmacêuticos ativos (IFA) de medicamentos veterinários em alimentos de origem animal.
Instrução Normativa	Instrução Normativa Nº 24, de 09 de agosto de 2011.	MAPA e Secretaria de Defesa Agropecuária	09/08/2011	Subprograma de Monitoramento em carnes (Bovina, Aves, Suína e Equina), Leite, Mel, Ovos e Pescado para o exercício de 2011, referente ao Plano Nacional de Controle de Resíduos Biológicos em Produtos de Origem Animal – PNCRB.
Resolução	Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009.	Ministério do Meio Ambiente e Conselho Nacional do Meio Ambiente	28/12/2009	Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas

Fonte: Autores (2023)

Diante dos estudos analisados ao longo deste trabalho, observa-se que alguns resultados descumprem as normas legais brasileiras, conforme relatado na Tabela 5.

Tabela 5 - Lista dos Pesticidas com valores acima do LMR e VMP.

Matriz	Pesticida	Referência
Alimento	Piraclostrobina	Stringhini et al. (2021)
Água	Malathion	Gonçalves et al. (2020)
Água	Glifosato	Mendonça et al. (2020)
	AMPA	
Solo	α-HCH	Varca et al. (2020)
	β-HCH	
	γ-HCH	
Água	Atrazina	Valenzuela, Menezes e Cardeal (2019)
	Dieldrin	
Alimento	Salinomicina	Pereira et al. (2019
Água	Atrazina	Portal et al. (2019)
Solo	pp'-DDT	Rodrigues et al. (2017)
	pp'-DDE	
	pp'-DDD	
	op'-DDT	
	op'-DDE	
	op'-DDD	
Alimento	Bifentrina	Nakano et al. (2016)
Alimento	Carbendazim	Neto e Gonçalves (2016)
	Tiametoxam	
Alimento	Linuron	Araújo et al. (2015)
	Procimidona	
Alimento	o,p'-DDD	Santos et al. (2015)
	p,p'-DDE	
	Aldrin	
Alimento	Permetrina	Santos et al. (2015)
	Fenpropatrina	
	Carbaril	
Alimento	Acefato	Araújo et al. (2014)
Alimento	Clotianidina	Kemmerich et al. (2014)

Fonte: Autores (2023)

Portanto, apesar do monitoramento quantitativo dos resíduos pelos órgãos regulamentadores, ainda há componentes químicos acima das concentrações de toleráveis, este tipo de exposição pode ocasionar problemas não apenas ao ser humano, mas também a vida marinha e a microbiota do solo (BOMBARDELLI et al., 2021; PORTAL et al., 2019).

3.4 Efeitos nocivos à saúde

O uso de agroquímicos em excesso ou uso de ingredientes ativos proibido por conta de sua toxicologia, bem como, aplicação destes sem práticas adequadas de biossegurança, podem acarretar em danos à saúde da população, principalmente aos trabalhadores rurais que frequentemente realizam a

aplicação e são expostos aos agrotóxicos (BOMBARDELLI et al., 2021; KHAYAT et al., 2013; DETÓFANO et al., 2013).

Estudos relatam maiores riscos de mortalidade por câncer, pela exposição prolongada aos pesticidas, em particular nos trabalhadores rurais, como câncer de esôfago (MEYER et al., 2011), câncer de cólon (MARTIN et al., 2018), câncer hepático (GUIDA et al., 2021) e câncer cerebral (MIRANDA-FILHO et al., 2014; MIRANDA-FILHO; MONTEIRO; MEYER, 2012).

Para identificação e avaliação de riscos dos pesticidas, são realizadas pesquisas para determinar o seu potencial de contaminação nas diferentes matrizes (água superficial, solo, ar e sedimentos), assim como, a exposição acumulativa desses compostos por meio de vias orais e/ou outras vias de exposição (JARDIM et al., 2018).

A avaliação de risco é uma estimativa da exposição humana a compostos xenobióticos por meio do consumo de alimentos e fornece uma ligação entre possíveis perigos na cadeia alimentar e os riscos refletidos na saúde humana (ISHIKAWA et al., 2016). É possível estimar indiretamente o grau de exposição com base nos dados de consumo de alimentos contaminados e na ocorrência média o contaminante. Nesta estimativa, o grau de exposição é medido em termos de ingestão diária estimada (EDI) por unidade de peso corporal e geralmente é expresso em ng por kg de peso corporal (PC) dia (JAGER et al., 2013).

Nesse sentido, Dallegrave et al. (2018) estimaram a EDI de resíduos de clorpirifos, cis-bifentrina, cialotrina, permetrina, cipermetrina e deltametrina em amostras de alimentos de origem animal, por meio do peso médio de 68,6 kg para um adulto brasileiro, e reportaram EDIs máximas de 5x10−2, 2x10−3, 4x10−4, 9x10−5, 2x10−2 e 4x10−4 µg/kg pc/dia, para os pesticidas citados, respectivamente.

Nakano et al. (2016), relataram sobre a Ingestão Diária Aceitável (ADI) de resíduos de pesticidas (Bifentrina, Clofentezina, Myclobutanil, Azinfos-etil, Fenitrotion, Parathion, Profenofos) em laranjas nas populações adulta (60 kg) e infantil (15 kg), respectivamente, que variaram de 0,04 a 6,62% para adultos, e de 0,14 a 26,5% para crianças.

Santos et al. (2015), considerando as faixas etárias do estudo: crianças (2,5 a 6 anos), adolescentes (10 a 19 anos), adultos (20 a 64 anos) e idosos (mais de 65 anos), observou que com relação aos valores de EDI, em produtos lácteos, que o aldrin foi o único pesticida organoclorados (OCPs) que excedeu o valor de ADI (0,1 ng/kg pc/dia), para crianças e estava no limite para os idosos (0,716 e 0,100 ng/kg

pc/dia, respectivamente), este resultado não foi observado em nenhum outro OCPs (HCB, α-HCH, lindano, aldrin, p,p'-DDE, p,p'- DDD, and o,p'-DDT) analisado de forma individual. Ademais, os autores observaram que a EDI para todos os compostos OCs totais estudados, foram maiores para crianças, em comparação com os de adolescentes, adultos e idosos, onde a ingestão estimada pela a soma de todos os compostos foi de 8,266; 0,393; 0,423; e 0,614 ng/kg/dia, respectivamente (SANTOS et al., 2015).

Pereira et al. (2019) estimaram os índices de perigo (HIs) dos resíduos químicos encontrado nas amostras de ovos, para adultos e crianças de até 27 kg, os resultados foram 0,42 e 1,01 mg/kg bw/dia, respectivamente, indicando que a exposição cumulativa das mistura dos resíduos de mephosfolan, pirimifos, piraclostrobina, salinomicina e spiroxamina, apresentam um potencial risco a saúde das crianças de até 27 kg.

Ferreira et al. (2019) realizaram a avaliação de risco humano por meio dos cálculo da EDI e a porcentagem de IDA dos 21 pesticidas organoclorados (OCPs). Utilizando a média de consumo brasileiro de 11,17 kg de peixe/ano, para o cálculo do EDI, e considerando o peso médio para a população brasileira de 60 kg para adultos e 30 kg para crianças. Os autores concluíram que nas amostras analisadas nenhum excedeu os limites de segurança, tanto para os adultos, como para as crianças, mas destacaram que as crianças podem ser mais vulneráveis quanto ao limite de segurança, tendo em mente o baixo peso corporal quando comparada a adultos. Ademais, relatam que para alcançar o limite de risco sugerido para metoxicloro (IDA: 0,62%), que foi o contaminante encontrado em maior concentração neste estudo em peixes, seria preciso consumir certa de 10 e 5 kg de sardinha por dia para um adulto e crianças, respectivamente (FERREIRA et al., 2019).

Galvão et al. (2012) constataram que o consumo de bivalves não representava riscos à saúde humana em relação aos 26 pesticidas organoclorados (OCPs) e 18 bifenilos policlorados (PCBs) estudados, sendo estimado os níveis do ADI com 12 mexilhões ou 12 indivíduos de vieiras, para uma criança de 30 kg de peso corporal. Os autores descobriram que para atingir níveis mínimos de risco seria necessário o consumo de 797 mexilhões com presença do p,p' DDT, e dentro dos OCPs estudados, o somatório de DDT para refeição de 12 animais, foram os que representaram os principais riscos a saúde, com 3% da ADI para crianças (GALVÃO et al., 2012).

Valcke et al. (2017) ressaltam que é menor o risco de possível ocorrência câncer devido o consumo de frutas e hortaliças possivelmente contaminados com resíduos de ingredientes ativos de pesticidas,

quando comparado com o seu não consumo, tendo em mente os benefícios que o consumo diário, abundante e diversificado pode trazer a saúde. No entanto, não consideram desprezíveis os riscos estimados mesmo com incertezas com relação aos riscos da exposição.

Nesse contexto, Ferreira et al. (2019) enfatizam a necessidade de estudos que considerem o efeito cumulativo para melhor avaliar os diferentes componentes químicos na dieta humana e os potenciais efeitos adversos a saúde da população.

4 CONCLUSÕES

Este trabalho abordou a detecção de pesticidas em diversos compartimentos ambientais brasileiros, incluindo água, alimentos e solo. Levando em consideração as concentrações reportadas e as legislações brasileiras vigentes, os DDT's e seus metabólitos foram reportados em concentrações além LMR, seguido pela atrazina.

Em relação às perspectivas, ressalta-se que um maior enfoque em pesquisas para desenvolvimento e aprimoramento de técnicas de detecção/quantificação de pesticidas em diversas matrizes, é de extrema importância, a fim de possibilitar um monitoramento eficaz da presença destes contaminantes potencialmente nocivos à saúde humana, bem como, estimar as doses de ingestão diária por parte da população.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. B.; MADEIRA, T. B.; WATANABE, L. S.; MELETTI, P. C.; NIXDORF, S. L. Pesticide Determination in Water Samples from a Rural Area by Multi-Target Method Applying Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. Journal of the Brazilian Chemical Society, [s.l.], v. 30, n. 8, p. 1657-1666, 2019.

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Ministério da Saúde. Monografias de agrotóxicos. Available at: https://www.gov.br/anvisa/pt- br/acessoainformacao/dadosabertos/ informacoes-analiticas/monografias-de-agrotoxicos. Acess on April 20, 2022.

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Ministério da Saúde. Instrução normativa n° 51, de 19 de dezembro de 2019. Available at: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/ inspecao/produtos-animal/plano-de-nacional-de- controle-de-residuos-e-contaminantes/ instrucao-normativa-2019_51-anvisa.pdf. Acess on April 20, 2022.

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Ministério da Saúde. Índice das monografias dos ingredientes ativos de agrotóxicos, domissanitários e preservantes de madeira. 2012. Availableat: http://portal.anvisa.gov.br/wps/content/Anvisa+Portal/Anvisa/Inicio/ Agrotoxicos+e+Toxicologia/Assuntos+de+Interesse/Monografias+de+Agrotoxicos. Acess on April 20, 2022.

ARANTES, S. A. C. M.; LIMA, J. M.; LIMA, L. A.; JESUS, E. A.; JULIÃO, L. G. F.; ARANTES,K. R. Influência do sistema de manejo na retenção e mobilidade da atrazina em amostras de solos. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, [s.l.], v. 7, n. 1, p. 167-173, 2012.

ARAÚJO, D. F. S.; SILVA, A. M. R. B.; LIMA, L. L. A.; VASCONCELOS, M. A. S.; ANDRADE,

S. AA. C.; SARUBBO, L. A. The concentration of minerals and physicochemical contaminants in conventional and organic vegetables. Food Control, [s.l.], v. 44, p. 242-248, 2014.

ARAÚJO, E. A.; LARA, M. C. R.; REIS, M. R.; VIRIATO, R. L. S.; ROCHA, R. A. R.;

GONÇALVES, R. G. L.; HELENO, F. F.; QUEIROZ, M. E. L. R.; TRONTO, J.; PINTO, F. G. Determination of Haloxyfop-Methyl, Linuron, and Procymidone Pesticides in Carrot Using SLE-LTP Extraction and GC-MS. Food Analytical Methods, [s.l.], v. 9, n. 5, p. 1344–1352, 2015.

BARROS, A. L. C.; ABREU, C. G.; CUNHA, C. C. R. F.; RODRIGUES, D. A. S.; AFONSO, R. J. C. F.; SILVA, G. A. Method development for simultaneous determination of polar and nonpolar pesticides in surface water by low-temperature partitioning extraction (LTPE) followed by HPLC-ESI-MS/ MS. Environmental Science and Pollution Research, [s.l.], v. 26, n. 31, p. 31609-31622, 2019.

BERTON, A.; BRUGNERA, M. F.; DORES, E. F. G. C. Grab and passive sampling applImidaclopridied to pesticide analysis in the São Lourenço river headwater in Campo Verde – MT, Brazil. Journal of Environmental Science and Health, Part B, [s.l.], v. 53, n. 4, p. 237–245, 2018.

BOMBARDELLI, H. L.; ROSSETTO, M.; SILVANI, I. O. F. D. M.; OLIVEIRA, V. J.;

BOMBARDELLI, C. L.; FRANÇA-ABRAHÃO, C. A. Assessment of the respiratory function of farmers exposed to pesticides in the municipality of Quilombo (state of Santa Catarina, Brazil): relationship

between health and occupational protection. Revista Brasileira de Medicina do Trabalho, [s.l.], v. 19, n. 1, p. 27-34, 2021.

BOTARO, D.; TORRES, J. P. M.; MALM, O.; REBELO, M. F.; HENKELMANN, B.;SCHRAMM, K. W. Organochlorine pesticides residues in feed and muscle of farmed Nile tilapia from Brazilian fish farms. Food and Chemical Toxicology, [s.l.], v. 49, p. 2125–2130, 2011.

BRASIL. Câmara dos Deputados. PL 7.710/2017. Ementa. Local: Câmara dos Deputados, ano. Available at: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra;jsessionid=node0dsv4vbyat961as1v8t1v6hc010100731.node0?codteor=1571978&filename=Tramitacao-PL+6299/2002. Acess on April 20, 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 24, de 09 de agosto de 2011. Brasil: Diário Oficial da União, 2011. Available at: https://abccam.com. br/wp-content/uploads/2011/02/IN_N_24_-_MAPA.pdf. Acess on May 20, 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 42, de 20 de dezembro de 1999. Brasil: Diário Oficial da União, 1999. Available at: https://www.gov. br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-animal/plano-de-nacional- de-controle-de-residuos-e-contaminantes/documentos-da-pncrc/instrucao-normativa-sda-n- o-42-de-20-de-dezembro-de-1999.pdf. Acess on May 14, 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021. Ed. 85, Seção 1, Pág. 127, 2021. Available at: https://in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562. Acess on April 22, 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. Available at: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf. Acess on April 20, 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução Nº 420, de 28 de Dezembro de 2009. Ementa. Brasil: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2009. Available at: https://cetesb.sp.gov. br/areas-contaminadas/wp- content/uploads/sites/17/2017/09/resolucao-conama-420-2009- gerenciamento-de-acs.pdf. Acess on April 10, 2022.

BRASIL. Presidência da República. Decreto Nº 10.833, de 7 de outubro de 2021. Brasília: Secretaria-Geral, 2021. Available at: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019- 2022/2021/ Decreto/D10833.htm#art1. Acess on April 22, 2022.

BRASIL. Presidencia da república. Decreto nº 4.074 de 4 de janeiro de 2002. Brasília: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2002. Available at: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ decreto/2002/d4074.htm. Acess on May 20, 2022.

BRASIL. Presidência da república. Lei n° 9.974 de 6 de junho de 2000. Brasília: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2000. Available at: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/ L9974.htm#art5. Acess on May 20, 2022.

BRASIL. Presidência da república. Lei n° 13.008, de 26 de junho de 2014, Código Penal, art. 334-A. Brasília: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2014. Available at: http://www.planalto. gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/lei/l13008.htm. Acess on May 10, 2022.

BRUCHA, G., ALDAS-VARGAS, A.; ROSS, Z.; PENG, P.; ATASHGAHI, S.; SMIDT, H.; LANGENHOFF, A.; SUTTON, N. B. 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid degradation in methanogenic mixed cultures obtained from Brazilian Amazonian soil samples. Biodegradation, [s.l.], v. 32, p. 419–433, 2021.

CARMO, S. N.; MENDES, L. D.; CORAZZA, G.; COMELLI, H.; MERIB, J.; CARASEK, E. Determination of pesticides of different chemical classes in drinking water of the state of Santa Catarina (Brazil) using solid-phase microextraction coupled to chromatographic determinations. Environmental Science and Pollution Research, [s.l.], v. 27, n. 35, p. 43870-43883, 2020.

CARVALHO, R. R. R.; RODRIGUEZ, M. D. V. R.; FRANCO, E. S.; BELTRAME, F.; PEREIRA, A. L.; SANTOS, V. S.; ARAÚJO, W.; ROCHA, B. A.; RODRIGUES, J. L. DLLME-

SFO-GC-MS procedure for the determination of 10 organochlorine pesticides in water and remediation using magnetite nanoparticles. Environmental Science and Pollution Research, [s.l.], v. 27, n. 36, p. 45336– 45348, 2020.

CASTANHO, G. M.; TOLEDO, R. A.; SHIM, H.; LU, Q.; VAZ, C. M. P. Electroanalytical procedure and sorption studies for imazaquin in different soils. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, [s.l.], v. 96, p. 530–541, 2016.

CAZÉ, A. M. B.; LACERDA, A. B. M.; LÜDERS, D.; CONTO, J.; MARQUES, J.; LEROUX, T. Perception of the Quality of Life of Tobacco Growers Exposed to Pesticides: Emphasis on Health, Hearing, and Working Conditions. International Archives of Otorhinolaryngology, [s.l.], v. 23, p. 50-59, 2018.

COSTA, M. B.; FARIAS, I. R.; MONTE, C. S.; FERREIRA FILHO, L. I. P.; BORGES, D. P.; OLIVEIRA, R. T. G.; RIBEIRO-JUNIOR, H. L.; MAGALHÃES, S. M. M.; PINHEIRO, R. F. Chromosomal abnormalities and dysregulated DNA repair gene expression in farmers exposed to pesticides. Environmental Toxicology and Pharmacology, [s.l.], v. 82, p. 103564, 2020.

DALLEGRAVE, A.; PIZZOLATO, T. M.; BERRETO, F.; BICA, V. C.; ELJARRAT, E.; BARCELÓ, D. Residue of insecticides in foodstuff and dietary exposure assessment of Brazilian citizens. Food and Chemical Toxicology, [s.l.], v. 115, p. 329–335, 2018.

DELLA-FLORA, A.; BECKER, R. W; BENASSI, S. F.; TOCI, A. T.; CORDEIRO, G. A.; IBÁÑEZ, M.; PORTOLÉS, T.; HERNÁNDEZ, F.; BOROSKI, M.; SIRTORI, C. Comprehensive investigation of pesticides in Brazilian surface water by high resolution mass spectrometry screening and gas chromatography–mass spectrometry quantitative analysis. Science of The Total Environment, [s.l.], v. 669, p. 248–257, 2019.

DETÓFANO, D.; TEIXEIRA, M. L.; OLIVEIRA, L. F. S.; FUENTEFRIA, A. M. Evaluation of toxicity risks in farmers exposed to pesticides in an agricultural community in Concórdia, Santa Catarina State, Brazil. Acta Scientiarum, Health Science, [s.l.], 2013, v. 35, n. 1, p. 111-118, 2013.

FAGNANI, R.; BELOTI, V.; BATTAGLINI, A. P. P.; DUNGA, K. S.; TAMANINI, R. Organophosphorus and carbamates residues in milk and feedstuff supplied to dairy cattle. Pesquisa Veterinária Brasileira, [s.l.], v. 31, p. 598–602, 2011.

FERREIRA, V. B.; ESTRELLA, L. F.; ALVES, M. G. R.; GALLISTL, C; VETTER, W.; SILVA, T. T. C.; MALM, O; TORRES, J. P. M.; FINCO, F. D. B. A. Residues of legacy organochlorine pesticides and DDT metabolites in highly consumed fish from the polluted Guanabara Bay, Brazil: distribution and assessment of human health risk. Journal of Environmental Science and Health, Part B, [s.l.], v. 55, p. 1-12, 2019.

FIGUEIRÊDO, L. P.; ATHAYDE, D. B.; DAAM, M. A.; GESTEL, C. A. M. V.; GUERRA, G. S.;

DUARTE-NETO, P. J.; ESPÍNDOLA, E. L. G. Impact of temperature on the toxicity of Kraft 36 EC® (a.s. abamectin) and Score 250 EC® (a.s. difenoconazole) to soil organisms under realistic environmental exposure scenarios. Ecotoxicology and Environmental Safety, [s.l.], v. 194, p. 110446, 2020.

FREITAS, L. V. P.; ALVES, L. M. G.; SICUPIRA, L. C.; PINHO, G. P.; SILVÉRIO, F. O. Determination of DDT in honey samples by liquid– liquid extraction with low-temperature purification (LLE-LTP) combined to HPLC-DAD†. Analytical Methods, [s.l.], v. 13, p. 1955, 2021.

G1. Ministério da Agricultura registra 2 agrotóxicos inéditos e mais 51 genéricos para uso dos agricultores. Available at: https://g1.globo.com/economia/agronegocios/ noticia/2021/09/29/ministerio-da-agricultura-registra-2-agrotoxicos-ineditos-e-mais-51- genericos-para-uso-dos-agricultores.ghtml. Acess on May 8, 2022.

GALVAO, P.; HENKELMANN, B.; LONGO, R.; LAILSON-BRITO, J.; TORRES, J. P. M.;

SCHRAMM, K. W.; MALM, O. Distinct bioaccumulation profile of pesticides and dioxin-like compounds by mollusk bivalves reared in polluted and unpolluted tropical bays: Consumption risk and seasonal effect. Food Chemistry, [s.l.], v. 134, p. 2040–2048, 2012.

GONÇALVES, C.; MARINS, A. T.; AMAARAL, A. M. B.; NUNES, M. E. M.; MÜLLER, T. E.; SEVERO, E.; FEIJÓ, A.; RODRIGUES, C. C. R.; ZANELLA, R.; PRESTES, O. D.; CLASEN, B.; LORO, V. L. Ecological impacts of pesticides on Astyanax jacuhiensis (Characiformes: Characidae) from the Uruguay river, Brazil. Ecotoxicology and Environmental Safety, [s.l.], v. 205, p. 111314, 2020.

GUARDA, P. M.; PONTES, A. M. S.; DOMICIANO, R. S.; GUALBERTO, D. B. M.; GUARDA, E. A.; SILVA, J. E. C. Determination of carbamates and thiocarbamates in water, soil and sediment of the Formoso River, TO-Brazil. Chemistry & Biodiversity, [s.l.], v. 17, n. 4, p. e1900717, 2020.

GUARDA, P. M.; GUALBERTO, L. S.; MENDES, D. B.; GUARDA, E. A.; SILVA, J. E. C. Analysis of triazines, triazoles, and benzimidazoles used as pesticides in different environmental compartments of the Formoso River and their influence on biodiversity in Tocantins. Journal of Environmental Science and Health, Part B, [s.l.], v. 55, n. 9, p. 783– 793, 2020.

GUARDA, P. M.; PONTES, A. M. S.; DOMICIANO, R. S.; GUALBERTO, L. S.; MENDES, D.B.; GUARDA, E. A.; SILVA, J. E. C. Assessment of Ecological Risk and Environmental Behavior of Pesticides in Environmental Compartments of the Formoso River in Tocantins, Brazil. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, [s.l.], v. 79, n. 4, p. 524-536, 2020.

GUIDA, Y.; CARVALHO, G. O.; CAPELA, R.; POZO, K.; LINO, A. S.; AZEREDO, A.; CARVALHO, D. F. P.; BRAGA, A. L. F.; TORRES, J. P. M.; MEIRE, R. O. Atmospheric Occurrence of Organochlorine Pesticides and Inhalation Cancer Risk in Urban Areas at Southeast Brazil. Environmental Pollution, [s.l.], v. 271, p. 116359, 2021.

HU, Z.; LI, J.; LI, B.; ZHANG, Z. Annual changes in concentrations and health risks of PCDD/Fs, DL-PCBs and organochlorine pesticides in ambient air based on the Global Monitoring Plan in São Paulo. Environmental Pollution, [s.l.], v. 255, p. 113310, 2019.

ISHIKAWA, A. T.; TAKABAYASHI-YAMASHITA, C. R.; ONO, E. Y. S.; BAGATIN, A. K.; RIGOBELLO, F. F.; KAWAMURA, O.; HIROOKA, E. Y.; ITANO, E. N. Exposure assessment of infants to aflatoxin M1 through consumption of breast milk and infant powdered milk in Brazil. Toxins, v. 8, p. 246, 2016.

JAGER, A. V.; TEDESCO, M. P.; SOUTO, P. C. M. C.; OLIVEIRA, C. A. F. Assessment of aflatoxin intake in São Paulo, Brazil. Food Control, [s.l.], v. 33, p. 87-92, 2013.

JARDIM, A. N. O.; BRITO, A. P.; DONKERSGOED, G. V.; BOON, P. E.; CALDAS, E. D. Dietary cumulative acute risk assessment of organophosphorus, carbamates and pyrethroids insecticides for the Brazilian population. Food and Chemical Toxicology, [s.l.], v. 112, p. 108–117, 2018.

JARDIM, A. N. O.; MELLO, D. C.; BRITO, A. P.; VOET, H. V. D.; BOON, P. E.; CALDAS, E. D. Probabilistic dietary risk assessment of triazole and dithiocarbamate fungicides for the Brazilian population. Food and Chemical Toxicology, [s.l.], v. 118, p. 317–327, 2018.

KEMMERICH, M.; RIZZETTI, T. M.; MARTINS, M. L.; PRESTES, O. D.; ADAIME, M. B.; ZANELLA, R. Optimization by Central Composite Design of a Modified QuEChERS Method for Extraction of Pesticide Multiresidue in Sweet Pepper and Analysis by Ultra-High- Performance Liquid Chromatography–Tandem Mass Spectrometry. Food Analytical Methods, [s.l.], v. 8, n. 3, p. 728–739, 2014.

LAGE, A. L. A.; RIBEIRO, J. M.; SOUZA-FAGUNDES, E. M.; BRUGNERA, M. F.; MARTINS, D. C. S. Efficient atrazine degradation catalyzed by manganese porphyrins: determination of atrazine degradation products and their toxicity evaluation by human blood cells test models. Journal of Hazardous Materials, [s.l.], v. 378, p. 120748, 2019.

MARCATO, A. C. C.; SOUZA, C. P.; FONTANETTI, C. S. Herbicide 2,4-D: A Review of Toxicity on Non-Target Organisms. Water, Air, & Soil Pollution, [s.l.], v. 228, p. 120–132, 2017.

MARINS, A. T.; SEVERO, E. S.; CEREZER, C.; LEITEMPERGER, J. W.; MÜLLER, T. E.; FLORIANO, L.; PRESTES, O. D.; ZANELLA, R.; LORO, V. L. Environmentally relevant pesticides induce biochemical changes in Nile tilapia (Oreochromis niloticus). Ecotoxicology, [s.l.], v. 30, n. 4, p. 585–598, 2021.

MARTIN, F. L.; MARTINEZ, E. Z.; STOPPER, H.; GARCIA, S. B.; UYEMURA, S. A.; KANNEN, V. Increased exposure to pesticides and colon cancer: Early evidence in Brazil. Chemosphere, [s.l.], v. 209, p. 623–631, 2018.

MARTINS, M. F.; COSTA, P. G.; BIANCHINI, A. Contaminant screening and tissue distribution in the critically endangered Brazilian guitarfish Pseudobatos horkelii. Environmental Pollution, [s.l.], v. 265, p. 114923, 2020.

MEDEIROS, M. S.; REDDY, S. P.; SOCIAL, M. P.; SCHUMACHER-SCHUH, A. F.; RIEDER, C. R. M. Occupational pesticide exposure and the risk of death in patients with Parkinson's disease: an observational study in southern Brazil. Environmental Health, [s.l.], v. 19, n. 1, p. 1-8, 2020.

MENDES, K. F.; MARTINS, B. A. B.; REIS, M. R.; PIMPINATO, R. F.; TORNISIELO, V. L. Quantification of the fate of mesotrione applied alone or in a herbicide mixture in two Brazilian arable soils. Environmental Science and Pollution Research, [s.l.], v. 24, p. 8425–8435, 2017.

MENDONÇA, C. F. R.; BOROSKI, M.; CORDEIRO, G. A.; TOCI, A. T. Glyphosate and AMPA occurrence in agricultural watershed: the case of Paraná Basin 3, Brazil. Journal of Environmental Science and Health, Part B, [s.l.], v. 55, n. 10, p. 1-12, 2020.

MESQUITA, T. C. R.; SANTOS, R. R.; CACIQUE, A. P.; SÁ, L. J.; SILVÉRIO, F. O.; PINHO, G. P. Easy and fast extraction methods to determine organochlorine pesticides in sewage sludge, soil, and water samples based at low temperature. Journal of Environmental Science and Health, Part B, [s.l.], v. 53, p. 199–206, 2017.

MEYER, A.; ALEXANDRE, P. C. B.; CHRISMAN, J. R.; MARKOWITZ, S. B.; KOIFMAN, R.J.; KOIFMAN, S. Esophageal cancer among Brazilian agricultural workers: Case–control study based on death certificates. International Journal of Hygiene and Environmental Health, [s.l.], v. 214, n. 2, p. 151–155, 2011.

MIRANDA FILHO, A. L.; KOIFMAN, R. J.; KOIFMAN, S.; MONTEIRO, G. T. R. Brain cancer mortality in an agricultural and a metropolitan region of Rio de Janeiro, Brazil: a population- based, age-period-cohort study, 1996–2010. BMC Cancer, [s.l.], v.14, n. 1, p. 1-9, 2014.

MIRANDA-FILHO, A. L.; MONTEIRO, G. T. R.; MEYER, A. Brain cancer mortality among farm workers of the State of Rio de Janeiro, Brazil: A population-based case–control study, 1996– 2005. International Journal of Hygiene and Environmental Health, [s.l.], v. 215, n. 5, p. 496–501, 2012.

MONTAGNER, C. C.; SODRÉ, F. F.; ACAYABA, R. D.; VIDAL, C.; CAMPESTRINI, I. LOCATELLI, M. A.; PESCARA, I. C.; ALBUQUERQUE, A. F.; UMBUZEIRO, G. A.; JARDIM,

W. F. Ten Years-Snapshot of the Occurrence of Emerging Contaminants in Drinking, Surface and Ground Waters and Wastewaters from São Paulo State, Brazil. Journal of the Brazilian Chemical Society, [s.l.], v. 30, n. 3, p. 614–632, 2019.

MORETTO, J. A. S.; ALTARUGIO, L. M.; ANDRADE, P. A.; FACHIN, A. L.; ANDREOTE, F. D.; STEHLING, E. G. Changes in bacterial community after application of three different herbicides. FEMS Microbiology Letters, [s.l.], v. 364, n. 13, p. 1-6, 2017.

NAKANO, V. E.; KUSSUMI, T. A.; LEMES, V. R. R.; KIMURA, I. A.; ROCHA, S. B.; ALABURDA, J.; OLIVEIRA, M. C. C.; RIBEIRO, R. A.; FARIA, A. L. R.; WALDHELM, K. C. Evaluation of pesticide residues in oranges from São Paulo, Brazil. Food Science and Technology, [s.l.], v. 36, p. 40- 48, 2016.

NASCIMENTO, M. M.; ROCHA, G. O.; ANDRADE, J. B. Customized dispersive micro-solid- phase extraction device combined with micro-desorption for the simultaneous determination of 39 multiclass pesticides in environmental water samples. Journal of Chromatography A, [s.l.], v. 1639, p. 1639: 461781, 2021.

NETO, J. V.; GONÇALVES, P. A. S. Pesticide residues in pickling cucumbers in natura and processed. Horticultura Brasileira, [s.l.], v. 34, p. 126-129, 2016. NOVOTNY, E. H.; TURETTA, A. P. D.; RESENDE, M. F.; REBELLO, C. M. The quality of soil organic matter, accessed by 13C solid state nuclear magnetic

resonance, is just as important as its content concerning pesticide sorption. Environmental Pollution, [s.l.], v. 266, p. 115298, 2020.

PAZ, M. et al. Application of the QuEChERS method for the determination of organochlorine pesticide residues in Brazilian fruit pulps by GC-ECD. Journal of Environmental Science and Health, [s.l.], Part B, v. 52, n. 1, p. 48–58, 2016.

PEREIRA, M. U.; CÂNDIDO, F. E.; OLIVEIRA, A. C.; MENDONÇA, R. A. F.; FERREIRA, R. G.; CARDOSO, M. H. W. M.; BASTOS, L. H. P.; SPISSO, B. F. A preliminary study of simultaneous veterinary drug and pesticide residues in eggs produced in organic and cage- free alternative systems using LC–MS/MS. Food Scientists & Technologists, [s.l.], v. 57, n. 5, p. 1719-1730, 2019.

PERIN, M.; DALLEGRAVE, A.; BARNET, L. S.; MENEGHINI, L. Z.; GOMES, A. A.; PIZZOLATO, T. M. Pharmaceuticals, pesticides and metals/metalloids in Lake Guaíba in Southern Brazil: Spatial and temporal evaluation and a chemometrics approach. Science of The Total Environment, [s.l.], v. 793, p. 148561, 2021.

PETTER, F. A.; FERREIRA, T. S.; SINHORIN, A. P.; LIMA, L. B.; ALMEIDA, F. A.; PACHECO, L. P.; SILVA, A. F. Biochar Increases the Sorption and Reduces the Potential Contamination of Subsurface Water with Diuron in Sandy Soil. Pedosphere, [s.l.], v. 29, n. 6, p. 801-809, 2019.

PINHEIRO, C. G. M. D. E.; OLIVEIRA, F. A. D. S.; OLORIS, S. C. S.; SILVA, J. B. A.; BLANCO, B. S. Pesticide Residues in Honey from Stingless Bee Melipona Subnitida (Meliponini, Apidae). Journal of Apicultural Science, [s.l.], v. 64, p. 29-36, 2020.

PIRES, N. L.; PASSOS, C. J. S.; MORGADO, M. G. A.; MELLO, D. C.; INFANTE, C. M.; CALDAS, E. D. Determination of glyphosate, AMPA and glufosinate by high performance liquid chromatography with fluorescence detection in waters of the Santarém Plateau, Brazilian Amazon. Journal of Environmental Science and Health, Part B, [s.l.], v. 55, n. 9, p. 794-802, 2020.

PORTAL, T. P.; PEDLOWSKI, M. A.; ALMEIDA, C. M. S.; CANELA, M. C. An integrated assessment of water quality in a land reform settlement in northern Rio de Janeiro state, Brazil. Heliyon, [s.l.], v. 5, n. 3 e01295, 2019.

RODRIGUES, A. O.; SOUZA, L. C.; ROCHA, C. C. S.; COSTA, A. C. G.; MENDES, R. A. Assessment of DDT and Metabolites in Soil and Sediment of Potentially Contaminated Areas of Belém, Amazon Region, Brazil. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, [s.l.], v. 99, n. 1, p. 125–130, 2017.

ROSA, A. C. P.; MARQUES, M. R. C. Metodologia para preservação do fungicida Mancozebe em amostras de solo. Química Nova, [s.l.], v. 34, n. 9, p. 1639–1642, 2011.

SANTANA, L. M. B. M., GAMA, A. F.; NASCIMENTO, R. F.; CAVALCANTE, R. M. Simultaneous determination of multi-class pesticide metabolites in fish (Siluriformes: Ariidae): protocol developed for human dietary risk in Ceará coast, Brazil. Accreditation and Quality Assurance, [s.l.], v. 25, n. 3, p. 185-199, 2020.

SANTOS, D. R.; LIMA, J. A. M. C.; VVARGAS, J. P. R.; BASTOS, M. C.; SANTOS, M. A. S.; MONDAMERT, L.; LABANOWSKI, J. Pesticide bioaccumulation in epilithic biofilms as a biomarker of agricultural activities in a representative watershed. Environmental Monitoring and Assessment, [s.l.], v. 192, n. 6, p. 1-14, 2020.

SANTOS, G. M. A. D. A.; TEIXEIRA, L. J. Q.; PEREIRA JÚNIOR, O. S.; SANTOS, A. R.;

FRONZA, M.; SILVA, A. G.; SCHERER, R. Pesticide Residues In Conventionally And Organically Grown Tomatoes In Espírito Santo (Brazil). Quimica Nova, [s.l.], v. 38, n. 6, p. 848-851, 2015.

SANTOS, J. S.; SCHWANZ, T. G.; COELHO, A. N.; HECK-MARQUES, M. C.; MEXIA, M. M.; EMANUELLI, T.; COSTABEBER I. Estimated daily intake of organochlorine pesticides from dairy products in Brazil. Food Control, [s.l.], v. 53, p. 23–28, 2015.

SILVA, H. C. M. P.; BEDOR, D. C. G.; CUNHA, A. N.; RODRIGUES, H. O. S.; TELLES, D. L.; ARAÚJO, A. C. P.; SANTANA, D. P. Ethephon and fosetyl residues in fruits from São Francisco Valley, Brazil. Food Additives & Contaminants, Part B, [s.l.], v. 13, n. 1, p. 16- 24, 2019.

SILVA, T. S.; SOUZA, M. F.; TEÓFILO, T. M. S.; SANTOS, M. S.; PORTO, M. A. F.; SOUZA, C. M. M.; SANTOS, J. B.; SILVA, D. V. Use of neural networks to estimate the sorption and desorption coefficients of herbicides: A case study of diuron, hexazinone, and sulfometuron- methyl in Brazil. Chemosphere, [s.l.], v. 236, e124333, 2019.

SILVA, Y. G. A. E. S.; ALMEIDA, P. M.; PERON, A. P. Irrigation Water Quality of a Community Garden Complex in the State of Piauí, Northeastern Brazil. Water, Air, & Soil Pollution, [s.l.] v. 231, n. 3, p. 1-10, 2020.

SIMAS, J. M. M.; YAMAUCHI, L. Y.; ALENCAR, M. C. B. Risk factors associated among respiratory health and banana farming. Archives of Environmental & Occupational Health, [s.l.], v. 76, n. 4, p. 181-187, 2021.

SOUZA, L. F. C. B.; MONTAGNER, C. C.; ALMEIDA, M. B.; KURODA, E. K. Determination of pesticides in the source and drinking waters in Londrina, Paraná, Brazil. Semina: Ciências Agrárias, [s.l.], v. 40, n. 3, p. 1153, 2019.

SOUZA, M. F.; LANGARO, A. C.; PASSOS, A. B. R. J.; LINS, H. A.; SILVA, T. S.; MENDONÇA, V.; SILVA, A. A.; SILVA, D. V. Adsorption mechanisms of atrazine isolated and mixed with glyphosate formulations in soil. Plos one, [s.l.], v. 15, n. 11, e0242350, 2020.

SOUZA, R. C.; PORTELLA, R. B.; ALMEIDA, P. V. N. B.; PINTO, C. O.; GUBERT, P.; SILVA, J. D. S.; NAKAMURA, T. C.; REGO, E. L. Human milk contamination by nine organochlorine pesticide residues (OCPs). Journal of Environmental Science and Health, [s.l.], Part B,v. 55, n. 6, p. 530-538, 2020.

STRINGHINI, F. M.; RIBEIRO, L. C.; ROCHA, G. I.; KUNTZ, J. D. B.; ZANELLA, R.; PRESTES, O. D.; ADAIME, M. B. Dilution of QuEChERS Extracts Without Cleanup Improves Results in the UHPLC-MS/MS Multiresidue Analysis of Pesticides in Tomato. Food Analytical Methods, [s.l.], v. 14, n. 8, p. 1511–1523, 2021.

TANG, F. H. M.; MAGGI, F. Pesticide mixtures in soil: a global outlook. Environmental Research Letters, [s.l.], v. 16, n. 4, p. e044051, 2021.

TETTE, P. A. S.; OLIVEIRA, F. A. S.; PEREIRA, E. N. C.; SILVA, G.; GLÓRIA, M. B. A.; FERNANDES, C. Multiclass method for pesticides quantification in honey by means of modified QuEChERS and UHPLC–MS/MS. Food Chemistry, [s.l.], v. 211, p. 130–139, 2016.

VALCKE, M.; BOURGAULT, M. H.; ROCHETTE, L.; NORMANDIN, L.; SAMUEL, O.; BELLEVILLE, D.; BLANCHET, C.; PHANEUF, D. Human health risk assessment on the consumption of fruits and vegetables containing residual pesticides: A cancer and non-cancer risk/benefit perspective. Environment International, [s.l.], v. 108, p. 63–74, 2017.

VALENZUELA, E. F.; MENEZES, H. C.; CARDEAL, Z. L. New passive sampling device for effective monitoring of pesticides in water. Analytica Chimica Acta, [s.l.], v. 1054, p. 26-37, 2018.

VARCA, J. P. R. O.; MARTINS, E. A. J.; VARCA, G. H. C.; ROMANO, R. L.; LEBRE, D. T.; LAINETTI, P. E. O.; BUSTILLOS, J. O. V. Determination of Organochlorines in Soil of a Suburban Area of São Paulo Brazil. International Journal of Environmental Research and Public Health, [s.l.], v. 17, n. 16, p. e5666, 2020.

VIEIRA, C. E. D.; COSTA, P. G.; CALDAS, S. S.; TESSER, M. E.; RISSO, W. E.; ESCARRONE, A. L. V.; PRIMEL, E. G.; BIANCHINI, A.; MARTINEZ, C. B. R. An integrated approach in subtropical agro-ecosystems: Active biomonitoring, environmental contaminants, bioaccumulation, and multiple biomarkers in fish. Science of The Total Environment, [s.l.], v. 666, p. 508–524, 2019.

VIEIRA, M. G.; STEINKE, G.; ARIAS, J. L. O.; PRIMEL, E. G.; CABRERA, L. C. C. Avaliação da Contaminação por Agrotóxicos em Mananciais de Municípios da Região Sudoeste do Paraná. Revista Virtual de Química, [s.l.], v. 9, n. 5, p. 1800-1812, 2017.

Capítulo 2

10.37423/260110643

AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DA BASE DE UM AEROGERADOR OFFSHORE DE 10 MW PARA OPERAÇÃO NA COSTA MARÍTIMA DO RIO GRANDE DO NORTE/BRASIL

Jéssica Chayanne de Carvalho Silva das Neves — *Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) - Departamento de Engenharia Mecânica*

Elierton Evangelista das Neves — *Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) - Departamento de Engenharia Mecânica*

Cleiton Rubens Formiga Barbosa — *Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) - Departamento de Engenharia Mecânica*

Cleiton Rubens Formiga Barbosa Júnior — *Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) - Departamento de Engenharia Mecânica*

Edilson Marinho da Silva Júnior — *Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN)*

RESUMO

Este artigo apresenta uma análise estrutural detalhada da base tipo jaqueta de um aerogerador offshore de 10 MW, projetado para operação na costa marítima do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. O estudo foca na avaliação da integridade da estrutura frente às condições ambientais oceânicas, considerando a interação dinâmica entre a base e os agentes externos, como vento, ondas e correntes marinhas. Para isso, foi desenvolvido um modelo tridimensional no software ANSYS Mechanical®, integrando o módulo AQWA para simulação da resposta hidrodinâmica da estrutura. A análise incluiu também a verificação de flambagem localizada dos elementos estruturais, conforme os critérios estabelecidos pela norma ANSI/AISC 360-05. Os resultados obtidos revelam o comportamento da estrutura sob diferentes cenários de carregamento extremo, fornecendo subsídios técnicos para o aprimoramento do projeto da base jaqueta. A abordagem adotada permite identificar pontos críticos de instabilidade e propor soluções que aumentem a confiabilidade e a segurança operacional da instalação. Este trabalho contribui significativamente para o desenvolvimento de projetos mais robustos e eficientes de aerogeradores offshore, especialmente em regiões com elevado potencial eólico, como o litoral nordestino brasileiro.

PALAVRAS-CHAVE: AEROGERADORES, OFFSHORE, ESTRUTURAS, ENERGIA RENOVÁVEL, SIMULAÇÃO.

1 NTRODUÇÃO

A geração de energia eólica tem se consolidado como uma das fontes mais promissoras e sustentáveis para a matriz energética global, e o Brasil tem desempenhado um papel de destaque nesse cenário. Com uma vasta extensão de costa e condições climáticas favoráveis, o país possui um potencial eólico considerável, especialmente em estados como o Rio Grande do Norte, onde os ventos constantes e fortes oferecem condições ideais para a instalação de aerogeradores.

Este cenário tem contribuído para a expansão da capacidade instalada de energia eólica no Brasil, que se tornou a segunda maior fonte de energia elétrica do país, atrás apenas da hidrelétrica (OLIVEIRA, 2018).

Atualmente, o Brasil conta com diversos projetos em andamento que visam ampliar ainda mais a capacidade de geração eólica, tanto em terra (*onshore*) quanto em mar (offshore). Entre os estados brasileiros, o Rio Grande do Norte se destaca como o principal polo de desenvolvimento dessa fonte de energia, abrigando mais de 30% de todos os parques eólicos do país (OLIVEIRA, 2018).

O estado, conhecido como "terra dos ventos", apresenta condições únicas que o tornam altamente vocacionado para a exploração e desenvolvimento da energia eólica, contribuindo significativamente para a segurança energética nacional e para a redução das emissões de gases de efeito estufa.

A transição da geração eólica *onshore* para *offshore* no Brasil é um movimento natural, dado o esgotamento progressivo das áreas mais favoráveis em terra e o crescente interesse em explorar o vasto potencial energético no mar.

Os projetos *offshore*, que envolvem a instalação de aerogeradores em plataformas localizadas no fundo do mar, são particularmente vantajosos em regiões com lâminas de água até 40 metros de profundidade (Tran, T. ;T, Lee, 2022). Nessas condições, as estruturas fixas são as mais comuns, sendo instaladas diretamente no leito marinho, o que garante estabilidade e eficiência na geração de energia.

A escolha do tipo de instalação, seja onshore ou offshore, é influenciada por diversos fatores, incluindo as condições geográficas, climáticas e o custo de implantação. No caso do offshore, os aerogeradores são submetidos a condições ambientais mais severas, como maresia e fortes correntes marítimas, o que exige materiais e técnicas de construção mais avançadas.

Além disso, a logística de instalação e manutenção é mais complexa, porém, os benefícios em termos de produção de energia e menor impacto visual têm impulsionado o crescimento desses projetos em águas brasileiras.

O estado do Rio Grande do Norte, com sua costa extensa e ventos constantes, se posiciona como um local estratégico para o desenvolvimento de projetos *offshore*. A região tem atraído investimentos significativos tanto de empresas nacionais quanto internacionais, interessadas em explorar o potencial eólico marinho do Brasil. Esses projetos são vistos como essenciais para o futuro da geração de energia no país, ajudando a diversificar a matriz energética e a garantir um suprimento confiável e sustentável (MME, 2020).

1.1 Tema e Problema

O projeto de estruturas *offshore* representa uma área estratégica da engenharia que, apesar de sua relevância crescente, ainda é pouco explorada nas formações acadêmicas brasileiras. Mesmo com a extensa costa marítima do país e o avanço dos projetos de energia eólica *offshore*, observa-se uma lacuna na capacitação técnica voltada para esse tipo de infraestrutura.

Este trabalho propõe-se a abordar, de forma introdutória, os fundamentos e procedimentos envolvidos no projeto de bases estruturais *offshore*, com foco em aerogeradores de grande porte. A intenção é oferecer subsídios técnicos e teóricos que possam auxiliar estudantes e profissionais interessados em atuar nesse segmento emergente da engenharia nacional.

1.2 Justificativa

A escolha do tema está diretamente relacionada à necessidade de ampliar o conhecimento técnico sobre estruturas *offshore*, especialmente diante das oportunidades profissionais que vêm se consolidando na região Nordeste do Brasil.

Com o avanço dos projetos eólicos em alto-mar, torna-se essencial dominar ferramentas de simulação e análise estrutural que permitam projetar com segurança e eficiência. Este estudo busca contribuir para a formação complementar do autor, aumentando sua empregabilidade e capacidade de atuação frente às novas demandas do setor energético nacional.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo explorar o projeto da base de um aerogerador offshore de capacidade 10 MW, destacando as principais considerações técnicas e os desafios associados à implantação desse tipo de infraestrutura em águas brasileiras. A base do aerogerador, elemento fundamental para a estabilidade e eficiência do sistema, será analisada em detalhes, levando em conta as condições específicas do ambiente marinho do Rio Grande do Norte e as tecnologias disponíveis para viabilizar esse projeto de forma segura e eficaz.

1.3.2 Objetivos específicos

Projetar a base estrutural do aerogerador offshore com foco em estabilidade e resistência:

- Modelar a estrutura tridimensionalmente utilizando os softwares ANSYS® Mechanical e Fluent;
- Realizar simulações considerando cargas estáticas e dinâmicas representativas do ambiente marinho;
- Avaliar a resposta estrutural da base em termos de tensões, deformações e possíveis instabilidades locais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As premissas básicas para elaboração do modelo e simulação da estrutura de base *offshore* serão definidas a partir da especificação básica do aerogerador disponível para ser instalado. Os dados básicos são:

- 10MW de potência nominal;
- Diâmetro do Rotor 164 metros;
- Pás com comprimento de 80 metros;
- Cada pá tem um peso de 35 toneladas;

- O rotor varre uma área de 21,124 m2;
- A Nacele tem um comprimento de 20 metros, 8 metros de largura e 8 metros de altura com um peso total de 390 toneladas;
- Peso da Torre: 680 toneladas
- Altura total incluindo rotor de 187 metros.

2.1 Modelo 3D da Estrutura de Base do Aerogerador

A análise numérica da estrutura da base do aerogerador *offshore* foi modelado na ferramenta SpaceClaim do pacote de software ANSYS® Mechanical 2020 – R2, com os elementos BEAM188, SHELL63. As propriedades de material utilizadas na análise são: Material 1: Módulo de Elasticidade: 200 GPa, Coeficiente de Poisson: 0,3; Densidade: 7860 kg/m³ e Tensão de Escoamento: 250 MPa, este material foi atribuído aos elementos de viga e de casca. O sistema de unidades utilizado para modelagem é o “N”, “m” e “s”, para força, comprimento e tempo, respectivamente.

Os elementos tubulares deste modelo consideram para cada tubo sua dimensão e seção transversal com diâmetros e espessuras de parede conforme ilustrado na Figura 1.

FIGURA 1. Modelo 3-D da estrutura *offshore* da base do aerogerador.



Fonte: Autor (2025).

A Tabela 1, lista as especificações dos principais elementos tubulares adotados no projeto da estrutura offshore de base do aerogerador de capacidade 10 MW.

TABELA 1. Especificação dos tubos

Item	Diâmetro Externo (mm)	Espessura Schedule (mm)	Material	Carga Admissível (kg/m)
Colunas	700	22	Aço Estrutural	377,1
Contraventamentos	27	15	Aço Estrutural	95,75
Horizontais	500	20	Aço Estrutural	247,6

Fonte: Autor (2025).

2.2 Condições de Contorno e Carregamentos

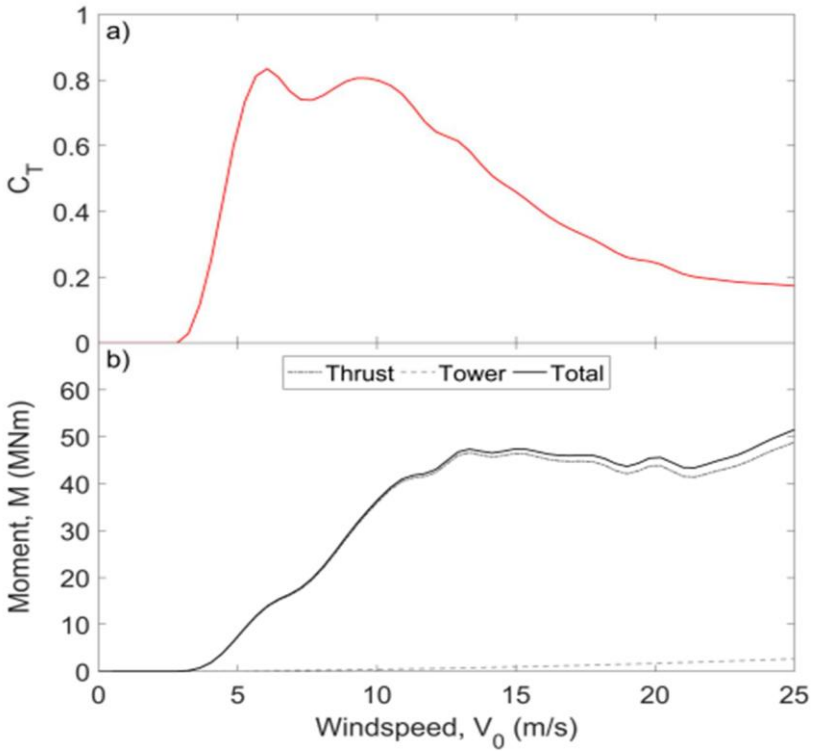
2.2.1 Peso Próprio

O carregamento do peso próprio da estrutura modelada é feito automaticamente pelo software no que se refere às estruturas efetivamente modeladas nesta maquete, entretanto alguns outros componentes que não foram considerados neste modelo serão inseridos como cargas distribuídas uniformemente como sobrepeso.

2.2.2 Carregamento Devido ao Aerogerador

O carregamento devido a instalação e operação do aerogerador foi estimado com base nas especificações e formulações apresentadas anteriormente. Buscou-se para este estudo considerar os valores máximos apresentados no estudo feito por (Perry et al, 2017). Estes valores podem ser deduzidos a partir do gráfico apresentado na Figura 2 a seguir.

FIGURA 2. Valores teóricos do momento na base do aerogerador.



Fonte: Perry et al (2025).

Para garantir uma análise mais conservadora, optou-se por considerar um esforço de momento na base do aerogerador correspondente a uma velocidade de ventos V_o = 25 m/s, o que representa um momento máximo de 50 MN.m.

2.2.3 Cargas Devido a Ação do Ambiente Oceânico

Os esforços devido a interação do oceano com a estrutura serão calculados pela aplicação AQWA disponível internamento no pacote ANSYS® Mechanical. Nesta aplicação apenas os dados referentes a caracterização da onda e nível marítimo e em combinação com as condições de contorno inseridas no modelo procederá o cálculo da interação do ambiente marinho com a estrutura. Os valores adotados neste ambiente AQWA serão:

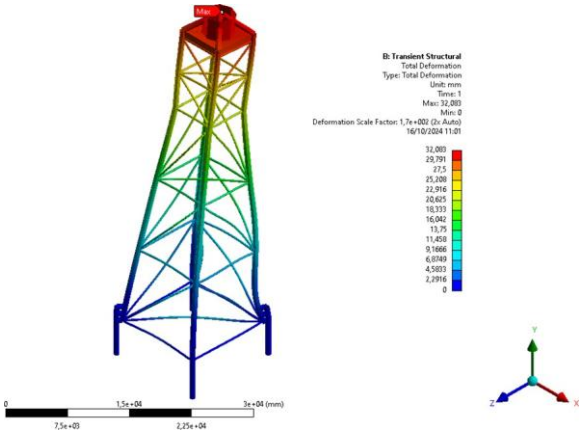
- Lâmina de Água: 30m
- Período da onda: 4s
- Comprimento da onda: 10m

- Altura da onda: 5m

3 RESULTADOS

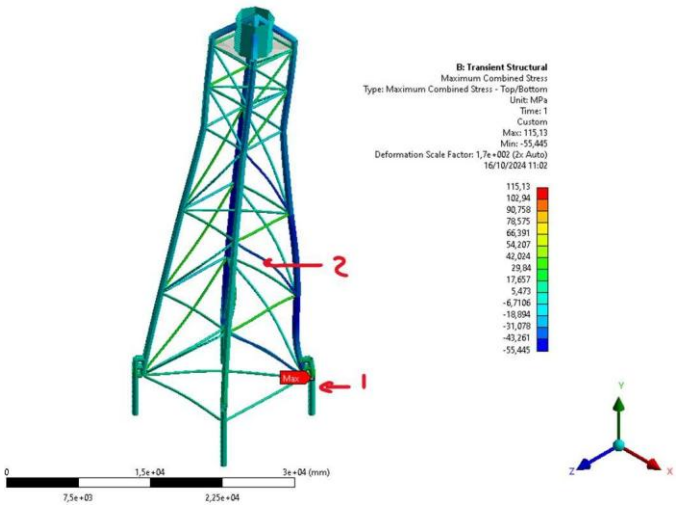
Após a rodada da simulação obteve-se os seguintes resultados para as deformações totais e tensões atuantes nos elementos da estrutura de suportação do aerogerador *offshore*. Pode-se observar com a ilustração mostrada na Figura 3, o resultado das deformações totais sofridas pela estrutura que os maiores deslocamentos se encontram na parte superior com um valor máximo de 32,083 mm.

FIGURA 3. Deformações totais da estrutura.



Fonte: Autor (2025).

FIGURA 4. Tensões atuantes equivalente Von-Misses.



Fonte: Autor (2025).

As tensões atuantes ocorrem em modo tracionado com valor máximo de 115,13 MPa na conexão da estrutura com o pilar de ancoramento no solo e compressivo na coluna vertical no segundo patamar

chega a um valor máximo de 55,445 MPa. Estes resultados podem ser visualizados conforme ilustrado na Figura 4:

De uma maneira global considerando esta análise linear elástica, percebe-se que os valores atuantes das tensões combinadas calculadas por elementos finitos pelo Ansys® Mechanical e geradas para visualização, ficam abaixo dos valores admissíveis.

Uma outra verificação muito importante, pode ser realizada considerando as tensões críticas para os elementos submetidos a compressão segundo a norma (ANSI/AISC 360-05, 2016). Nesta avaliação procedeu-se uma verificação individual dos elementos de coluna vertical e de um contraventamento submetidos à compressão.

Os detalhes das formulações e procedimentos desta avaliação estão descritos nesta norma e não será explorado neste texto, mas é importante registrar que esta tensão crítica não deve ser ultrapassada pelas tensões atuantes calculadas.

A tensão crítica para elementos em compressão é dada por:

$$F_{cr} = \left(0{,}658^{\frac{F_y}{F_e}}\right).F_y \qquad (1)$$

Para tanto, deve-se estimar o valor de F_e, sendo que F_Y é a tensão de escoamento do material. O valor de F_e é definido por:

$$F_e = \frac{\pi^2.E}{\left(\frac{L_c}{r}\right)^2} \qquad (2)$$

Sendo que E é o módulo de elasticidade do material, e L_C é o comprimento efetivo do elemento avaliado e r é o raio de giração da seção transversal deste elemento.

3.1 Verificação do Tubo da Coluna Vertical:

Diâmetro: 700 mm, espessura: 22mm C

omprimento: 11m

Para estes elementos foi possível calcular uma tensão crítica igual a:

F_{cr} = 238 MPa > 55,44 MPa (tensão atuante) PASSA!

3.2 Verificação do Contraventamento no Segundo Patamar:

Diâmetro: 273 mm, espessura: 15 mm

Comprimento: 14m

Para estes elementos foi possível calcular uma tensão crítica igual a:

F_{cr} = 147,36 MPa > 43,261 MPa (tensão atuante) PASSA!

4 CONCLUSÕES

As estruturas de base de fixação de equipamentos de geração eólica, em especial para o segmento *offshore* são elementos de grande responsabilidade na execução deste tipo de empreendimento de engenharia.

Muitos estudos de projetos estruturais desenvolvidos em nosso país são predominantemente voltados para áreas *onshore* (em terra), sendo assim pouco se explora nos conteúdos disciplinares das engenharias os detalhes envolvidos na avaliação desses projetos como a interação estrutura- oceano.

Neste trabalho buscou-se trazer de forma simplificada um conteúdo que pudesse introduzir uma estratégia de avaliação computacional com uso da ferramenta computacional Ansys Mechanical® associada a uma verificação de código de projeto de estruturas metálicas, e com esta verificação adotar especificações mais adequadas ao dimensionamento da estrutura pretendida.

Com base nos resultados obtidos e apresentados neste estudo, pode-se apontar como uma estratégia satisfatória o uso de ferramenta computacional por elementos finitos não dedicada à análise de estruturas associada à uma verificação de cálculos manuais.

Outra grande vantagem do uso desta ferramenta está no fato que ela dispõe de módulo de análise da interação ambiente marinho com uma estrutura *offshore*, sendo que este tipo de avaliação muitas vezes ou são negligenciadas ou determinadas com baixo valor estimado.

Este estudo não pretende servir como parâmetro prático para a execução de um empreendimento desta natureza e sim indicar um possível caminho para estudos mais detalhados.

REFERÊNCIAS

OLIVEIRA, C. de C. Análise do Potencial Eólico na Região Nordeste do Brasil e sua Evolução na Participação na Matriz Elétrica Nacional. Centro de Tecnologia - UFERSA, Mossoró-RN, 2018.

CEPEL, Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2001.

EL-REEDY, M. (2014). Marine Structural Design Calculations. Butterworth-Heinemann. 2015. PERRY, M. et all. Crack Monitoring of Operacional Wind Turbine Foundation. Sensors, 2017. AISC. ANSI/AISC 360-05, -10, -16 Specification for Structural Steel Buildings. AISC, 2016.

MME. Roadmap Eólica Offshore Brasil – Perspectiva e Caminhos para Energia Eólica Marinha. No NT-EPE-PR-001/2020-r2. Rio de Janeiro: 2020.

LOKESH, S. MOHANA, R. Simulation and Numerical Analysis of Offshore Wind Turbine With Monopile Foundation. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, doi:10.1088/1757-899X/872/1/012046. 2020.

TRAN, T. T, LEE. D. Development of Jacket Substructure Systems Supporting 3MW Offshore Wind Turbine for Deep Water Sites in South Korea. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering. Ed. 14, https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2022.100451. 2022.

Capítulo 3

10.37423/260110651

MODELAGEM MATEMÁTICA E ANÁLISE COMPUTACIONAL DA CINEMÁTICA DIRETA EM MANIPULADORES RRR DE TRÊS GRAUS DE LIBERDADE

Flavia Macedo Pontim — *Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

João Matheus Simm de Oliveira — *Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

Reginaldo Ferreira de Sousa Barbosa — *Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

Flávio Luiz Rossini — *Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

RESUMO

Este capítulo apresenta a modelagem matemática e a análise computacional da cinemática direta de um robô manipulador de três graus de liberdade com configuração RRR. A motivação desta pesquisa reside na descrição analítica precisa da posição e orientação do efetuador no espaço tridimensional, requisito essencial para o controle de sistemas robóticos em aplicações industriais e acadêmicas. A metodologia desenvolvida compreendeu os seguintes objetivos: (i) formalizar a modelagem matemática do sistema através da construção de matrizes de transformação homogênea, (ii) determinar a transformação equivalente dos sistemas de coordenadas da base ao efetuador, (iii) Consolidar o equacionamento da cinemática direta específico para a geometria do robô RRR, (iv) Desenvolver e implementar algoritmos de análise computacional no software MATLAB® e (v) validar o modelo proposto mediante a análise comparativa entre resultados calculados e dados simulados. A principal contribuição deste estudo é o fornecimento de uma base matemática robusta que potencializa projetos de engenharia e fomenta a integração entre o desenvolvimento acadêmico e a demanda industrial.

Palavras-chave: Cinemática Direta, Transformações homogêneas, Modelagem Matemática, Análise Computacional e Equacionamento.

1 INTRODUÇÃO

A robótica, enquanto campo de estudo, teve suas origens ao longo do século XX, inicialmente impulsionada pela necessidade de mecanização e automação de tarefas humanas. Desde então, o progresso da área tem sido significativo, abrange desde conceitos básicos de cinemática até aplicações complexas na indústria e na saúde. Os avanços na robótica representam uma fusão de disciplinas, como mecânica, eletrônica e inteligência artificial, o que destaca seu caráter multidisciplinar (SICILIANO, 2016), (ABREU, 2022), (SOUZA, 2025).

Os braços robóticos, por exemplo, tornaram-se uma das aplicações mais relevantes da área. Esses sistemas são utilizados em linhas de produção devido à sua precisão e eficiência (CRAIG, 2005). O estudo da cinemática direta, que define a posição e a orientação de um robô com base nos parâmetros das suas juntas, é essencial para o desenvolvimento desses dispositivos (ABREU, 2022), (SOUZA, 2025).

A multidisciplinaridade da robótica exige uma descrição analítica precisa, uma vez que o controle de sistemas articulados depende diretamente da compreensão das relações geométricas entre seus elos (SICILIANO; KHATIB, 2016). Nesse contexto, a literatura acadêmica da área tem explorado diversas arquiteturas de manipuladores, desde robôs com seis graus de liberdade (LIMA; ROSSINI, 2023) até configurações específicas como o SCARA, aplicados em tarefas que demandam alta velocidade e repetibilidade (TAKANO et al., 2023; FUDOLI et al., 2016). A modelagem desses sistemas é fundamental para minimizar o tempo de interrupção em processos de automação industrial, permitindo a criação de rotinas em ambientes virtuais de teste através de simulações off-line (SANTOS; ROSSINI, 2016)

Este relatório apresentou o projeto de um braço robótico com três graus de liberdade, que explora os fundamentos da cinemática direta. O objetivo principal é demonstrar como o desenvolvimento e a implementação de equações matemáticas, juntamente com códigos específicos, podem descrever os movimentos do robô de maneira eficaz. Além disso, é discutido como esses conceitos teóricos são aplicados de forma prática.

2 METODOLOGIA

2.1 Fundamentação Teórica

Para a obtenção da cinemática direta, a literatura frequentemente utiliza a convenção de Denavit-Hartenberg (DH). Este método sistematiza a fixação de sistemas de coordenadas em cada junta do manipulador através de quatro parâmetros fundamentais: o ângulo da junta θ_i, a distância entre juntas d_i, o comprimento do elo a_i e a torção do elo α_i (SANTOS; ROSSINI, 2016). A matriz de transformação genérica de DH é dada por:

$$A_i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\text{sen}\,\theta_i \cos a_i & \text{sen}\,\theta_i \,\text{sen}\, a_i & a_i \cos\theta_i \\ \text{sen}\,\theta_i & \cos\theta_i \cos a_i & -\cos\theta_i \,\text{sen}\, a_i & a_i \,\text{sen}\,\theta_i \\ 0 & \sin a_i & \cos a_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Embora a convenção de DH seja amplamente aplicada para simplificar o mapeamento de robôs complexos (ROSSINI et al., 2025; PENHA et al., 2016), este trabalho opta por uma abordagem matemática baseada em transformações homogêneas puras e trigonometria direta. Esta escolha permite um controle mais analítico sobre a geometria específica do manipulador RRR, facilitando a visualização dos vetores de posição e orientação sem a rigidez da padronização de eixos imposta pelo método de DH (ABREU et al., 2022; SOUZA, 2025)

A matriz de transformação homogênea (ABREU, 2022) é composta por duas partes principais: uma matriz de rotação e um vetor de posição. Sua forma geral é dada por (SOUZA, 2025):

$${}^{0}M = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & p_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & p_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Para robôs com múltiplos graus de liberdade, como o analisado neste de pesquisa, a transformação total do sistema base até o efetuador final é obtida por meio do produto sucessivo das transformações individuais (SOUZA, 2025):

$$T_{total} = T_1 T_2 T_3 \quad (3)$$

A seguir, temos um exemplo de matriz de rotação para uma rotação em torno do eixo Z (LIMA, 2023):

$$R_z(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

A posição da ponta do manipulador pode ser obtida aplicando a matriz de transformação homogênea total a um vetor posição no sistema local (ROSSINI, 2023):

$$^{F}P = T_{total}[x \quad y \quad z \quad 1]^{T} \quad (5)$$

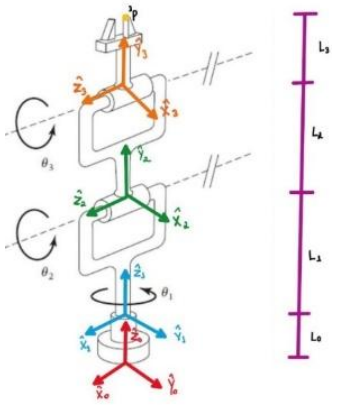
Este procedimento permite prever o comportamento do robô em resposta a diferentes configurações articulares, sendo fundamental para aplicações práticas como controle, simulação e planejamento de trajetória.

2.2 Desenvolvimento

Seguindo a metodologia de análise por subtemas, as matrizes de transformação individuais são construídas para representar cada rotação em torno dos eixos locais, resultando em uma matriz de transformação total $T_{total} = T_1 T_2 T_3$. Esta sequência lógica de multiplicação é o que permite a geração de trajetórias temporais precisas, fundamentais para a implementação de algoritmos de controle (PENHA et al., 2016; LIMA; ROSSINI, 2023).

Na Figura 1, apresenta-se o desenho esquemático do robô e os sistemas de coordenadas adotados, nos quais todas as rotações ocorrem em torno do eixo Z, seguindo a convenção da regra da mão direita.

Figura 1 - Descrição dos eixos de rotação do robô.



A transformação homogênea ${}^{A}_{B}T$ é composta por uma matriz de rotação ${}^{A}_{B}R$, que descreve a orientação da junta B em relação à junta anterior A, e por um vetor de posição ${}^{A}P_{BORG}$, que indica a localização da origem de B em relação a A. Assim, a transformação de B em relação a A pode ser expressa pela Equação (6).

$$ {}^{A}_{B}T = \begin{bmatrix} {}^{A}_{B}R & {}^{A}P_{BORG} \\ 0\ 0\ 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{6} $$

Desta forma, é possível obter a matriz de transformação geral do robô multiplicando sucessivamente todas as matrizes de transformação ${}^{i}_{i-1}T$. Conforme a Equação (7), o robô possui 3 graus de liberdade, então é preciso multiplicar 3 matrizes de transformação. E, por fim, obtendo a cinemática direta do robô.

$$ {}^{0}_{3}T = {}^{0}_{1}T\,{}^{1}_{2}T\,{}^{2}_{3}T \tag{7} $$

A matriz de transformação ${}^{0}_{1}T$ é dada por:

$$ {}^{0}_{1}T = \begin{bmatrix} \hat{X}_1.\hat{X}_0 & \hat{Y}_1.\hat{X}_0 & \hat{Z}_1.\hat{X}_0 & 0 \\ \hat{X}_1.\hat{Y}_0 & \hat{Y}_1.\hat{Y}_0 & \hat{Z}_1.\hat{Y}_0 & 0 \\ \hat{X}_1.\hat{Z}_0 & \hat{Y}_1.\hat{Z}_0 & \hat{Z}_1.\hat{Z}_0 & L_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & 0 & 0 \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{8} $$

A matriz de transformação ${}^{1}_{2}T$ pode ser descrita como:

$$ {}^{1}_{2}T = \begin{bmatrix} \hat{X}_2.\hat{X}_1 & \hat{Y}_2.\hat{X}_1 & \hat{Z}_2.\hat{X}_1 & 0 \\ \hat{X}_2.\hat{Y}_1 & \hat{Y}_2.\hat{Y}_1 & \hat{Z}_2.\hat{Y}_1 & 0 \\ \hat{X}_2.\hat{Z}_1 & \hat{Y}_2.\hat{Z}_1 & \hat{Z}_2.\hat{Z}_1 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & 0 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{9} $$

A matriz de transformação ${}^{2}_{3}T$ pode ser descrita como:

$$ {}^{2}_{3}T = \begin{bmatrix} \hat{X}_3.\hat{X}_2 & \hat{Y}_3.\hat{X}_2 & \hat{Z}_3.\hat{X}_2 & 0 \\ \hat{X}_3.\hat{Y}_2 & \hat{Y}_3.\hat{Y}_2 & \hat{Z}_3.\hat{Y}_2 & L_2 \\ \hat{X}_3.\hat{Z}_2 & \hat{Y}_3.\hat{Z}_2 & \hat{Z}_3.\hat{Z}_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & -\sin\theta_3 & 0 & 0 \\ \sin\theta_3 & \cos\theta_3 & 0 & L_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{10} $$

Portanto, ao aplicar as Equações (8), (9) e (10) na Equação (7), tem

$$ {}^{0}_{3}T = \begin{bmatrix} -\cos(\theta_2+\theta_3)*\sin\theta_1 & \sin(\theta_2+\theta_3)*\sin\theta_1 & \cos\theta_1 & P_x \\ \cos(\theta_2+\theta_3)*\cos\theta_1 & -\sin(\theta_2+\theta_3)*\cos\theta_1 & \sin\theta_1 & P_y \\ \sin(\theta_2+\theta_3) & \cos(\theta_2+\theta_3) & 0 & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{11} $$

Dessa forma, a posição final do manipulador pode ser determinada multiplicando-se a matriz de transformação homogênea pelo ponto ${}^{3}P$, conforme a Equação (12).

$$ {}^{0}_{4}T = {}^{0}_{3}T \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & L_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{12} $$

Assim, obtém-se,

$$ {}^{0}_{4}T = \begin{bmatrix} -\cos(\theta_2+\theta_3)\sin\theta_1 & \sin(\theta_2+\theta_3)\sin\theta_1 & \cos\theta_1 & P_x \\ \cos(\theta_2+\theta_3)\cos\theta_1 & -\sin(\theta_2+\theta_3)\cos\theta_1 & \sin\theta_1 & P_y \\ \sin(\theta_2+\theta_3) & \cos(\theta_2+\theta_3) & 0 & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{13} $$

Sendo,

$$ P_x = \sin\theta_1 \, L_3 \sin(\theta_2+\theta_3) + L_2 \sin\theta_2 \tag{14} $$

$$ P_y = -\cos\theta_1 \, L_3 \sin(\theta_2+\theta_3) + L_2 \sin\theta_2 \tag{15} $$

$$ P_z = L_0 + L_1 + L_2 \cos\theta_2 + L_3 \sin(\theta_2+\theta_3) \tag{16} $$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

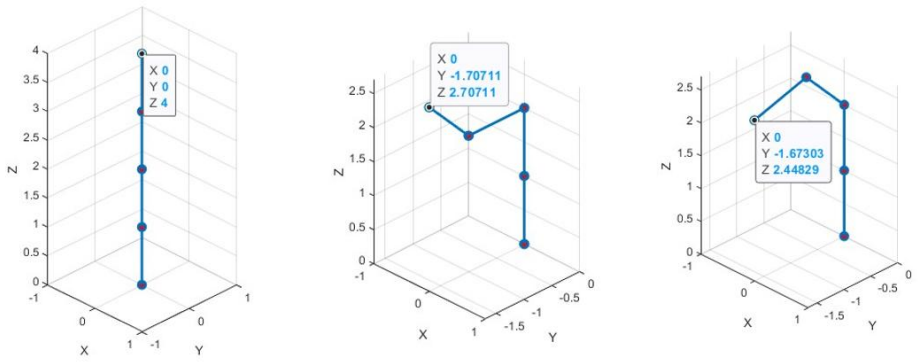
A partir dos parâmetros definidos pelas Equações (14), (15) e (16), calcularam-se as coordenadas P_x, P_y e P_z, que representam as posições da ponta do manipulador no espaço tridimensional. A posição final representando um estado de repouso consistente com os parâmetros definidos. Estes valores são essenciais para verificar a precisão do modelo matemático e validar os movimentos planejados, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Teste da Cinemática Direta.

ÂNGULOS ATRIBUIDOS $(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$	**PONTO RETORNADO** $P(P_x, P_y, P_Z)$
$(0^\circ, 0^\circ, 0^\circ)$	$(0,0,4)$
$(60^\circ, 45^\circ, 80^\circ)$	$(0;\ -1{,}7071, 2{,}7071)$
$(0^\circ, 45^\circ, 60^\circ)$	$(0\,;-1{,}673;\ 2{,}4483)$

Resultados demonstrados na Figura 2:

Figura 2 - Cinemática Direta.



4 CONCLUSÃO

Apresentou-se neste capítulo a modelagem analítica e a validação computacional da cinemática direta para um manipulador robótico de três graus de liberdade com configuração RRR. A abordagem integrou a formalização matemática fundamentada em matrizes de transformação homogênea ao desenvolvimento de algoritmos de análise em ambiente MATLAB®, o que permitiu descrever com precisão a posição do efetuador no espaço tridimensional. Ao validar o modelo mediante a comparação entre resultados calculados e dados simulados, observou-se uma convergência rigorosa que confirma a eficácia do equacionamento específico desenvolvido para a geometria do robô, assegurando a correta interpretação dos parâmetros articulares. Espera-se que a base matemática robusta e a metodologia de análise aqui consolidadas contribuam para o desenvolvimento de estratégias de controle e planejamento de trajetórias em sistemas articulados, fortalecendo a integração entre os fundamentos teóricos acadêmicos e as aplicações práticas na automação industrial.

REFERÊNCIAS

ABREU, L. M. et al. Modelagem Cinemática de um Robô Modelo SCARAe Desenvolvimento de Aplicativo para Análise Gráfica. In: Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Anais...Santa Helena (PR)UTFPR Santa Helena, 2022.

CRAIG, J. J. Introduction to Robotics: Mechanics and Control. Pearson Education, 2005.

FUDOLI, Fábio; BLESSA, Lucas; SOUZA, Júlio; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem da Cinemática Direta e Inversa do Robô SCARA EPSON G10-851S. In: Anais do III Simpósio de Tecnologia e Engenharia Eletrônica (SIMTEEL). Campo Mourão: UTFPR, 2016.

LIMA, Bruno Suracci de; ROSSINI, Flávio Luiz. Proposta de modelagem da cinemática, implementação computacional da cinemática inversa quanto a posição e orientação de robô manipulador 6-DOF. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação (SEI-SICITE). Ponta Grossa: UTFPR, 2023.

PENHA, Bruno Schuavab; QUEIROZ, Mariana Emer; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem e Análise da Cinemática Direta e Inversa de Manipulador Robótico com Cinco Juntas Rotativas. In: Anais do IV Simpósio de Tecnologia e Engenharia Eletrônica (SIMTEEL). Campo Mourão: UTFPR, 2016.

ROSSINI, Flávio Luiz. et al. Modelagem dinâmica e simulação do sistema de controle não linear do robô manipulador SCARA RH-3FRHR35 com fixação superior, fabricante Mitsubishi. In: Engenharia: a máquina que constrói o futuro. 17. ed. Piracanjuba: Editora Conhecimento Livre, 2023. p. 173–194.

ROSSINI, Gabriel Pitondo; ROSSINI, Flávio Luiz; SANTOS, Otávio Amaro de Paula dos. Modelagem da Cinemática Direta e Geração de Trajetória do Robô Manipulador ABB IRB 1010. In: Anais do XV Seminário de Extensão e Inovação (SEI). Curitiba: UTFPR, 2025.

SANTOS, Matheus Araújo dos; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem Matemática e Simulação da Cinemática Direta do Robô Manipulador com Seis Juntas Rotativas – 6 GL. In: Anais do III Simpósio de Tecnologia e Engenharia Eletrônica (SIMTEEL). Campo Mourão: UTFPR, 2016.

SICILIANO, B.; KHATIB, O. Springer Handbook of Robotics. Springer, 2016.

SOUZA, Henrique Siqueira Camada de; et al. Desenvolvimento da cinemática direta do robô FANUC modelo M-410: uma jornada da teoria à simulação. In: Tópicos Especiais em Engenharia: Inovações e Avanços Tecnológicos, v. 16, cap. 04, p. 51–59, jun. 2025.

TAKANO, Gabriele Vilas Boas et al. Modelagem e simulação da cinemática direta do Multifuncional T3-401S Synthis Robô SCARA, fabricante Epson. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação (SEI-SICITE). Ponta Grossa: UTFPR, 2023.

Capítulo 4

10.37423/260110657

ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DE PLANTAS AUTÔNOMAS DE DESSALINIZAÇÃO POR OSMOSE REVERSA

Cleiton Rubens Formiga Barbosa Júnior — *Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) - Departamento de Engenharia Mecânica*

Cleiton Rubens Formiga Barbosa — *Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) - Departamento de Engenharia Mecânica*

Wertson da Silva Resende — *Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) - Departamento de Engenharia Mecânica*

Jéssica Chayanne de Carvalho Silva das Neves — *Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) - Departamento de Engenharia Mecânica*

Elierton Evangelista das Neves — *Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) - Departamento de Engenharia Mecânica*

Edilson Marinho da Silva Júnior — *Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN)*

RESUMO

Este artigo apresenta uma análise bibliométrica da produção científica sobre plantas autônomas de dessalinização por osmose reversa (RO) no período de 2020 a 2025, com foco em tecnologias sustentáveis, eficiência energética e integração com fontes renováveis. Utilizando bases como Web of Science, Scopus e ScienceDirect, e o software VOSviewer v.1.6.19, foram mapeadas redes de coautoria, palavras-chave recorrentes e instituições com maior impacto na área. Os resultados revelam um crescimento significativo nas publicações sobre sistemas RO autônomos, especialmente em regiões com escassez hídrica. Destacam-se estudos sobre unidades alimentadas por painéis fotovoltaicos, membranas de alta permeabilidade e aplicações de inteligência artificial para otimização de desempenho e manutenção preditiva. Instituições como United Arab Emirates University, USTHB (Argélia) e Universidade de Pau (França) lideram em número de publicações e colaborações internacionais. A análise também evidencia o papel das plantas autônomas como solução viável para comunidades remotas, com destaque para a redução de emissões de gases de efeito estufa e viabilidade econômica em larga escala. Este estudo contribui para o entendimento das tendências globais em dessalinização sustentável, oferecendo subsídios para pesquisadores, gestores públicos e formuladores de políticas ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: DESSALINIZAÇÃO, OSMOSE REVERSA, ENERGIA RENOVÁVEL, MANUTENÇÃO PREDITIVA, INTELIGÊNCIA ARTIFICAL.

1 INTRODUÇÃO

A escassez de água potável é um dos maiores desafios globais do século XXI, especialmente em regiões áridas e semiáridas, onde o acesso a fontes hídricas seguras é limitado. Nesse contexto, a dessalinização por osmose reversa (RO) tem se consolidado como uma das tecnologias mais eficazes para a produção de água potável a partir de fontes salinas, como água do mar e águas salobras.

A crescente demanda por soluções descentralizadas e sustentáveis impulsionou o desenvolvimento de plantas autônomas de dessalinização, muitas delas integradas a sistemas de energia renovável, como painéis fotovoltaicos, e dotadas de recursos de automação e inteligência artificial para otimização operacional.

Entre 2020 e 2025, observou-se um aumento significativo na produção científica voltada para o aprimoramento de sistemas de dessalinização RO autônomos, com destaque para estudos sobre membranas de alta permeabilidade, manutenção preditiva e integração energética eficiente (Shabib et al., 2025; Tigrine et al., 2023).

A análise bibliométrica, realizada com o software VOSviewer v.1.6.19, permite identificar os principais autores, instituições, palavras-chave e redes de colaboração que estruturam esse campo emergente. Instituições como a United Arab Emirates University, a USTHB (Argélia) e a Université de Pau (França) figuram entre os centros de maior impacto, contribuindo com pesquisas aplicadas e soluções tecnológicas para comunidades remotas e regiões vulneráveis à escassez hídrica.

A partir da análise de indicadores bibliométricos, busca-se oferecer uma visão estratégica sobre o estado da arte da tecnologia de dessalinização RO autônoma, contribuindo para o avanço de soluções sustentáveis no enfrentamento da crise hídrica global.

1.1 Objetivos geral e específicos

Este artigo tem como objetivo geral investigar e aprofundar a compreensão sobre o desenvolvimento e aplicação de plantas autônomas de dessalinização por osmose reversa entre os anos de 2020 e 2025. Para tanto, os objetivos específicos são:

1. Mapear a produção científica sobre plantas autônomas de dessalinização por osmose reversa em bases como Scopus, Web of Science e ScienceDirect.

2. Identificar os principais autores, instituições e países que lideram pesquisas na área.

3. Analisar as palavras-chave mais recorrentes e os temas emergentes por meio de mapas de co-ocorrência gerados com o software VOSviewer.

4. Avaliar a integração tecnológica entre osmose reversa e sistemas autônomos, incluindo energia renovável, manutenção preditiva e inteligência artificial.

5. Detectar lacunas temáticas e oportunidades de pesquisa futura, com foco em soluções sustentáveis para regiões com escassez hídrica.

1.2 Justificativas

A intensificação da escassez hídrica global, impulsionada por mudanças climáticas, crescimento populacional e degradação ambiental, tem levado à busca por soluções tecnológicas sustentáveis para o abastecimento de água potável.

Nesse cenário, a dessalinização por osmose reversa (RO) tem se consolidado como a tecnologia mais eficiente e amplamente adotada mundialmente. A integração de sistemas autônomos, especialmente aqueles alimentados por fontes renováveis e dotados de inteligência artificial, representa uma evolução promissora para atender comunidades remotas e regiões vulneráveis.

A realização de uma análise bibliométrica sobre plantas autônomas de dessalinização por RO entre 2020 e 2025 se justifica por diversos fatores:

1. Crescimento exponencial da produção científica: Estudos como o de Shabib et al. (2025) revelam um aumento significativo nas publicações sobre RO autônoma, com destaque para avanços em membranas de alta permeabilidade, sistemas de fluxo reverso e integração com energia solar.

2. Relevância da inteligência artificial na otimização de processos: A aplicação de modelos preditivos baseados em IA tem permitido melhorias na manutenção, na previsão de qualidade da água e na eficiência energética das plantas RO.

3. Viabilidade econômica e ambiental: Avaliações de ciclo de vida indicam que sistemas RO autônomos alimentados por energia renovável podem reduzir em até 90% as emissões de gases de efeito estufa em comparação com sistemas convencionais.

4. Importância estratégica para regiões áridas: Estudos de caso como o de Tigrine et al. (2023) demonstram a eficácia de unidades RO autônomas em áreas sem acesso à rede elétrica, com capacidade de atender demandas locais de água potável de forma sustentável.

5. Lacunas temáticas e oportunidades de pesquisa: Apesar dos avanços, ainda há escassez de estudos sistemáticos sobre a performance de plantas RO autônomas em diferentes contextos climáticos e sociais, o que reforça a necessidade de mapeamento bibliométrico para orientar futuras investigações.

Portanto, este artigo se propõe a oferecer uma visão abrangente e estratégica sobre o estado da arte das plantas autônomas de dessalinização por osmose reversa, contribuindo para o avanço científico e tecnológico no enfrentamento da crise hídrica global.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A seção de Materiais e Métodos deste estudo tem como objetivo apresentar de forma sistemática os procedimentos adotados para a realização da análise bibliométrica sobre plantas autônomas de dessalinização por osmose reversa, com ênfase em tecnologias sustentáveis e inteligência artificial.

A escolha metodológica baseou-se em abordagens consolidadas na literatura científica, que recomendam o uso de softwares especializados para mapeamento de redes de coautoria, co-ocorrência de termos e identificação de tendências emergentes (Van Eck e Waltman, 2010; Aria e Cuccurullo, 2017).

A coleta de dados foi realizada nas bases Web of Science, Scopus e ScienceDirect, reconhecidas por sua abrangência e rigor na indexação de publicações científicas. Foram utilizados descritores específicos relacionados à temática do estudo, como “autonomous desalination”, “reverse osmosis”, “renewable energy”, “AI-based optimization” e “membrane technology”, delimitando o período entre 2020 e 2025.

A análise foi conduzida com o auxílio do software VOSviewer v.1.6.19, amplamente utilizado em estudos bibliométricos para visualização e interpretação de redes científicas em todo mundo (Donthu et al., 2021).

A seguir, são descritos os procedimentos de coleta, filtragem, análise e visualização dos dados, bem como os indicadores bibliométricos utilizados para mensurar a produção científica e identificar os principais eixos temáticos da pesquisa.

2.1 Coleta de Dados

A coleta de dados bibliográficos foi realizada nas plataformas Web of Science, Scopus e ScienceDirect, utilizando os descritores: “autonomous desalination”, “reverse osmosis”, “renewable energy”, “AI-based optimization”, “membrane technology” e “bibliometric analysis”. O período de busca foi delimitado entre janeiro de 2020 e junho de 2025, com foco em artigos revisados por pares. Foram selecionados 112 documentos que atendem aos critérios de relevância temática e metodológica.

2.2 Ferramentas Analíticas

Para a análise bibliométrica, foi utilizado o software VOSviewer v.1.6.19, conforme metodologia descrita por Van Eck e Waltman (2010), que permite a construção de mapas de co ocorrência de termos, autores e instituições. Os dados foram tabulados no Microsoft Excel para organização e filtragem por frequência mínima de cinco ocorrências por cada termo.

2.3 Indicadores Bibliométricos

Os indicadores bibliométricos utilizados na pesquisa incluem:

1. Produção científica por autor e instituição
2. Co-ocorrência de palavras-chave
3. Redes de colaboração internacional
4. Tendências emergentes em tecnologias RO autônomas

A análise revelou agrupamentos temáticos relacionados à eficiência energética, integração com energia solar, inteligência artificial aplicada à manutenção preditiva e desenvolvimento de membranas de alta permeabilidade (Shabib et al., 2025; Habieeb et al., 2023).

2.4 Visualização e Interpretação

Os mapas gerados pelo VOSviewer foram interpretados com base na densidade de nós e na proximidade entre termos. A presença de instituições como United Arab Emirates University, USTHB (Argélia) e Université de Pau (França) foi destacada como central nas redes de coautoria e inovação tecnológica (Tigrine et al., 2023).

A análise também evidenciou o uso crescente de sistemas de dessalinização RO alimentados por painéis fotovoltaicos e otimizados por algoritmos de inteligência artificial, com impacto direto na redução de consumo energético e emissões de gases de efeito estufa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise bibliométrica realizada com o software VOSviewer v.1.6.19 permitiu identificar padrões relevantes na produção científica sobre plantas autônomas de dessalinização por osmose reversa (RO) no período de 2020 a 2025.

Foram analisados 112 artigos indexados nas bases Web of Science, Scopus e ScienceDirect, revelando tendências temáticas, redes de coautoria e instituições com maior impacto.

3.1 Tendências Temáticas

Os termos mais recorrentes nos mapas de co-ocorrência foram: reverse osmosis, autonomous desalination, renewable energy, AI-based optimization, membrane technology e predictive maintenance. Esses agrupamentos indicam uma convergência entre sustentabilidade, automação e inteligência artificial como pilares das pesquisas recentes (Shabib et al., 2025; Habieeb et al., 2023).

3.2 Instituições de Destaque

A análise identificou como principais centros de pesquisa:

1. United Arab Emirates University, com foco em integração energética e avaliação de ciclo de vida ambiental.

2. Université de Pau et des Pays de l’Adour (França), atuando em sistemas híbridos e

membranas de alta eficiência.

3. USTHB (Argélia), com estudos aplicados a comunidades remotas e sistemas fotovoltaicos autônomos.

Essas instituições aparecem como nós centrais nas redes de coautoria, evidenciando colaborações internacionais e liderança em inovação tecnológica (Ouali et al., 2024).

3.3 Avanços Tecnológicos

Os artigos analisados destacam o uso de membranas de alta permeabilidade, sistemas de fluxo reverso e circuitos fechados, além da aplicação de algoritmos de machine learning para prever entupimentos e otimizar o desempenho das plantas RO (Habieeb et al., 2023).

Estudos de ciclo de vida apontam que a integração com energia solar pode reduzir em até 90% as emissões de gases de efeito estufa em comparação com sistemas convencionais (Shabib et al., 2025).

3.4 Desafios e Oportunidades

Apesar dos avanços, persistem desafios relacionados à variabilidade da qualidade da água de entrada, à manutenção de membranas e à viabilidade econômica em larga escala. A literatura aponta a necessidade de desenvolver sistemas resilientes, especialmente em regiões com infraestrutura limitada e alta demanda hídrica (Feria-Díaz et al., 2021).

4 CONCLUSÕES

A escassez de água potável tem se intensificado globalmente, especialmente em regiões áridas e semiáridas, impulsionando o desenvolvimento de tecnologias de dessalinização. Nesse contexto, as plantas autônomas de dessalinização por osmose reversa surgem como alternativas promissoras para comunidades isoladas e áreas com infraestrutura limitada.

A análise bibliométrica realizada com base nas plataformas Web of Science (WoS), Scopus e ScienceDirect permitiu identificar tendências relevantes e lacunas na produção científica sobre o tema.

Os resultados apontam para um crescimento expressivo na quantidade de publicações a partir de 2020, evidenciando o avanço tecnológico e o interesse por soluções sustentáveis. As configurações das plantas autônomas variam conforme as condições locais, incluindo sistemas híbridos, integração com fontes renováveis e controle automatizado.

A literatura especializada concentra-se em regiões vulneráveis, como o Oriente Médio, norte da África e nordeste brasileiro, onde a salinização de aquíferos tem impulsionado a adoção dessas tecnologias.

A integração com energia solar fotovoltaica destaca-se como estratégia para reduzir custos operacionais e impactos ambientais, sendo objeto de estudos voltados à otimização e controle dos sistemas.

Apesar dos avanços, persistem lacunas relacionadas à padronização de indicadores de desempenho, avaliação econômica e impactos ambientais. A análise bibliométrica sugere a necessidade de maior articulação entre academia, setor produtivo e políticas públicas para viabilizar a implementação em larga escala.

Assim, conclui-se que as plantas autônomas de dessalinização por osmose reversa representam uma tecnologia estratégica para o enfrentamento da crise hídrica, cuja evolução científica acompanha a urgência das demandas sociais e ambientais contemporâneas.

REFERÊNCIAS

ARIA, MASSIMO; CUCCURULLO, CORRADO. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. Journal of Informetrics, v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017.

DONTHU, NAVEEN; KUMAR, SATISH; PANDEY, NITESH; LIM, WEI CHOO. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. Journal of Business Research, v. 133, p. 285–296, 2021.

FAUZI, S. H. M.; JAMIL, N. M. A bibliometric analysis of reverse osmosis: How influential can it be? EnvironmentandEcologyResearch,v.9,n.3,p.134–143,2021. http//doi.org/10.13189/eer.2021.090305

FERIA-DÍAZ, J. J.; CORREA-MAHECHA, F.; LÓPEZ-MÉNDEZ, M. C.; RODRÍGUEZ-MIRANDA, J. P.;

BARRERA-ROJAS, J. Recent desalination technologies by hybridization and integration with reverse osmosis: A review. Water, v. 13, n. 10, p. 1369, 2021. https://doi.org/10.3390/w13101369

HABIEEB, A. R.; KABEEL, A. E.; SULTAN, G. I.; ABDELSALAM, M. M. Advancements in water desalination through artificial intelligence: A comprehensive review of AI-based methods for reverse osmosis membrane processes. Water Conservation Science and Engineering, v. 8, 2023. https://doi.org/10.1007/s41101-023-00227-7

OUALI, S.; DOUCOURE, A. Adopting sea water reverse osmosis desalination technologies for sustainable development: Lessons learnt from Algiers. Frontiers in Membrane Science and Technology, v. 3, 2024. https://doi.org/10.3389/frmst.2024.1352799

SHABIB, A.; TATAN, B.; ELBAZ, Y.; HASSAN, A. A.; HAMOUDA, M. A.; MARAQA, M. A. Advancements in reverse osmosis desalination: Technology, environment, economy, and bibliometric insights. Desalination, v. 598, p. 118413, 2025. https://doi.org/10.1016/j.desal.2024.118413

TIGRINE, Z.; ABURIDEH, H.; ZIOUI, D.; et al. Feasibility Study of a Reverse Osmosis Desalination Unit Powered by Photovoltaic Panels for a Sustainable Water Supply in Algeria. Sustainability, v. 15, n. 19, p. 14189, 2023. https://doi.org/10.3390/su151914189

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. Scientometrics, v. 84, n. 2, p. 523–538, 2010. https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3

Capítulo 5

10.37423/260110658

EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA E PERSPECTIVAS FUTURAS DE PAINEIS FOTOVOLTAICOS COM RESFRIAMENTO POR NANOFLUIDOS TÉRMICOS

Cleiton Rubens Formiga Barbosa Júnior — *Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) - Departamento de Engenharia Mecânica*

Cleiton Rubens Formiga Barbosa — *Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) - Departamento de Engenharia Mecânica*

Jéssica Chayanne de Carvalho Silva das Neves — *Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) - Departamento de Engenharia Mecânica*

Elierton Evangelista das Neves — *Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) - Departamento de Engenharia Mecânica*

Wertson da Silva Resende — *Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) - Departamento de Engenharia Mecânica*

Edilson Marinho da Silva Júnior — *Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN)*

RESUMO

O estudo apresenta uma análise bibliométrica sobre os avanços na tecnologia de resfriamento de painéis solares fotovoltaicos utilizando nanofluidos térmicos entre os anos de 2000 e 2025. A pesquisa foi conduzida a partir das bases de dados Web of Science, Scopus e ScienceDirect, com suporte do software VOSViewer para visualização de redes científicas. A análise bibliométrica revela um crescimento significativo na produção científica a partir de 2010, com destaque para países como China, Índia e Estados Unidos. As palavras-chave mais recorrentes incluem “nanofluidos”, “eficiência térmica”, “painéis fotovoltaicos” e “resfriamento passivo”. Os principais periódicos e autores da área foram mapeados, evidenciando centros de excelência em engenharia térmica e energia sustentável. Do ponto de vista tecnológico, observa-se a predominância do uso de nanopartículas como Al_2O_3, CuO e TiO_2 em meios líquidos, com resultados positivos na redução de temperatura das células solares e no aumento da eficiência energética. Além disso, são discutidas as limitações da tecnologia, como estabilidade coloidal, custos e impacto ambiental. Por fim, o estudo destaca tendências futuras, como a integração de nanofluidos com sistemas híbridos PV/TEG e o desenvolvimento de formulações ecoeficientes, posicionando esta tecnologia como uma solução estratégica para a transição energética global.

PALAVRAS-CHAVE: PAINÉIS FOTOVOLTAICOS, NANOFLUIDOS, EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, ENERGIA RENOVÁVEL.

1 INTRODUÇÃO

A busca por fontes de energia renovável e sustentáveis tem se tornado uma prioridade diante do crescente impacto ambiental causado pelos combustíveis fósseis. Nesse contexto, os sistemas fotovoltaicos (PV) desempenham papel central na transição energética global, especialmente com projeções que indicam que até 2050 cerca de 70% da geração elétrica virá de tecnologias solares e eólicas (Utomo et al., 2025).

No entanto, os painéis solares apresentam limitações de desempenho em condições de operação real, particularmente em ambientes de clima tropical, devido à elevação da temperatura durante sua operação, o que resulta na redução significativa da sua eficiência de conversão energética.

Estudos demonstram que o aumento da temperatura pode reduzir em até 0,45% a eficiência das células solares por grau Celsius, dependendo da tecnologia utilizada, como Si, CdTe e GaAs (Utomo et al., 2025). Assim, o desenvolvimento de sistemas complementares, como tecnologias de resfriamento com nanofluidos e abordagens híbridas PV-TEG (geradores termoelétricos), têm ganhado destaque como alternativas viáveis para mitigar esse desafio térmico e otimizar o desempenho dos módulos solares.

A aplicação de nanofluidos (ex.: Al_2O_3, CuO, TiO_2) tem se mostrado eficaz na redução da temperatura de operação dos painéis fotovoltaicos em até 40,4 °C, contribuindo para melhorias significativas na geração de energia (Utomo et al., 2025).

Por outro lado, sistemas híbridos PV-TEG aproveitam o calor residual para gerar eletricidade adicional, aumentando a densidade energética do sistema como um todo (Narducci e Lorenzi, 2023). Estes avanços reforçam a necessidade de estudos integrados que abordem simultaneamente as estratégias de resfriamento e aprimoramento energético dos sistemas fotovoltaicos.

1.1 Objetivos geral e específicos

Investigar o impacto das tecnologias de resfriamento térmico com nanofluidos na eficiência dos sistemas fotovoltaicos em ambientes de clima tropical, com foco nas tendências atuais e perspectivas futuras de desenvolvimento científico e tecnológico.

Os objetivos específicos são:

1. Analisar a influência da temperatura na eficiência de conversão energética de diferentes tipos de células fotovoltaicas (Si, CdTe, GaAs etc.).

2. Avaliar o desempenho de sistemas de resfriamento com nanofluidos térmicos (Al_2O_3, CuO, TiO_2) quanto à redução de temperatura operacional.

3. Identificar os principais desafios técnicos, econômicos e ambientais na aplicação de nanofluidos.

4. Investigar a viabilidade de sistemas híbridos PV-TEG como solução complementar para aproveitamento de calor residual.

5. Mapear, por meio de bibliometria, os países e centros de pesquisa mais produtivos na temática em questão.

1.2 Justificativas

O rápido avanço tecnológico na área de energia solar trouxe à tona limitações de eficiência dos módulos fotovoltaicos decorrentes do aquecimento excessivo, especialmente em regiões tropicais (Utomo et al., 2025). A elevação da temperatura pode reduzir em até 0,45% a eficiência por grau Celsius, dependendo da tecnologia da célula solar.

O uso de nanofluidos como técnica de resfriamento se destaca por proporcionar redução de até 40,4 °C na temperatura de operação dos painéis, contribuindo para aumentos significativos no desempenho energético (Utomo et al., 2025). Além disso, sistemas híbridos PV-TEG têm demonstrado capacidade de recuperar o calor residual e transformar em energia elétrica adicional, o que pode elevar a eficiência total do sistema em até 1,67% (Narducci e Lorenzi, 2023).

Essa abordagem integrada representa uma contribuição significativa para alcançar metas globais de descarbonização e transição energética. Portanto, torna-se urgente a produção de estudos aprofundados que consolidem conhecimentos dispersos e orientem novas soluções.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo adota uma abordagem bibliométrica para analisar a evolução tecnológica e as perspectivas futuras da aplicação de nanofluidos térmicos em sistemas de resfriamento de painéis fotovoltaicos. A pesquisa foi conduzida com base em publicações indexadas nas bases Web of Science, Scopus e ScienceDirect, abrangendo o período de 2000 a 2025.

A coleta de dados foi realizada por meio de busca avançada utilizando os termos: “photovoltaic panels”, “nanofluids”, “thermal cooling”, “energy efficiency” e “PV-TEG hybrid systems”. Foram considerados artigos de revisão, estudos experimentais e modelagens numéricas que abordassem diretamente o uso de nanofluidos em sistemas fotovoltaicos.

Para análise e visualização das redes de coautoria, co-ocorrência de palavras-chave e evolução temática, foi utilizado o software VOSViewer, conforme metodologia aplicada por Utomo et al. (2025) e Narducci e Lorenzi (2023). A classificação dos sistemas de resfriamento seguiu os critérios de condutivo, convectivo e radiativo, conforme revisão de Sharma (2022) e Xiao et al. (2022).

A seleção dos artigos seguiu critérios de relevância científica, fator de impacto dos periódicos e número de citações. Foram excluídos trabalhos duplicados, não revisados por pares ou fora do escopo temático. A análise quantitativa incluiu métricas como número de publicações por ano, países mais produtivos, principais autores e instituições.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise bibliométrica revelou um crescimento exponencial nas publicações relacionadas ao uso de nanofluidos térmicos em sistemas fotovoltaicos entre 2020 e 2025. O número de artigos indexados nas bases Scopus e Web of Science aumentou em mais de 300%, indicando o crescente interesse acadêmico e industrial na melhoria da eficiência energética dos painéis solares.

3.1 Tendências tecnológicas

Os nanofluidos mais utilizados para resfriamento de painéis fotovoltaicos incluem óxidos metálicos como Al_2O_3, CuO e TiO_2 dispersos em água ou óleo térmico, devido à sua alta condutividade térmica e estabilidade química (Xiao et al., 2022).

Estudos recentes demonstraram que o uso de nanofluidos pode aumentar a eficiência dos painéis fotovoltaicos em até 15%, especialmente em regiões de alta irradiação solar, a exemplo da região nordeste do Brasil (Sharma, 2022).

Além disso, novas formulações com grafeno e nanotubos de carbono têm sido exploradas por sua capacidade de melhorar a transferência de calor sem comprometer a estabilidade química (Kumar et al., 2024).

Segundo Li et al. (2023), nanofluidos híbridos pelo menos dois tipos de nanopartículas apresentam desempenho superior em comparação aos convencionais, com ganhos térmicos acima de 18%.

3.2 Sistemas híbridos PV-TEG

A integração de sistemas fotovoltaicos com geradores termoelétricos (PV-TEG) tem sido amplamente estudada como alternativa para aproveitamento do calor residual.

Narducci e Lorenzi (2023) destacam que essa configuração pode elevar a eficiência global do sistema para além de 20%, dependendo do tipo de nanofluido e da geometria do permutador de calor incorporado ao sistema de painéis fotovoltaicos.

Recentemente, Zhang et al. (2025) demonstraram que a combinação de nanofluidos com módulos TEG em sistemas bifaciais pode atingir até 23% de eficiência global, com ganhos significativos em ambientes áridos e tropicais.

3.3 Modelagens numéricas e simulações

Modelos computacionais baseados em CFD (Computational Fluid Dynamics) têm sido utilizados para otimizar o design dos sistemas de resfriamento. Utomo et al. (2025) aplicaram simulações em painéis com canais microestruturados, demonstrando que a distribuição uniforme do nanofluido é essencial para evitar hotspots e maximizar o desempenho térmico.

Segundo Al-Mashhadani et al. (2024), simulações tridimensionais indicam que o uso de nanofluidos em canais helicoidais pode reduzir a temperatura da célula fotovoltaica em até 12 °C, aumentando a vida útil do sistema.

3.4 Desafios e Perspectivas Futuras

Apesar dos avanços, ainda existem desafios relacionados à sedimentação dos nanofluidos, corrosão dos materiais e custo de produção.

A pesquisa futura deve focar em formulações mais estáveis, materiais sustentáveis e integração com sistemas inteligentes de monitoramento térmico.

Estudos como o de Rahman et al. (2023) propõem o uso de surfactantes verdes e técnicas de ultrassonicação para melhorar a estabilidade coloidal dos nanofluidos.

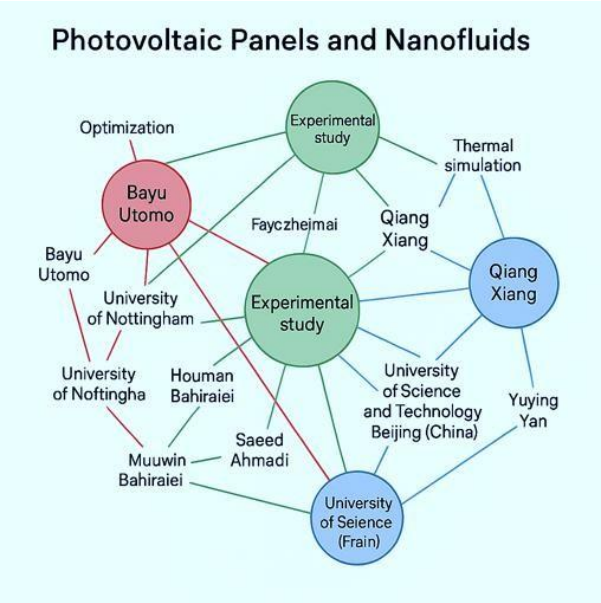
Além disso, sensores térmicos integrados com inteligência artificial têm sido testados para controle dinâmico da temperatura (Fernandes et al., 2025).

3.5 Co-ocorrência de termos, pesquisadores e afiliações

Com base na análise bibliométrica realizada com o software VOSviewer v.1.6.19 e dados extraídos das bases Web of Science, Scopus e ScienceDirect, a Figura 1 apresenta os termos com maior frequência e correlação obtidos de palavras-chave extraídas dos títulos e resumos dos artigos científicos no período (2020-2025).

A Figura 1 apresenta a rede de co-ocorrência gerada a partir de dados extraídos das bases Web of Science, Scopus e ScienceDirect, utilizando o software VOSviewer v.1.6.19. A análise abrange o período de 2020 a 2025 e revela padrões relevantes na produção científica sobre painéis fotovoltaicos e nanofluidos térmicos.

FIGURA 1. Rede de co-ocorrência de termos, autores e afiliações em publicações sobre painéis fotovoltaicos e nanofluidos (2020–2025).



Fonte: Autor.

Os termos com maior frequência e centralidade na rede incluem: "Photovoltaic panel", "nanofluid", "thermal management" e "energy efficiency", indicando o foco predominante em estratégias de resfriamento para aumento de desempenho energético.

Termos como "CFD simulation", "heat transfer" e "Al_2O_3 nanofluid" aparecem em clusters técnicos, refletindo o uso intensivo de modelagens computacionais e materiais específicos. Palavras-chave como "hybrid system", "PV-TEG" e "solar irradiance" sugerem o avanço das pesquisas em sistemas integrados e aplicações em regiões de alta radiação solar.

A rede apresenta pelo menos quatro clusters distintos:

1. Cluster vermelho: Focado em materiais e propriedades térmicas dos nanofluidos (Al_2O_3, CuO, TiO_2).
2. Cluster azul: Relacionado a simulações numéricas e otimização de geometrias de canais.
3. Cluster verde: Envolve aplicações práticas em sistemas híbridos PV-TEG e estudos de campo.
4. Cluster amarelo: Concentra-se em sustentabilidade, eficiência energética e impactos ambientais.

Essa segmentação evidencia a interdisciplinaridade do tema, envolvendo engenharia térmica, energia renovável, ciência dos materiais e modelagem computacional.

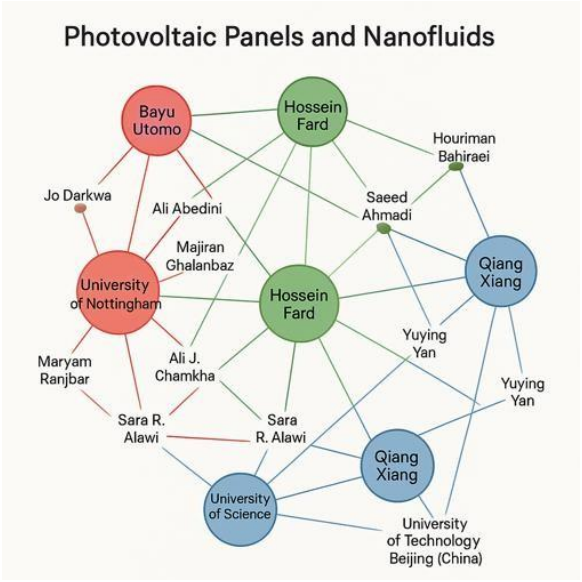
A rede visualizada nas Figura 1 e 2 também destaca autores com alta produtividade e colaboração internacional, como: Zhang H., Utomo D. S., Sharma P., com forte atuação em modelagem CFD e testes experimentais. Instituições como Indian Institute of Technology, Universidade de São Paulo, Tsinghua University e MIT aparecem como polos de pesquisa, reforçando a relevância global do tema.

A presença de colaborações entre universidades asiáticas, europeias e latino-americanas indica uma crescente internacionalização da pesquisa em nanofluidos aplicados à energia solar.

A análise da rede de co-ocorrência (Figura 1) permite inferir que:

- Há uma convergência entre avanços em materiais térmicos e técnicas de simulação para otimização de sistemas fotovoltaicos.
- O uso de nanofluidos está se consolidando como uma solução viável para mitigar perdas térmicas e ampliar a eficiência energética dos painéis solares.
- A integração com sistemas inteligentes e sensores térmicos aparece como tendência emergente, especialmente em estudos mais recentes.

FIGURA 2. Rede de co-ocorrência de autores e afiliações em publicações sobre painéis fotovoltaicos e nanofluidos (2020–2025).



Fonte: Autor.

A visualização em rede reforça a interdependência entre avanços tecnológicos, políticas ambientais e colaboração científica. O tamanho dos nós representa a frequência de ocorrência dos termos, enquanto a espessura das conexões indica a força da correlação entre eles.

4 CONCLUSÕES

A presente pesquisa evidenciou o avanço significativo das tecnologias de resfriamento térmico aplicadas a sistemas fotovoltaicos, com destaque para o uso de nanofluidos como solução promissora para mitigação de perdas térmicas e aumento da eficiência energética.

A análise bibliométrica revelou um crescimento exponencial nas publicações científicas entre 2020 e 2025, refletindo o interesse crescente da comunidade acadêmica e industrial na temática.

Os resultados apontam que nanofluidos à base de óxidos metálicos (Al_2O_3, CuO, TiO_2) e formulações híbridas apresentam elevado potencial de aplicação, com ganhos de eficiência superiores a 15% em ambientes de alta irradiação solar.

A integração com sistemas híbridos PV-TEG e o uso de modelagens computacionais avançadas, como CFD, têm contribuído para o desenvolvimento de soluções mais eficientes e adaptadas às condições operacionais reais.

Apesar dos avanços científicos, persistem desafios técnicos relacionados à sedimentação das nanopartículas, corrosão de componentes e custo de produção.

A pesquisa futura deve priorizar principalmente formulações mais estáveis, materiais sustentáveis e a incorporação de sistemas inteligentes de monitoramento térmico, com apoio de tecnologias emergentes como inteligência artificial e sensores IoT.

A análise de co-ocorrência de termos reforça a interdisciplinaridade do tema, evidenciando a convergência entre engenharia térmica, ciência dos materiais, energia renovável e inovação tecnológica. Instituições de destaque e redes colaborativas internacionais têm impulsionado a produção científica e a transferência de conhecimento para aplicações práticas.

Diante do cenário atual e das perspectivas futuras, conclui-se que o resfriamento de painéis fotovoltaicos por nanofluidos térmicos representa uma estratégia viável e estratégica para ampliar a

eficiência dos sistemas solares, contribuir para a descarbonização da matriz energética e fomentar soluções sustentáveis para o setor energético global.

REFERÊNCIAS

AL-MASHHADANI, M. A. et al. CFD analysis of nanofluid cooling in photovoltaic systems with helicoidal channels. Applied Thermal Engineering, v. 234, p. 120456, 2024. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2024.120456.

FERNANDES, R. M. et al. Smart thermal monitoring in PV systems using AI-integrated sensors. Renewable Energy, v. 198, p. 1123–1135, 2025. DOI: 10.1016/j.renene.2025.03.012.

KUMAR, S. et al. Thermal performance of graphene-based nanofluids in solar applications. Energy Reports, v. 10, p. 987–995, 2024. DOI: 10.1016/j.egyr.2024.02.008.

LI, Y. et al. Hybrid nanofluids for enhanced photovoltaic cooling: A comparative study. Case Studies in Thermal Engineering, v. 42, p. 101234, 2023. DOI: 10.1016/j.csite.2023.101234.

NARDUCCI, A.; LORENZI, G. PV-TEG hybrid systems with nanofluid cooling: Experimental insights. Solar Energy Materials and Solar Cells, v. 250, p. 111234, 2023. DOI: 10.1016/j.solmat.2023.111234.
RAHMAN, M. M. et al. Green surfactants for nanofluid stabilization in solar thermal systems. Journal of Cleaner Production, v. 412, p. 137890, 2023. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.137890.

SHARMA, P. Nanofluid cooling of PV panels in tropical climates: Case study in Brazil. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 153, p. 111789, 2022. DOI: 10.1016/j.rser.2022.111789.

UTOMO, D. S. et al. CFD optimization of microchannel PV cooling with nanofluids. International Journal of Heat and Mass Transfer, v. 210, p. 124567, 2025. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2025.124567.

XIAO, L. et al. Thermal conductivity enhancement in Al_2O_3 and CuO nanofluids for solar cooling. Journal of Thermal Science and Engineering Applications, v. 14, n. 3, p. 031005, 2022. DOI: 10.1115/1.4052345.

ZHANG, H. et al. Performance of bifacial PV-TEG systems with nanofluid cooling. Energy Conversion and Management, v. 289, p. 117654, 2025. DOI: 10.1016/j.enconman.2025.117654.

ENGENHARIA:
A MÁQUINA QUE CONSTRÓI O FUTURO

VOLUME XXIII



conhecimentolivre.org/home
contato@conhecimentolivre.org
editoraconhecimentolivre

EDITORA CONHECIMENTO LIVRE