



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO AMBIENTAL

VÍVIAN APARECIDA BARRETO DE LIMA

ÍNDICE AGROAMBIENTAL DE PRESSÃO POR AGROTÓXICOS - IAPA
APLICADO NA BACIA DO CAPIBARIBE, PERNAMBUCO, BRASIL

Recife, 2025

L732i Lima, Vivian Aparecida Barreto de.
Índice agroambiental de pressão por agrotóxicos – IAPA aplicado na Bacia do Capibaribe, Pernambuco, Brasil. / Vivian Aparecida Barreto de Lima. – Recife, PE: A autora, 2025.
120 f. ; il. ; 30 cm.

Orientadora: Profª. Drª. Rogéria Mendes do Nascimento.
Coorientadora: Profª. Drª. Marília Regina Costa Castro Lyra.

Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE, Campus Recife, Coordenação de Pós-Graduação - Mestrado Profissional em Gestão Ambiental, 2025.

Inclui referências e Apêndices.

1. Recursos Hídricos. 2. Indicadores Ambientais 3. Agrotóxicos e impactos Ambientais. 4. Gestão Ambiental. I. Nascimento, Rogéria Mendes do. (Orientadora). II. Lyra, Marília Regina Costa Castro (Coorientadora). III. Título.

363.7394 CDD (22 Ed.)

VÍVIAN APARECIDA BARRETO DE LIMA

**ÍNDICE AGROAMBIENTAL DE PRESSÃO POR AGROTÓXICOS - IAPA
APLICADO NA BACIA DO CAPIBARIBE, PERNAMBUCO, BRASIL**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco.

Profa. Dra. Rogéria Mendes do Nascimento
Orientadora

Profa. Dra. Marília Regina Costa Castro Lyra
Co-Orientadora

Profa. Dra. Sofia Suely Ferreira Brandao Rodrigues
Co-Orientadora

Recife, 2025

VÍVIAN APARECIDA BARRETO DE LIMA

**ÍNDICE AGROAMBIENTAL DE PRESSÃO POR AGROTÓXICOS - IAPA
APLICADO NA BACIA DO CAPIBARIBE, PERNAMBUCO, BRASIL**

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco como parte integrante dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental.

Data da aprovação: 10/07/2025

BANCA EXAMINADORA

Profª. Dra. Rogéria Mendes do Nascimento
Orientadora - IFPE

Profª. Dra. Marília Regina Costa Castro Lyra
Co-Orientadora - IFPE

Profª. Dra. Sofia Suely Ferreira Brandao Rodrigues
Co-Orientadora - IFPE

Profª. Dra. Maria Tereza Duarte Dutra
Examinadora Interna - MPGA - IFPE

Prof. Dr. José Luis Said Cometti
Examinador Externo – CPRH

APRESENTAÇÃO

A autora possui graduação em Licenciatura Plena em Ciências Biológicas (2009), pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, Especialização em Auditoria, perícia e Licenciamento Ambiental (2022) e em Educação ambiental e Sustentabilidade (2024) pela Universidade Única de Ipatinga e curso Técnico em Química industrial (2006) pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (antigo CEFET-PE).

Atuou por 15 anos como Assistente em Gestão Ambiental na Diretoria de Licenciamento Ambiental da Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) exercendo a função de fiscal ambiental nas áreas de licenciamento, fiscalização e monitoramento de atividades industriais em todo o estado de Pernambuco.

Atualmente é Técnica em Assuntos Educacionais na Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE) e integra a Comissão permanente de Gestão de Logística Sustentável, além de atuar em outras ações relacionadas à sustentabilidade e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) dentro da gestão da instituição.

Durante o curso de Mestrado Profissional em Gestão Ambiental teve o projeto aprovado para concessão de bolsa pela Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação (Propesq) do IFPE, o que proporcionou a execução da presente dissertação e vários artigos científicos e resumos publicados e submetidos, com enfoque na área de monitoramento ambiental e gestão de bacias hidrográficas.

Cursar o Mestrado Profissional em Gestão Ambiental proporcionou um despertar para o avanço profissional na área acadêmica e, sobretudo, um interesse no prosseguimento da pesquisa, estudando os impactos do uso de agrotóxicos nas bacias hidrográficas. No âmbito de sua trajetória pessoal, a autora destaca o divisor de águas que será a obtenção deste título, que lhe proporcionará a segurança técnica necessária para exercer suas atividades e conquistar novos horizontes.

Com gratidão, **dedico** a Deus por me sustentar em cada passo dessa jornada.
Ao meu filho Bernardo, por ser minha inspiração diária. Meu amor, você me dá sorte!
À minha mãe Cristina e irmã Jéssica, pelo amor e apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

Ao **Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)** por participar da minha vida acadêmica desde o curso técnico em química em 2004, até o Mestrado Profissional em Gestão Ambiental (MPGA).

À **Profa. Dra. Rogéria Mendes do Nascimento** pelo apoio integral, paciência, disponibilidade e confiança ao longo de todo o curso de mestrado e no desenvolvimento deste trabalho.

As **Profas. Dra. Marília Regina Costa Castro Lyra e Dra. Sofia Suely Ferreira Brandão**, por atuarem na co-orientação com ensinamentos e contribuições neste trabalho e ao longo de todo o curso.

A todos os professores do MPGA, em especial a **Dra. Rogéria Mendes do Nascimento, Dra. Marília Regina Costa Castro Lyra, Dra. Sofia Suely Ferreira Brandão, Dra. Maria Tereza Duarte Dutra, Dra. Renata Maria Caminha Mendes de Oliveira Carvalho, Dr. Eduardo José Alcício de Oliveira e Dr. Ronaldo Faustino da Silva**.

Aos professores, membros da banca de avaliação, **Dra. Maria Tereza Duarte Dutra e Dr. José Luis Said Cometti**, pelas contribuições valiosas para o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os **meus amigos e colegas** da Pós Graduação pelo apoio integral em todas as atividades que nos propomos a participar, em especial a Layane Gomes, Keila Pessoa, Adeilton Farias, Aline Rodrigues e Luiz Miranda

À bibliotecária **Amanda Tavares** e ao secretário do programa de pós-graduação **Marcus Bernardo**, pela presteza e competência na realização das atividades e apoio.

À **Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH)** e todo seu corpo técnico, em especial a Unidade de Licenciamento Industrial, nas pessoas de Stella Araújo, Adelino Vieira, Helder Barreto, Zanoni Ribeiro (hoje aposentado), Rita de Cássia, Lucia Raele e Maria do Carmo, além de Mirella Moraes e Heloísa Mônica, que se encontram em outros cargos, mas que foram minha família durante esses 15 anos atuando nesta unidade.

Àqueles que, de alguma maneira, colaboraram para a concretização deste trabalho, registro meus sinceros agradecimentos.

“Somos chamados a tornar-nos os instrumentos de Deus Pai para que o nosso planeta seja o que Ele sonhou ao criá-lo e corresponda ao seu projecto de paz, beleza e plenitude.”

Papa Francisco, Laudato Si’, 2015.

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento do Índice Agroambiental de Pressão por Agrotóxicos na Bacia do Rio Capibaribe (IAPA-Capibaribe), com o objetivo de avaliar a pressão potencial do uso de agrotóxicos sobre os recursos hídricos da região. O cálculo do índice baseou-se em dados da pesquisa Produção Agrícola Municipal (PAM), realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e no Perfil de Venda de Agrotóxicos, publicado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), ambos referentes ao ano de 2023. Foram considerados três indicadores principais: I_1 – pressão ambiental, que estima o consumo de agrotóxicos por município; I_2 – periculosidade ambiental, calculado a partir dos ingredientes ativos utilizados nas principais culturas agrícolas da bacia; e I_3 – precipitação média anual, associada ao potencial de escoamento superficial. O IAPA-Capibaribe mostrou-se uma ferramenta eficiente para apoiar a gestão ambiental da bacia, subsidiando ações de licenciamento, fiscalização e monitoramento, além de servir como instrumento auxiliar na formulação de políticas públicas relacionadas à saúde e ao abastecimento hídrico.

Palavras-chave: Recursos hídricos, agroquímicos, indicadores ambientais, indicadores de sustentabilidade, índices ambientais

ABSTRACT

This paper presents the development of the Agro-Environmental Pesticide Pressure Index for the Capibaribe River Basin (IAPA-Capibaribe), aimed at assessing the potential pressure of pesticide use on the region's water resources. The index calculation was based on data from the Municipal Agricultural Production Survey (PAM), conducted by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), and the Pesticide Sales Profile, published by the Brazilian Institute of the Environment and Renewable Natural Resources (IBAMA), both referring to the year 2023. Three main indicators were considered: I_1 – environmental pressure, which estimates pesticide consumption per municipality; I_2 – environmental hazard, calculated based on the active ingredients used in the basin's main agricultural crops; and I_3 – average annual rainfall, associated with the potential for surface runoff. The IAPA-Capibaribe proved to be an effective tool to support environmental management in the basin, aiding in licensing, inspection, and monitoring actions, as well as serving as an auxiliary instrument in the formulation of public policies related to health and water supply.

Keywords: Water resources, agricultural pesticides, environmental indicators, sustainability indicators, environmental indices

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.....	24
Figura 2 -	Processos responsáveis pelo destino dos agrotóxicos no meio ambiente.	35
Figura 3 -	Localização da bacia hidrográfica do Rio Capibaribe, estado de Pernambuco / Nordeste / Brasil.....	48
Figura 4 -	Isoietas anuais médias (mm) para a bacia hidrográfica do Rio Capibaribe.....	51
Figura 5 -	Divisão das macrozonas baseado no modelo MAGRE.....	54
Figura 6 -	Diagrama unifilar da bacia do Rio Capibaribe, Baixo Capibaribe (Macrozona - MZ3).....	55
Figura 7 -	Mapa temático do Indicador I_1 de Pressão Ambiental.....	72
Figura 8 -	Potencial de Periculosidade Ambiental dos agrotóxicos comercializados na Bacia do Capibaribe - PE.....	73
Figura 9 -	Agrotóxicos utilizados na Bacia do Capibaribe, classificados por alvo preferencial.....	74
Figura 10 -	Mapa temático do Indicador I_2 de Periculosidade Ambiental.....	81
Figura 11 -	Mapa temático do Indicador I_3 de Pluviosidade média anual.....	84
Figura 12 -	Mapa temático do Índice Agroambiental de Uso de agrotóxicos - IAPA	90
Figura 13 -	Número de notificações de intoxicação por agrotóxicos no período de 2019 a 2024, para os municípios da Bacia do Capibaribe.....	97

LISTA DE TABELA

Tabela 1 -	Atribuição de valor para o Indicador I_1	58
Tabela 2 -	Atribuição de valor para o Indicador I_2	60
Tabela 3 -	Atribuição de valor para o Indicador I_3	61
Tabela 4	Atribuição de valor para o $IAPA_i$	63
Tabela 5 -	Estimativa Proporcional de Agrotóxicos na Bacia do Capibaribe por Município (toneladas de ingrediente ativo (IA) de Produto Formulado)..	67
Tabela 6 -	Classe de impacto Indicador I_1 por município da bacia hidrográfica do Capibaribe.....	70
Tabela 7 -	Cálculo da periculosidade ambiental média dos agrotóxicos utilizados no cultivo do abacate e comercializados em Pernambuco no ano de 2023.....	75
Tabela 8 -	Média da escala de risco ambiental (PPA médio) para cada cultura agrícola cultivada na bacia do Capibaribe em 2023.....	76
Tabela 9 -	Cálculo para obtenção de escala de risco ambiental (ERA) médio para o município de Belo Jardim-PE.....	78
Tabela 10 -	Classe de impacto Indicador I_2 por município da bacia hidrográfica do Capibaribe.....	79
Tabela 11 -	Classe de impacto Indicador I_3 por município da bacia hidrográfica do Capibaribe.....	82
Tabela 12 -	Tabulação dos Indicadores e do Índice Agroambiental de Uso de agrotóxicos - IAPA para o ano de 2023.....	86
Tabela 13 -	Municípios de maior Índice Agroambiental de Uso de agrotóxicos - IAPA.....	91

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Agrotóxicos que compõem a lista de padrões de qualidade de água da Conama 357/05 e seus VM.....	28
Quadro 2 -	Classificação dos principais tipos de agrotóxicos de acordo com os grupos químicos e nomes comerciais.....	32
Quadro 3 -	Classificação Toxicológica dos agrotóxicos.....	33
Quadro 4 -	Descrição dos indicadores para avaliação hidroambiental em bacias hidrográficas.....	43
Quadro 5 -	Municípios que integram a bacia hidrográfica do Rio Capibaribe.....	49
Quadro 6 -	Correlação entre Potencial de Periculosidade Ambiental (PPA) e a escala de risco ambiental.....	60

LISTA DE SIGLAS

ADAGRO	Agência de Defesa e Fiscalização Agropecuária de Pernambuco
ANA	Agência Nacional da Água
ANVISA	Agência de Vigilância Sanitária
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
CETENE	Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
ERA	Escala de Risco Ambiental
IA	Ingrediente Ativo
IAPA	Índice Agroambiental De Pressão Por Agrotóxicos para a Bacia do Capibaribe
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFPE	Instituto Federal de Pernambuco
IQA	Índice de Qualidade da Água
ITEP	Instituto de Tecnologia de Pernambuco
LSPA	Levantamento Sistemático da Produção Agrícola
MMA	Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
MZ	Macrozona
OD	Oxigênio dissolvido

ODS	Objetivo do desenvolvimento sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PAM	Produção Agrícola Municipal
PERH-PE	Política Estadual de Recursos Hídricos
PHA Capibaribe	Plano Hidroambiental da Bacia Hidrográfica do Capibaribe
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
POP	Procedimentos Operacionais Padrão
PPA	Potencial de Periculosidade Ambiental
RHN	Rede Hidrometeorológica Nacional
RMR	Região Metropolitana do Recife
RNQA	Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade de Água
SEMAS	Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade de Pernambuco
SIAGRO	Sistema de Monitoramento do Comércio e Uso de Agrotóxicos do Estado do Paraná
SINAN	Sistema de Informações de Agravos de Notificação
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
TED	Termo de Execução Descentralizada
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
UP	Unidade de Planejamento
UPH	Unidades de Planejamento Hídrico
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiental
VSPEA	Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
2	OBJETIVOS.....	21
2.1	OBJETIVO GERAL.....	21
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	22
3.1	BACIAS HIDROGRÁFICAS E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.....	22
3.1.1	Gestão de recursos hídricos.....	22
3.1.2	Monitoramento ambiental dos recursos hídricos.....	25
3.2	EFEITOS DOS AGROTÓXICOS NA QUALIDADE DA ÁGUA.....	30
3.2.1	Definição de agrotóxicos.....	30
3.2.2	Classificação dos agrotóxicos.....	31
3.2.3	Agrotóxicos na água.....	34
3.2.4	Contaminação por agrotóxicos na Bacia do Capibaribe.....	36
3.3	ÍNDICES E INDICADORES AMBIENTAIS.....	38
3.3.1	Índices e indicadores no monitoramento de agrotóxicos.....	41
3.3.2	Índices e Indicadores de Sustentabilidade na Bacia Hidrográfica do Capibaribe.....	42
3.4	OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS).....	44
4	METODOLOGIA.....	46
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	46

4.2	INDICADORES PROPOSTOS PARA O DESENVOLVIMENTO DO ÍNDICE AGROAMBIENTAL DE PRESSÃO POR AGROTÓXICOS NA BACIA DO RIO CAPIBARIBE (IAPA-CAPIBARIBE).....	56
4.2.1	Indicador I₁	57
4.2.2	Indicador I₂	58
4.2.3	Indicador I₃	60
4.2.4	Índice Agroambiental de Pressão por Agrotóxicos na Bacia do Rio Capibaribe (IAPA-Capibaribe).....	61
4.3	PRODUÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS.....	63
4.4	PRODUÇÃO DE MANUAL TÉCNICO.....	63
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	64
5.1	INDICADOR I ₁ - INDICADOR DE PRESSÃO AMBIENTAL.....	64
5.2	INDICADOR I ₂ - INDICADOR DE PERICULOSIDADE AMBIENTAL	73
5.3	INDICADOR I ₃ - PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL.....	82
5.4	ÍNDICE AGROAMBIENTAL DE PRESSÃO POR AGROTÓXICOS NA BACIA DO RIO CAPIBARIBE (IAPA-CAPIBARIBE).....	85
5.5	APLICABILIDADE PARA A GESTÃO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CAPIBARIBE.....	91
5.5.1	Definição de pontos prioritários de coleta e fiscalização	93
5.5.2	Apoio na Tomada de Decisão para Licenciamento Ambiental	94
5.5.3	Monitoramento da qualidade das águas destinadas ao abastecimento público	95
5.5.4	Subsídio para o programa Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos - VSPEA	96
5.6	MANUAL TÉCNICO	97

6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	99
---	----------------------------------	----

REFERÊNCIAS

**APÊNDICE A - CÁLCULO PARA OBTENÇÃO DE ESCALA DE RISCO
AMBIENTAL (ERA) MÉDIO PARA OS MUNICÍPIOS DA BACIA DO RIO
CAPIBARIBE - PERNAMBUCO**

APÊNDICE B - MANUAL TÉCNICO

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial à vida, sendo fundamental para a manutenção dos ecossistemas, o desenvolvimento das atividades humanas e a garantia da saúde pública. Nesse contexto, a qualidade da água tem papel crucial, pois define se ela está apta ou não para determinado uso, sendo influenciada por fatores naturais e, principalmente, pelas atividades antrópicas, como o lançamento de efluentes sanitários e industriais, além do uso de agrotóxicos provenientes do seu uso na agricultura. O monitoramento contínuo da qualidade da água torna-se, portanto, fundamental para a gestão dos recursos hídricos e para a prevenção de impactos à saúde e ao meio ambiente.

Os agrotóxicos são os poluentes com maior incidência nos corpos hídricos superficiais e subterrâneos do mundo todo devido sua ampla utilização em áreas agrícolas e urbanas. Segundo Nascimento (2013), englobam uma quantidade de moléculas com diferentes propriedades que lhes conferem diferentes graus de persistência ambiental, mobilidade e potenciais tóxico, carcinogênico, mutagênico e teratogênico ou algum efeito endócrino a diversos organismos não alvos, inclusive o ser humano.

Os números relativos ao Brasil apontam a ascensão do consumo de agrotóxicos. Em 2019 o uso de agrotóxicos foi de nove vezes maior do que em 1990, fazendo do país o principal consumidor global, junto com os Estados Unidos (Pagenotto, 2019). Em Pernambuco, o Relatório ‘Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos em Pernambuco: intersetorialidade e ações no Sistema Único de Saúde’ apontou que houve um aumento de 46% no volume comercializado entre 2005 e 2017, apesar da redução de 30% na área plantada no mesmo período (PERNAMBUCO, 2020).

De acordo com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2022), a contaminação dos recursos hídricos por agrotóxicos representa uma preocupação central para o alcance do ODS 6, que trata do acesso universal à água potável e ao saneamento. Em especial, a meta 6.3 enfatiza a necessidade de melhorar a qualidade da água por meio da redução da poluição, da eliminação de despejos e da diminuição do lançamento de substâncias perigosas nos corpos hídricos.

A crescente degradação dos recursos hídricos impõe a necessidade de políticas públicas que incorporem instrumentos capazes de avaliar, prevenir e mitigar os impactos causados pelas atividades antrópicas. Nesse sentido, a legislação ambiental brasileira estabelece limites e padrões para o uso sustentável da água, como os previstos na Resolução CONAMA nº 357/2005, que define as classes de qualidade dos corpos hídricos e os valores

máximos permitidos (VMPs) para diversas substâncias, incluindo agrotóxicos (BRASIL, 2005). Complementarmente, a Portaria GM/MS nº 888/2021 estabelece os padrões de potabilidade da água para consumo humano, incluindo limites para agrotóxicos e seus metabólitos (BRASIL, 2021).

Segundo o Atlas Águas (ANA, 2021), 43% das cidades no Brasil recebem água de mananciais superficiais, 40% de fontes subterrâneas e 17% têm abastecimento misto. O estado de Pernambuco é um dos estados cujo abastecimento se dá predominantemente por mananciais superficiais, os quais atendem 85% das sedes urbanas (157 sedes). Apenas 5% das sedes municipais do estado são abastecidas por mananciais exclusivamente subterrâneos (nove sedes) e 10% utilizam ambos os mananciais (19 sedes). Não obstante, cerca de 80% do território pernambucano está sob a influência do clima semiárido, o que gera amplas repercussões ambientais, entre as quais se destacam a escassez de água, solos rasos, baixa fertilidade agrícola, elevada evapotranspiração e intensificação dos processos de desertificação (SEMAS, 2020).

No que tange a bacia hidrográfica do Rio Capibaribe é relevante destacar que 96,81% do volume anual captado é direcionado ao abastecimento público, sendo a barragem de Jucazinho o maior reservatório para abastecimento humano do Agreste, com capacidade para armazenar mais de 327 milhões de metros cúbicos de água (COMPESA, 2024). A bacia dispõe de 5 reservatórios (Jucazinho, Carpina, Tapacurá, Goitá e Poço Fundo) que concentram mais de 90% da capacidade total de acumulação da bacia.

Na bacia do Capibaribe, muitos estudos mostram a presença de agrotóxicos em águas superficiais e sedimentos, tais como Nascimento (2013), Moura (2016), Araújo (2018), Oliveira (2019) e Marques (2025). Tais estudos alertam para a possibilidade de contaminação por agrotóxicos em águas para abastecimento humano e destacam a necessidade de uma investigação mais precisa dos locais de maior predominância desses contaminantes, direcionando a ação dos órgãos de controle no intuito de garantir a proteção da saúde humana e do meio ambiente.

No entanto, as autoridades responsáveis pelo monitoramento ambiental de agrotóxicos no Estado de Pernambuco, a Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) e o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA), não dispõem de ações sistemáticas voltadas à análise e ao monitoramento da presença de agrotóxicos nos corpos hídricos, o que compromete a obtenção de dados consistentes sobre a contaminação ambiental por esses compostos no estado.

Nesse contexto de comprovada presença de agrotóxicos em corpos hídricos e da ausência de um monitoramento ambiental sistemático para a identificação das fontes de poluição, é necessário desenvolver metodologias capazes de integrar informações ambientais, agrícolas e hidrográficas possibilitando uma atuação mais estratégica por parte dos órgãos ambientais e o fortalecimento das ações de prevenção e mitigação da contaminação.

Conforme Casagrande (2018), índices são ferramentas que podem auxiliar na interpretação de uma grande quantidade de dados agregados. O autor foi o idealizador do índice agroambiental aplicado no estado no Paraná, agregando dados sobre as estimativas da realidade do volume de comercialização e do uso de agrotóxicos no estado.

No estado de Pernambuco não há nenhum índice agroambiental acerca do uso de agrotóxicos. Nesse contexto, esta pesquisa propõe a aplicação do índice agroambiental, adaptado a partir do modelo de Casagrande (2018), que permitirá avaliar o potencial impacto do uso de agrotóxicos sobre a qualidade da água na Bacia do Rio Capibaribe. A proposta do índice visa oferecer uma ferramenta de apoio à gestão ambiental, especialmente nas atividades de licenciamento, monitoramento e fiscalização, bem como auxiliar na priorização de áreas para ações preventivas e corretivas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um Índice Agroambiental, combinando os indicadores de pressão ambiental, periculosidade ambiental e precipitação média anual na Bacia do Rio Capibaribe, visando gerar ferramentas de apoio aos órgãos de controle nas atividades de monitoramento ambiental.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar a comercialização de agrotóxicos nos municípios da Bacia do Rio Capibaribe, analisando a distribuição espacial para avaliar a pressão ambiental associada ao uso desses produtos.
- Classificar os agrotóxicos utilizados na bacia com base no seu Potencial de Periculosidade Ambiental (PPA) para estimar o risco ambiental associado ao seu uso.
- Analisar a influência da precipitação média anual na dispersão e transporte dos agrotóxicos na bacia.
- Elaborar mapas temáticos para a representação e análise espacial dos dados.
- Elaborar um manual técnico explicativo contendo a metodologia, os resultados e as potenciais aplicações do IAPA-Capibaribe.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Para aprofundar o conhecimento no assunto abordado buscou-se embasamento teórico através de um levantamento bibliográfico por meio de consulta às bases de dados da Capes e Google Acadêmico, bem como repositórios do IFPE (Instituto Federal de Pernambuco) e catálogo de teses e dissertações da plataforma Sucupira. Os principais descritores utilizados foram agrotóxicos, monitoramento ambiental e Bacia do Capibaribe.

O levantamento bibliográfico também contemplou consultas aos órgãos de controle e gestão de recursos hídricos, a fim de obter diagnóstico e relatórios de monitoramento ambiental por eles realizados, além das principais legislações e normativas no tocante ao tema.

Esta seção está dividida em quatro subitens que correspondem às quatro categorias teóricas consideradas como essenciais para a contextualização do presente estudo. São elas: bacias hidrográficas e gestão de recursos hídricos, efeitos dos agrotóxicos na qualidade da água, indicadores e índices ambientais e objetivos do desenvolvimento sustentável - ODS.

3.1 BACIAS HIDROGRÁFICAS E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

A gestão dos recursos hídricos é essencial para assegurar o uso racional e sustentável da água, sendo regulamentada por políticas públicas que envolvem planejamento, controle, participação social e monitoramento. A seguir, discute-se a estrutura e os princípios que regulamentam a gestão das águas no Brasil, com destaque para o arranjo institucional vigente e sua aplicação na Bacia do Rio Capibaribe.

3.1.1 Gestão de recursos hídricos

Os corpos hídricos superficiais integram unidades geográficas denominadas bacias hidrográficas, responsáveis por captar e drenar as águas de uma determinada região. Nessas bacias, os cursos d'água se situam nas áreas mais rebaixadas do relevo, o que os torna receptores naturais de matéria orgânica, sedimentos e diversos poluentes provenientes dos diferentes usos e formas de ocupação do solo (Araújo, 2023).

A ausência de uma eficiente governança, bem como o desenvolvimento insustentável, têm afetado a qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos. Ao menos que haja uma

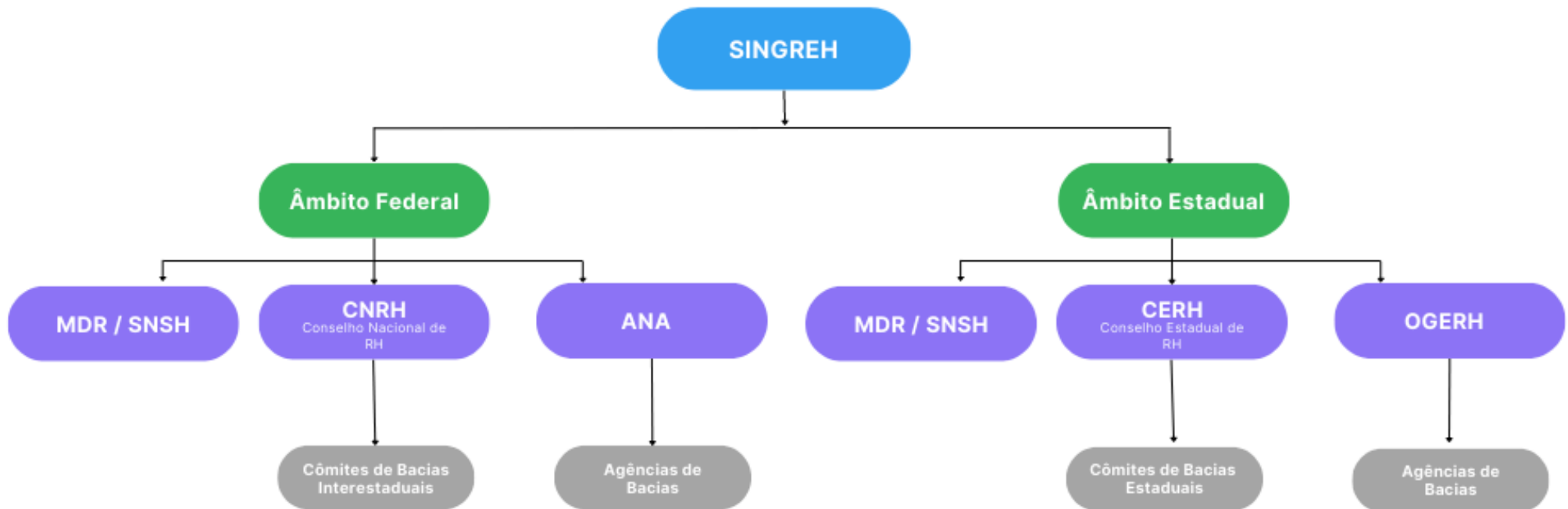
intervenção promovendo o equilíbrio entre a demanda e oferta de água doce, o mundo deverá sofrer um grave déficit (UNESCO, 2015). Tais dados são apresentados no relatório “Água para um mundo sustentável”, que aponta ainda que fatores como crescimento populacional, urbanização, políticas de segurança alimentar e energética, e processos macroeconômicos afetam fortemente a demanda hídrica global.

A gestão das águas consiste em uma atividade analítica e criativa, objetivando a definição de princípios e diretrizes, a elaboração de documentos normativos, a composição de sistemas de gerenciamento, bem como a tomada de decisão. É entendida então como um sistema dinâmico e interativo, onde a política, o planejamento e o gerenciamento se relacionam (Lanna, 2001).

No Brasil, a gestão dos recursos hídricos é regulamentada pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Lei nº 9.433/1997, que dispõe sobre os fundamentos e diretrizes a serem seguidos por todos os entes da Federação. Nela a água é considerada como um bem de domínio público e um recurso natural limitado, dotado de valor econômico. A PNRH estabelece a bacia hidrográfica como unidade territorial para sua implementação e a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

A PNRH determina também os instrumentos de gestão e a estrutura de governança para uma eficaz gestão dos recursos hídricos. Nesse contexto, O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) representa um modelo de governança estruturado para garantir a descentralização e a participação social. Seu arranjo é composto por entidades cujos representantes atuam em instâncias colegiadas de caráter consultivo e deliberativo, como os conselhos e comitês de bacia hidrográfica e em órgãos executivos, como os órgãos gestores e as agências de bacia (ANA, 2023) (Figura 1).

Figura 1: Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos



Fonte: ANA (2023) adaptado pela autora (2025)

Conforme Figura 1, o SINGREH é composto, no âmbito federal, pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH); e no âmbito estadual pelos Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal; pelos Comitês de Bacia hidrográfica; pelos órgãos dos poderes públicos federal, estaduais e municipais cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos; pelas Agências de Água; e, pela Agência Nacional de Águas (ANA), criada por meio da Lei Federal nº 9984 de 2000, objetivando complementar o sistema de gestão de recursos hídricos do país.

Os Comitês de Bacia Hidrográfica são órgãos colegiados e constituem a instância mais importante de participação local e integração do planejamento e gestão da água, uma vez que compõem um núcleo adequado para o exercício da governança sobre as questões locais relacionadas aos recursos hídricos (ANA, 2020).

No estado de Pernambuco, a gestão das águas é regulamentada pela Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH-PE), Lei Estadual n. 12.984, de 30 de dezembro de 2005, que revogou a Lei n. 11.426, de 17 de janeiro de 1997. Conforme a política nacional, a lei prevê gestão descentralizada contando com a participação do poder público, dos usuários e da sociedade civil, sempre focando nos usos múltiplos da água disponível, objetivando promover o desenvolvimento regional e local.

Na bacia do Capibaribe a gestão participativa das águas se dá por meio do Comitê de Bacia do Capibaribe. O mesmo foi estabelecido em 23 de março de 2007 e recebeu a aprovação do Conselho Estadual de Recursos Hídricos através da Resolução nº 07/2007, em 08 de maio de 2007.

Frente ao cenário de degradação ambiental evidenciadas na Bacia do Capibaribe, objeto deste estudo, ações foram tomadas visando contribuir para sua conservação e recuperação, a exemplo da elaboração do Plano Hidroambiental da Bacia Hidrográfica do Capibaribe (PHA Capibaribe). O plano é um instrumento de gestão para a bacia e refere-se a um planejamento de médio e longo prazo. Foi elaborado objetivando responder aos problemas e potencialidades apresentados no diagnóstico, que visavam a redução do passivo ambiental existente, a promoção da sustentabilidade e ao atendimento das demandas atuais e futuras, garantindo assim a quantidade e qualidade das águas (PERNAMBUCO, 2010).

3.1.2. Monitoramento ambiental dos recursos hídricos

A Política Nacional de Meio Ambiental (PNMA), Lei Federal nº. 6.938/1981 tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental, garantindo condições

ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana. Um dos princípios previstos na lei é o acompanhamento do estado da qualidade ambiental. De acordo com a PNMA, meio ambiente é o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas, e por degradação da qualidade ambiental, a alteração adversa das características do meio ambiente (BRASIL, 1981).

O Monitoramento Ambiental é uma importante ferramenta para a gestão e acompanhamento da qualidade ambiental dada a importância em avaliar os impactos das ações antrópicas ou até mesmo transformações naturais sobre o meio ambiente. No que tange aos recursos hídricos, enfoque deste trabalho, tem-se o conceito da Resolução CONAMA nº 357/2005 que define o monitoramento como: “medição ou verificação de parâmetros de qualidade e quantidade de água, que pode ser contínua ou periódica, utilizada para acompanhamento da condição e controle da qualidade do corpo de água” (BRASIL, 2005).

No que concerne à gestão dos recursos hídricos, o monitoramento é uma atividade essencial, uma vez que permite a avaliação da qualidade das águas dos corpos hídricos e reservatórios, a verificação de tendências e a identificação de áreas prioritárias para o controle da poluição, assim como sua adequação para os diferentes usos (ANA, 2023).

Segundo a Agência Nacional das Águas (ANA), se faz necessário ampliar o entendimento da qualidade da água como mecanismo para alcançar as soluções necessárias para a preservação deste recurso natural. Nesse sentido, a ANA (2013), através do documento “Cuidando das Águas: Solução para melhorar a qualidade dos recursos hídricos”, enaltece o monitoramento ambiental:

Monitoramento sistemático e dados de qualidade são peças fundamentais dos esforços efetivos para melhorar a qualidade da água. Enfrentar o desafio da qualidade da água implica desenvolver capacidades e formar especialistas nos países em desenvolvimento; implementar ferramentas de amostragem de campo, tecnologias e compartilhamento de dados, em tempo real, com baixo custo, rapidez e confiabilidade; e estabelecer instituições de gestão. São necessários ainda recursos para desenvolver capacidades nacionais e regionais e para coletar, gerir e analisar dados de qualidade da água (ANA, 2013, pag. 19).

Segundo Palma (2016), o monitoramento da qualidade da água compreende o acompanhamento das características físicas, químicas e biológicas da água diante de levantamentos orientados a um objetivo preestabelecido. O autor destaca ainda a importância

na determinação prévia dos objetivos do monitoramento, e de um planejamento de coleta de dados bem definido, devido aos custos associados a essa atividade.

A Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) e a Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade de Água (RNQA) são as principais fontes de dados de monitoramento da qualidade da água no Brasil. O foco principal da RHN é o monitoramento quantitativo, porém ela também monitora alguns parâmetros básicos de qualidade, tais como pH, temperatura, oxigênio dissolvido (OD), turbidez e condutividade elétrica, através de sondas multiparamétricas (ANA, 2022).

O Programa Qualiágua é uma iniciativa da ANA e promove a implementação da RNQA, monitorando também parâmetros adicionais de qualidade de água que demandam coleta e análises laboratoriais. O programa é executado pelos Estados, que recebem aporte financeiro da ANA pelo alcance de metas progressivas pactuadas e relacionadas ao monitoramento e divulgação dos dados obtidos (ANA, 2022). Apesar da eficiência do Qualiágua, o programa não prevê o monitoramento de agrotóxicos tornando o controle desses contaminantes em mananciais superficiais limitado no Brasil (Bursztejn, 2023).

A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece a classificação dos corpos d'água e define as diretrizes para seu enquadramento ambiental. O enquadramento consiste na definição da meta de qualidade da água (classe) que deve ser obrigatoriamente atingida ou preservada em um determinado trecho do corpo hídrico, conforme os usos predominantes previstos para a área ao longo do tempo (BRASIL, 2005).

Em consonância com a referida resolução a Quadro 1 apresenta os agrotóxicos elencados e seus valores máximos permitidos para as classes 1, 2 e 3 de água doce.

Quadro 1: Agrotóxicos que compõem a lista de padrões de qualidade de água da Conama 357/05 e seus VM.

Agrotóxico	VALOR MÁXIMO	
	Classe 1 e 2	Classe 3
Alacloro	20 µg/L	
Aldrin + Dieldrin	0,005 µg/L	0,03 µg/L
Atrazina	2 µg/L	2 µg/L
Carbaril	0,02 µg/L	70 µg/L
Clordano (cis + trans)	0,04 µg/L	0,3 µg/L
2,4-D	4,0 µg/L	30 µg/L
Demeton (Demeton-O + Demeton-S)	0,1 µg/L	14 µg/L
2,4-Diclorofenol	0,3 µg/L	-
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)	0,002 µg/L	1 µg/L
Endossulfan (a + b + sulfato)	0,056 µg/L	0,22 µg/L
Endrin	0,004 µg/L	0,2 µg/L
Glifosato	65 µg/L	280 µg/L
Gution	0,005 µg/L	0,005 µg/L
Heptacloro epóxido + Heptacloro	0,01 µg/L	0,03 µg/L
Hexaclorobenzeno	0,0065 µg/L	-
Lindano (g-HCH)	0,02 µg/L	2
Malation	0,1 µg/L	100 µg/L
Metolacloro	10 µg/L	-
Metoxicloro	0,03 µg/L	20 µg/L
Paration	0,04 µg/L	35 µg/L
Pentaclorofenol	0,009 mg/L	0,009 mg/L
Simazina	2,0 µg/L	-
2,4,5-T	2,0 µg/L	10 µg/L
Toxafeno	0,01 µg/L	0,21 µg/L
2,4,5-TP	10,0 µg/L	10 µg/L
2,4,6-Triclorofenol	0,01 mg/L	0,01 mg/L
Trifluralina	0,2 µg/L	-

Fonte: BRASIL, 2005.

De acordo com a Portaria 84, de 15 de outubro de 1996, publicada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, o monitoramento ambiental de agrotóxico no território nacional integra o Sistema Permanente da Avaliação e Controle dos Agrotóxicos e é de competência desta autarquia. Dessa forma, compete ao IBAMA acompanhar os impactos ambientais regionais ou nacionais destes contaminantes, inclusive nas bacias hidrográficas, com o objetivo de embasar a tomada de decisões no estabelecimento de políticas públicas no tocante à melhoria da qualidade ambiental (IBAMA, 1996).

Porém, apenas em 2019 foi dado o primeiro passo para efetivação deste monitoramento, com a implementação do Projeto Piloto de Monitoramento de resíduos de agrotóxicos a fim de estabelecer Procedimentos Operacionais Padrão (POP's) de amostragem e análise envolvendo o corpo técnico do IBAMA e laboratórios parceiros, entre eles o Instituto de Tecnologia de Pernambuco (LabTox-ITEP). O projeto piloto foi criado para testar a viabilidade do monitoramento ambiental de agrotóxicos por meio de laboratórios parceiros, uma vez que o IBAMA não possui estrutura própria para essa atividade.

Nesse contexto, o órgão descentralizou recursos ao Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE) via Termo de Execução Descentralizada (TED) publicado em 2017 e aditivado em 2019. O projeto viabilizou a realização de coletas e análises de cerca de 300 agrotóxicos em água superficial, água da chuva e solo, abrangendo compostos como glifosato, atrazina, imidacloprido, fipronil, clotianidina e tiametoxam, no período de 2019 a 2021. As análises concentraram-se apenas em corpos hídricos localizados nos estados de Alagoas, São Paulo, Mato Grosso, Goiás e Rio de Janeiro. Os resultados e os procedimentos de coleta foram publicados pelo órgão em 2024 e mostra a presença de diversos ingredientes ativos em amostras de água e solo, além da porcentagem de amostras com detecção de agrotóxicos. (IBAMA, 2024).

Dando continuidade às ações, o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), em parceria com a Embrapa Meio Ambiente e apoio do IBAMA, lançou em fevereiro de 2025 a Estratégia de Monitoramento Ambiental de PFOS e Agrotóxicos. A iniciativa contempla e garante a continuidade do Programa Piloto de Monitoramento de Agrotóxicos em Recursos Hídricos e gerará dados sistematizados sobre a contaminação ambiental por agrotóxicos e PFOS (produtos derivados de agrotóxicos de difícil degradação no meio ambiente) no Brasil para subsidiar a elaboração de políticas públicas. Por três anos, será monitorado o uso de 53 ingredientes ativos no país (SECOM, 2025).

Ainda não há definição sobre quais estados serão contemplados na segunda etapa do

monitoramento de agrotóxicos promovido pelo governo federal. De todo modo, o controle de resíduos de agrotóxicos em bacias hidrográficas permanece como um desafio significativo, exigindo a ampliação e o fortalecimento das estratégias de monitoramento ambiental.

3.2. EFEITOS DOS AGROTÓXICOS NA QUALIDADE DA ÁGUA

A intensificação do uso de agrotóxicos tem gerado preocupação crescente quanto aos seus impactos nos recursos hídricos. Esses compostos, amplamente utilizados na agricultura para controle de pragas e aumento da produtividade, podem comprometer significativamente a qualidade da água, afetando tanto os ecossistemas aquáticos quanto a saúde humana. Para compreender os efeitos dessas substâncias nos corpos d'água, é fundamental conhecer sua definição, classificação e os principais mecanismos de contaminação associados ao seu uso.

3.2.1 Definição de agrotóxicos

Os agrotóxicos são produtos e agentes de processos físicos, químicos ou biológicos destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e no beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens ou na proteção de florestas plantadas, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos (BRASIL, 2023). O uso de tais compostos é uma prática milenar, a exemplo de sua aplicação para o controle de insetos em campos de monoculturas, no qual há registros do uso de compostos como enxofre, nicotina e piretro. (Neto, 2007).

No entanto, foi apenas a partir dos séculos XVIII e XIX, com o advento da Revolução Industrial, que, com o início da mecanização do campo e o aumento da produção agrícola, surgiu o primeiro produto considerado agrotóxico: o fungicida conhecido como "Bordeaux Mixture" em inglês ou "calda bordalesa" em português. Essa inovação foi motivada pela necessidade de combater as grandes perdas agrícolas causadas pelo míldio-da-videira (Moura, 2018).

A ascensão dos agrotóxicos no Brasil começou na década de 1950, com a "Revolução Verde", que visava aumentar a produção agrícola em países em desenvolvimento. Essa iniciativa utilizou tecnologias de melhoramento genético, o uso intensivo de produtos químicos e a automação da agricultura por meio de maquinário (Moreira, 2003).

Os defensivos agrícolas apresentam alta toxicidade, que varia de acordo com seu nível de periculosidade, e representam riscos tanto para o meio ambiente quanto para a saúde humana, podendo contaminar as águas superficiais (Castilho, 2023).

O aumento acelerado do uso de substâncias químicas no campo é alarmante. Em 2019, foram registrados cerca de 474 defensivos agrícolas, um número superior aos 422 registrados em 2018, sendo o maior desde 2010. O crescimento acumulado entre 2010 e 2019 foi de 356%. Desses, 448 defensivos agrícolas registrados (94,5%) consistem em substâncias químicas já presentes em outros produtos disponíveis no mercado (MAPA, 2019).

3.2.2. Classificação dos agrotóxicos

Os critérios que podem ser utilizados para classificar os agrotóxicos variam muito. Entretanto, alguns dos mais comuns são, conforme Mendes (2019):

Por alvos preferenciais:

- Pesticidas: combatem pragas em geral
- Fungicidas: atuam sobre fungos
- Herbicidas: inibem o crescimento de ervas daninhas
- Rodenticidas: controlam ratos e roedores
- Acaricidas: exterminam ácaros
- Molusquicidas: combatem moluscos, especialmente o caramujo da esquistossomose
- Algicidas: elimina algas
- Nematicidas e fumigantes

Por Classe química incluem organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretróides, triazinas, entre outros. E por grau toxicológico: determinado por testes realizados em laboratórios, conforme estabelecido pela portaria nº 3/MS/SNVS de 16 de janeiro de 1992, da Agência de Vigilância Sanitária (BRASIL, 2014). A seguir o quadro 2 reúne a revisão realizada por Sá e Crestana (2004), com os agrotóxicos agrupados em grupos químicos e seus respectivos nomes comerciais.

Quadro 2 – Classificação dos principais tipos de agrotóxicos de acordo com os grupos químicos e nomes comerciais.

Grupos Químicos	Nomes comerciais
A – Inseticidas – possuem ação de combate a insetos. Os inseticidas pertencem a sete grupos distintos	
1. Organofosforados	São compostos orgânicos derivados do ácido fosfórico, do ácido tiofosfórico ou do ácido ditiofosfórico. Ex.: Paration, Malation, Folidol, Azodrin, Diazinon, Nuvacron, Tamaron e Rhodiatox
2. Carbamatos	São derivados do ácido carbâmico. Ex. Aldicarb, Carbaril, Temik, Zectram e Furadan
3. Organoclorados	São compostos à base de carbono, com radicais de cloro. São derivados do clorobenzeno, do ciclo-hexano ou do ciclodieno. Muito utilizados na agricultura e nas campanhas de saúde, porém seu emprego tem sido progressivamente restringido e, na maioria dos casos, proibido. Ex.: Aldrin, Endrin, BHC, DDT, Endossulfan, Heptacloro, Lindane e Mirex.
4. Piretróides sintéticos	São compostos sintéticos que apresentam estruturas semelhantes à piretrina, substância existente nas flores do <i>Chrysanthemum cinerariifolium</i> . Ex.: Karatê, Resmetrina, Decametrina, Cipermetrina e Fenpropanato; Decis, Protector, Kotrine e SBP.
5. Inorgânicos	Fosfato de alumínio, arsenato de cálcio.
6. Extratos vegetais	Óleos vegetais
7. Microbiais	<i>Bacillus thuringensis</i>
B – Fungicidas – Possuem ação de combate a fungos. Os grupos químicos são:	
1. Inorgânicos	Calda bordalesa e enxofre
2. Ditiocarbamatos	Manconzeb, Tiram e Metiram
3. Dinitrofenóis	Binapacril
4. Organomercuriais	Acetato de fenilmercúrio
5. Antibióticos	Estreptomicina e Ciclo-hexamida
6. Trifenil estânico	Duter e Brestan
7. Compostos formilamina	Triforina, Cloranifometam
8. Fentalamidas	Captafol e Captam
C – Herbicidas – combatem plantas invasoras. Nas décadas de 80 e 90, esse grupo teve uma utilização crescente na agricultura.	
1. Inorgânicos	Arsenito de sódio e Cloreto de sódio.
2. Dinitrofenóis	Bromofenoxim, Dinoseb e DNOC
3. Derivados do ácido fenoxiacético	2,4 diclorofenoxiacético (2,4 D) e 2,4,5 triclo-rofenoxiacético (2,4,5 T). A mistura de 2,4 D com 2,4,5 T representa o principal componente do agente laranja (nome comercial Tordon).
4. Dipiridilos	Diquat e Paraquat
5. Glifosato	Round-Up
6. Dinitroanilinas	Nitralin e Profluralin
7. Benzonitrilas	Diclobenil e Bromoxinil
D – Outros grupos importantes	
1. Raticidas (Dicumarínicos)	Utilizados no combate a roedores. Ex. Hidroxicumarinas: Cumatetralil
2. Acaricidas	Ação de combate a ácaros diversos. Ex. Dinitrofenóis: Dinocap
3. Nematicidas	Ação de combate a nematóides. Ex. Organofosforados: Diclofention
4. Molusquicidas	Ação de combate a moluscos, basicamente contra o caramujo da esquitossomose. Ex. 5. Carbamato: Aminocarb

Fonte: Sá e Crestana (2004)

No que se refere à classificação toxicológica, encontra-se em vigor a Resolução RDC nº 294/2019 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2019), que estabelece critérios alinhados ao Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals – GHS) (UN, 2011). A norma anterior, instituída pela Portaria nº 03/1992 (ANVISA, 1992), organizava os produtos em quatro categorias: extremamente tóxico, altamente tóxico, medianamente tóxico e pouco tóxico. Com a nova regulamentação, a classificação foi ampliada para seis categorias, incorporando as faixas “improvável de causar dano agudo” e “não classificado”.

A nova classificação, apresentada no quadro 3, objetivou a adequação com as regras adotadas pelos diferentes países do mundo, no entanto foi amplamente criticada por submeter os produtores rurais a maiores riscos durante o uso dos produtos, uma vez que não há o enfoque adequado aos perigos inerentes a sua utilização.

Quadro 3: Classificação Toxicológica dos agrotóxicos da ANVISA (RDC nº 294/2019)

Categoria	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4	Categoria 5	Não classificado	
Nome da categoria	Extremamente tóxico	Altamente tóxico	Medianamente tóxico	Pouco tóxico	Improvável de causar dano agudo	Não classificado	
Pictograma					Sem símbolo	Sem símbolo	
Frase de advertência	PERIGO	PERIGO	PERIGO	CUIDADO	CUIDADO	Sem advertência	
Via de exposição oral (mg/kg p.c.)	≤ 5	>5 - 50	>50 - 300	>300-2000	>2000 - 5000	> 5000	
Via de exposição cutânea (mg/kg p.c.)	≤ 50	>50 - 200	>200 - 1000	>1000-2000	>2000 - 5000	> 5000	
Via de exposição inalatória	Gases (ppm/V)	≤ 100	>100 - 500	>500 - 2500	>2500-20000	>20000-50000	-
	Vapores (mg/L)	≤ 0,5	> 0,5 ≤ 2,0	>2,0 ≤ 10	> 10 ≤ 20	> 20-50	-
	Produtos sólidos e líquidos (mg/L)	≤ 0,05	>0,05 - 0,5	>0,5 - 1,0	>1,0- 5,0	> 5,0-12,5	-
Cor da faixa	Vermelha	Vermelha	Amarela	Azul	Azul	Verde	

Fonte: UN (2011); ANVISA (2019a) elaborado por Marques (2024)

A classificação ambiental dos agrotóxicos, entre outras atribuições, cabe ao MMA, por meio do IBAMA. Conforme o art. 7º do Decreto nº 4.074/02, é responsabilidade do órgão avaliar e classificar o potencial de periculosidade ambiental de todos os agrotóxicos, seus componentes e afins, a serem registrados, e proceder com a avaliação ambiental preliminar dos agrotóxicos, produtos técnicos, pré-misturas e afins, destinados à pesquisa e à experimentação (BRASIL, 2002).

A avaliação realizada pelo IBAMA fundamenta-se nas propriedades físico-químicas do ingrediente ativo, considerando seu comportamento no ambiente, como o potencial de transporte no solo (mobilidade, adsorção e solubilidade), sua persistência (biodegradação, hidrólise e fotólise), bem como o risco de bioacumulação na cadeia trófica e os níveis de toxicidade para organismos de diferentes níveis tróficos. Para análise dos efeitos de longo prazo sobre populações de mamíferos, são considerados estudos toxicológicos que avaliam o potencial mutagênico, carcinogênico e embriofetotóxico das substâncias (IBAMA, 2009). Tais estudos são apresentados pelos empreendimentos durante o ato de requerimento do registro de agrotóxicos, seus componentes e afins junto aos órgãos competentes.

Após a análise dos estudos e testes apresentados ocorre uma sequência de procedimentos que levam para uma nota final para determinado ativo, obedecendo a seguinte graduação:

Classe I – produto altamente perigoso ao meio ambiente;

Classe II – produto muito perigoso ao meio ambiente;

Classe III – produto perigoso ao meio ambiente;

Classe IV – produto pouco perigoso ao meio ambiente;

Ou ainda Produto Impedido de Obtenção de Registro – Pior. Nesse caso, o requerimento de registro é indeferido, sendo o produto proibido de uso no País por não atender às condições e exigências do órgão ambiental.

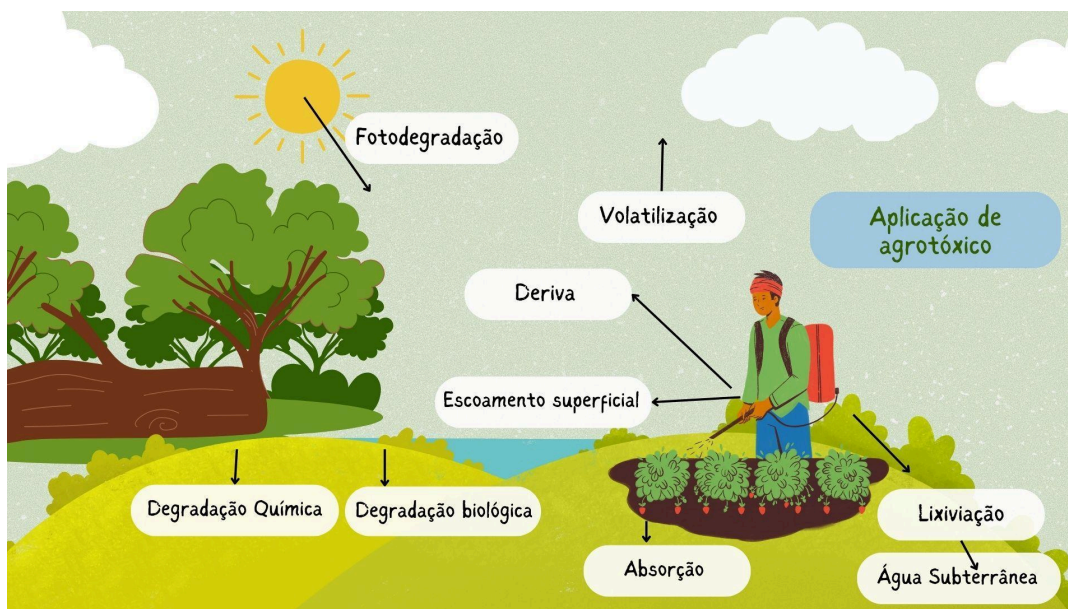
Dessa forma, todos os agrotóxicos registrados no País dispõem de ao menos uma dessas quatro classificações, que é informada na coluna central do rótulo e na bula dos agrotóxicos, juntamente com a classificação toxicológica.

3.2.3. Agrotóxicos na água

A contaminação da água por agrotóxicos pode correr derivada de fontes pontuais ou difusas e os mesmos podem alcançar os ambientes aquáticos pela aplicação intencional, pulverização aérea, pelo escoamento superficial, percolação ou mesmo lixiviação no

solo (Kreutz, 2023). Na Figura 2 é possível evidenciar os processos pelos quais os agrotóxicos se transitam no meio ambiente

Figura 2: Processos responsáveis pelo destino dos agrotóxicos no meio ambiente



Fonte: A autora (2025)

Após sua aplicação o agrotóxico pode sofrer deriva, dispersando-se pelo vento e afetando o ambiente de maneira imprevisível. Em dias ensolarados, parte do produto pode se volatilizar, causando perdas para o produtor. Além disso, a irrigação ou chuva pode carrear o agrotóxico do solo para corpos hídricos. O produto pode ser retido no solo, dependendo de suas características, ou transformado em metabólitos mais contaminantes. Por fim, a lixiviação pode levar o agrotóxico ao lençol freático (Marques, 2017).

De modo geral, compostos com alta solubilidade e mobilidade em água apresentam maior potencial para atingir as águas subterrâneas. Já aqueles com baixa mobilidade tendem a permanecer no solo ou nos sedimentos, embora possam alcançar corpos d'água superficiais por meio do escoamento superficial (Caldas, 2019).

Araújo (2023) destaca que as formulações mais recentes de agrotóxicos foram desenvolvidas para apresentar menor persistência ambiental, o que faz com que, com frequência, atinjam os corpos hídricos principalmente durante eventos de escoamento superficial. A maioria dos agrotóxicos atualmente utilizados é moderadamente solúvel em água e apresenta alta capacidade de lixiviação no solo (WHO, 2016).

A agricultura representa a principal origem da contaminação das águas superficiais por agrotóxicos. Diversos fatores influenciam o transporte desses compostos e de seus produtos de degradação até os corpos hídricos, como as condições em que são aplicados, a distância entre as áreas tratadas e os recursos hídricos, as variáveis climáticas, as características físico-químicas dos ingredientes ativos, além das impurezas, aditivos presentes na formulação e os metabólitos gerados no ambiente (WHO, 2016). O uso intensivo de agrotóxicos na agricultura pode comprometer significativamente a qualidade dos recursos hídricos, afetando o ecossistema aquático e a saúde humana, já que essa água pode ser utilizada para abastecimento público, irrigação, recreação e outros fins (CETESB, 2021).

3.2.4. Contaminação por agrotóxicos na Bacia do Rio Capibaribe

Embora a bacia do Rio Capibaribe seja uma área de grande importância ambiental e econômica, há uma escassez significativa de estudos que investiguem a contaminação por agrotóxicos em suas águas superficiais. A revisão de literatura aglutinou os estudos encontrados dentro da referida bacia, incluindo análises de água subterrâneas, superficiais e sedimentos.

Nas reuniões realizadas para elaboração do PHA Capibaribe, em 2010, com a participação de setores organizados da sociedade civil, membros do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe e representantes de órgãos públicos foi dada ênfase à problemática do uso indiscriminado de agrotóxicos. Discutiu-se amplamente a contaminação dos rios e reservatórios causada por essas substâncias químicas, destacando os riscos para a saúde pública e o meio ambiente.

Pereira (2012) analisou o estado de conservação de 20 nascentes no Assentamento Serra Grande, localizado na Zona da Mata Pernambucana. Os resultados mostraram que 4 nascentes estavam livres de agrotóxicos, sem uso na região; 8 nascentes apresentaram uso esporádico; 6 nascentes tiveram uso frequente nas plantações nas proximidades; e 2 nascentes sofreram com uso intenso de agrotóxicos nas áreas cultivadas.

Nascimento (2013) conduziu a pesquisa na bacia hidrográfica do Baixo Riacho Natuba, em Vitória de Santo Antão-PE, cujo objetivo principal foi avaliar os níveis de contaminação ambiental resultantes do uso indiscriminado de agrotóxicos na produção de hortaliças. O estudo analisou água superficial do Rio Natuba, sendo três amostras durante a época de chuva em junho e outras três no período de estiagem em dezembro, totalizando seis

amostras. As três amostras coletadas no período seco apontaram a presença de três produtos de agrotóxicos, foram eles: Azoxystrobin, Malathion e Tebuconazole.

No estudo de Oliveira (2014) foi realizada análise da qualidade ambiental nas nascentes da sub-bacia do Médio Natuba, a fim de avaliar a contribuição das nascentes para a sustentabilidade hidroambiental de agricultores familiares em assentamento rural. A verificação da presença de agrotóxico na água foi feita através da observação in loco no corpo da nascente, e por informações fornecidas pelos agricultores assentados. No referido estudo apontou suspeita de contaminação de agrotóxicos em algumas das nascentes avaliadas e também nas vegetações que estão no entorno.

Moura (2016) diagnosticou o estuário do Capibaribe em relação à contaminação do sedimento por compostos organoclorados. No estudo foram coletadas amostras de sedimento em 18 estações de coleta ao longo do estuário. Concluiu-se que o estuário do Capibaribe está contaminado por POPs (DDTs e PCBs). Apontou-se ainda que em duas estações, a alta concentração de DDT em comparação aos seus metabólitos indica que ele pode ter sido utilizado de forma ilegal na bacia hidrográfica do Capibaribe após seu banimento em campanhas de saúde pública no Brasil, em 1998.

A partir do estudo de Araújo (2018), o qual objetivou investigar a ocorrência de organoclorados (OCs) em *Anomalocardia flexuosa* (marisco) e *Mytella charruana* (sururu) no estuário do Rio Capibaribe, constatou-se contaminação de PCBs e DDTs, indicando indicando que a introdução desse contaminante no estuário do Capibaribe não seria recente. Em comparação com o estudo de Moura (2016) no mesmo estuário, os bivalves refletiram a contaminação do ambiente encontrada nos sedimentos, confirmando que tal contaminação está sendo transferida para a biota.

Em Oliveira (2019), verificou-se o efeito genotóxico das águas superficiais da bacia do Rio Capibaribe utilizando o Ensaio Cometa com o organismo modelo *Drosophila melanogaster*. Segundo o autor, a maior incidência de genotoxicidade na estação chuvosa pode ser resultado do efeito das chuvas sobre o solo desprotegido, que não conta com a cobertura da Mata Atlântica original. Isso pode levar ao aumento do escoamento de substâncias tóxicas, como agrotóxicos, herbicidas e nematicidas, em direção ao leito dos rios.

Em um amplo estudo realizado por Marques (2025) na bacia do Natuba, que analisou várias matrizes de água da região, foi possível evidenciar a contaminação por agrotóxicos na nascente do rio, que chegou a um percentual de contaminação 2966% acima do permitido pela legislação. Agrotóxicos também foram encontrados em diversos pontos dos corpos hídricos, além dos aquíferos de águas subterrâneas, apontando inclusive para contaminação por

agrotóxicos proibidos no mercado, tais como o Lindano (Gama HCH), Alfa-HCH, Pentacloroanisol e Clorfenvinfós.

3.3. ÍNDICES E INDICADORES AMBIENTAIS

Indicador é uma ferramenta que possibilita a obtenção de uma determinada realidade (Mitchell, 1996). Para Mueller *et al* (1997) é essencial que o indicador seja de fácil compreensão, tenha uma base estatística sólida e uma lógica coerente, garantindo que promova a comunicação eficaz do fenômeno que se propõe analisar.

Em contrapartida, um índice reflete a situação de um sistema ou fenômeno (Shields et al., 2002), e pode ser elaborado para analisar dados a partir da combinação de elementos diversos que se relacionam entre si (Prabhu et al., 1999). Nesse contexto, a significativa diferença entre os conceitos de índice e indicadores se dá no fato de que um índice representa o valor final de um processo de cálculo que envolve, inclusive, indicadores como elementos constituintes (Bastos Filho et al, 2024).

Na área ambiental, os indicadores ambientais constituem-se como instrumentos fundamentais para o monitoramento e compreensão das dinâmicas ecológicas ao longo do tempo e em diferentes escalas espaciais. São amplamente adotados como uma maneira simples de observar o complexo ambiente, avaliar o impacto das atividades e direcionar respostas a estes problemas (Gomes & Malheiros, 2012).

Ainda segundo Gomes & Malheiros (2012), essa funcionalidade prática e analítica faz com que os indicadores ambientais sejam utilizados no apoio à formulação de políticas públicas e processos decisórios em múltiplos níveis de gestão, sendo fundamentais na estruturação dos indicadores de sustentabilidade.

Consideremos um dos conceito de sustentabilidade, que é o conjunto dos processos e ações que se destinam a manter a vitalidade e integridade do planeta terra, a preservação de seus ecossistemas. o atendimento das necessidades da presente e das futuras gerações, e a continuidade, a expansão e a realização das potencialidades da civilização humana (Boff, 2015). Assim sendo, entende-se que sustentabilidade se sustenta em três pilares, o ambiental, social e econômico. Pode-se considerar, dessa forma, que indicadores de sustentabilidade são compostos por diferentes indicadores, entre eles os indicadores ambientais.

Malheiros, Phillip Jr. & Aguiar (2005) apresentam exemplos de indicadores pertencentes a diferentes dimensões da sustentabilidade, juntamente com as respectivas formas de mensuração.

- Indicadores sociais: nível de emprego, equidade e exclusão social, pobreza e distribuição de renda, bem-estar e qualidade de vida, dentre outros.
- Indicadores econômicos: padrão de consumo e de produção, uso de energia, desenvolvimento e estrutura econômica, gestão de resíduos, dentre outros.
- Indicadores ambientais: uso sustentável de recursos naturais, clima global, capacidade de suporte de ecossistemas, uso do solo, dentre outros.
- Indicadores institucionais: ciência e tecnologia, governabilidade e papel da sociedade civil, conscientização da comunidade e informação, dentre outros.

O desenvolvimento de um instrumento de medição da sustentabilidade, de forma a apresentar o grau de sustentabilidade de uma população, monitorar tendências e auxiliar no estabelecimento de metas é um dos desafios para o alcance do desenvolvimento sustentável (Menezes & Martins, 2021). Nessa perspectiva os indicadores de sustentabilidade são, portanto, instrumentos essenciais para guiar a ação e subsidiar o acompanhamento e a avaliação do progresso alcançado rumo à sustentabilidade (Polaz & Teixeira, 2009, p. 3).

No contexto dos indicadores de sustentabilidade, dois marcos históricos foram especialmente relevantes para consolidar sua importância. O primeiro foi a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992, que resultou na elaboração da "Agenda 21". O segundo foi a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável, realizada em Nova Iorque em 2015, que culminou na adoção da "Agenda 2030" e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

No capítulo 40, intitulado "Informação para a tomada de decisão" da Agenda 21, é explicitada a necessidade de melhorar a disponibilidade da informação assim como de reduzir as diferenças de acesso aos dados. O documento afirma a necessidade de desenvolver indicadores do desenvolvimento sustentável que contribuam para uma sustentabilidade autorregulada dos sistemas integrados de meio ambiente e desenvolvimento (UNCED, 1992, s.p.).

A Agenda 2030, da Organização das Nações Unidas (ONU), por sua vez, define os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que devem direcionar em uma perspectiva de desenvolvimento que contemple as dimensões econômica, social e ambiental e será abordado mais profundamente na próxima sessão deste referencial teórico. Os ODS são compostos por 17 objetivos, 169 metas e 231 indicadores, com implementação até 2030.

A implementação desta agenda traz consigo benefícios para as atuais e futuras gerações. Sua introdução na sociedade se fará de forma consistente e segura, sob obrigações

de leis internacionais (ONU BRASIL, 2022). Os ODS apontam objetivos específicos, que devem ser monitorados com indicadores a partir da definição destas metas, previamente definidas pela ONU e podem ser readequadas, conforme necessidade e compatibilidade com a realidade do país.

Entre os recursos naturais, a água é um recurso essencial para a vida e para o desenvolvimento de uma sociedade, tanto sob a perspectiva econômica quanto ambiental. A sustentabilidade na gestão dos recursos hídricos implica em ações relacionadas com uso e proteção dos recursos hídricos e atendendo às legislações vigentes (Branchi, 2022). Nesse contexto, a gestão dos recursos hídricos se beneficia do uso de instrumentos capazes de efetivar o monitoramento, tais como índices e indicadores para estes fins.

A publicação Indicadores de Desenvolvimento Sustentável: Brasil 2015, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015), dá continuidade a uma série iniciada em 2002, orientada pelas recomendações da Comissão para o Desenvolvimento Sustentável da ONU, com adaptações à realidade brasileira. Ela apresenta 63 indicadores que refletem as dimensões ambiental, social, econômica e institucional do desenvolvimento sustentável no país, com base em dados do próprio IBGE e de outras instituições. Esses indicadores fornecem instrumentos para o conhecimento da realidade nacional, o exercício da cidadania e a formulação de políticas públicas, evidenciando a natureza multidimensional e integrada do desenvolvimento sustentável. A publicação também destaca a constante necessidade de atualização e ampliação das informações, incorporando novas questões e abordagens ao longo do tempo.

No que tange as bacias hidrográficas, O IBGE publica os indicadores de qualidade da água em alguns corpos de águas interiores (trechos de rios e represas), expressa pela Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO e pelo Índice de Qualidade da Água - IQA. Os dados são disponibilizados pelos órgãos ambientais estaduais nos estados do Brasil.

A DBO e o IQA estão entre os indicadores mais amplamente utilizados no mundo para a avaliação da poluição hídrica. A DBO é um parâmetro-chave no dimensionamento de Estações de Tratamento de Água (ETA) e de Efluentes (ETE), pois reflete diretamente a carga orgânica presente, principalmente oriunda do lançamento de esgotos domésticos. Já o IQA constitui um indicador mais abrangente, capaz de expressar o grau de eutrofização dos corpos hídricos. Quando analisados em conjunto com dados ambientais e socioeconômicos, esses indicadores contribuem significativamente para a avaliação do desenvolvimento sustentável (IBGE, 2015).

3.3.1. Índices e indicadores no monitoramento de agrotóxicos

No âmbito do uso de agrotóxicos, o IBGE faz uso do indicador composto pela aproximação da intensidade de uso do ativo nas áreas plantadas de um território, por um determinado período de tempo. As variáveis utilizadas na construção do indicador são as quantidades de agrotóxicos comercializadas, expressas em toneladas por ano (t/ano), e a área plantada das principais culturas, expressa em hectares (ha). O indicador é composto pela razão entre a quantidade de agrotóxico comercializada anualmente e a área plantada, apresentado em quilograma por hectare ao ano (kg/ha/ano) (IBGE, 2015).

A publicação do IBGE disponibiliza ainda um quadro de uso de agrotóxicos no País, que contempla: quantidade de agrotóxicos comercializados, por classes de periculosidade ambiental, expressa em percentual; quantidade de ingredientes ativos de agrotóxicos mais comercializados e respectiva participação percentual em relação ao total as principais classes de uso (herbicida, inseticida e fungicida); e quantidades de agrotóxicos comercializados, em toneladas, por classes de uso.

As fontes dos dados utilizados foram os Relatórios de consumo de ingredientes ativos de agrotóxicos e afins no Brasil e/ou Informações sobre consumo de ingredientes ativos de agrotóxicos e afins no Brasil 2012, divulgados pelo IBAMA; e o Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA) e a pesquisa Produção Agrícola Municipal (PAM), ambos divulgados pelo IBGE.

Casagrande (2018) destaca a limitação do indicador, uma vez que ele apenas relaciona a quantidade adquirida por unidade federativa, sendo impossibilitado de segregar em nível municipal, de micro, mesorregiões ou bacia hidrográfica. Ainda, segundo o autor, também não leva em consideração as questões toxicológicas dos agrotóxicos sobre uma determinada área e fatores agroambientais, tais como a sazonalidade das culturas e a pluviosidade, entre outros que contribuem para o grau de contaminação pelos agrotóxicos.

Nessa perspectiva, Casagrande (2018) propõe uma metodologia de monitoramento do impacto do uso de agrotóxicos sobre o território paranaense, por meio do desenvolvimento de um índice agroambiental. Sendo, o primeiro índice desenvolvido para este fim, no Brasil. O estudo demonstrou ser possível utilizar o índice para relacionar municípios prioritários para a gestão do risco agroambiental dentro de bacias hidrográficas, traduzindo uma grande quantidade de dados no recorte temporal estabelecido.

A pesquisa desenvolvida por Casagrande (2018) propôs um índice baseado em três indicadores agroambientais:

- a) Indicador 1 - média da quantidade de quilos/litros de agrotóxicos por hectare por ano de área agricultável expresso no receituário agrônômico dos produtos formulados receitados;
- b) Indicador 2 - potencial de periculosidade ambiental dos agrotóxicos; e
- c) Indicador 3 - pluviosidade média anual de cada município.

O estado do Paraná dispõe do Sistema de Monitoramento do Comércio e Uso de Agrotóxicos do Estado do Paraná (SIAGRO), que consiste em um banco de dados on-line para emissão e armazenamento de todas as operações relativas a vendas de agrotóxicos. O sistema constitui-se uma ferramenta informatizada, na qual profissionais que emitem receituários agrônômicos e empresas que comercializam agrotóxicos fazem cumprir as previsões legais estaduais e encaminham as informações sobre o comércio e uso (Paraná, 2025). Tal fato, auxiliou no cálculo da pressão potencial exercida pelo uso de agrotóxicos nos municípios.

A metodologia de Casagrande (2018) serviu como base para a criação de uma abordagem adaptada, a qual foi aplicada no presente trabalho.

3.3.2 Índices e Indicadores de Sustentabilidade na Bacia Hidrográfica do Capibaribe

Durante a construção do PHA Capibaribe e do Diagnóstico Hidroambiental do Rio Capibaribe adotou-se a metodologia que consiste na análise de cenários atuais, tendenciais e sustentáveis para a bacia, de forma a projetar perspectivas futuras das condições hídricas e socioambientais para os anos 2015 e 2025 (PHA, 2010). Para tanto, foram definidos indicadores que refletissem de alguma as temáticas ambiental, econômica e social, que seguem abaixo:

- a) Ambiental: expansão agrícola e qualidade da água.
- b) Econômica: Produto Interno Bruto.
- c) Social: Dinâmica Microrregional Demográfica e Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal.

O indicador de expansão agrícola foi adotado, na ocasião de concepção do PHA, considerando a impossibilidade de calcular por outros meios a diminuição de áreas de vegetação protegidas, sendo estas de vegetação natural remanescentes ou áreas protegidas por instrumentos legais (Unidades de Conservação, entre outras). Dessa forma, o estudo inferiu que a expansão agrícola levaria a uma degradação e redução da área de cobertura vegetal natural e seria um eficiente indicador do potencial desmatamento, além de levar em

consideração a maior disponibilização de água. Já o indicador qualidade de água reflete o estado de poluição das águas superficiais da bacia de estudo (PHA, 2010).

O amplo estudo de Dutra (2017) propôs um índice para avaliar a sustentabilidade hidroambiental de bacias hidrográficas, como estratégia de gestão participativa de recursos hídricos, adotando como estudo de caso a bacia do Rio Capibaribe. A pesquisa avaliou o desempenho dos indicadores propostos do PHA Capibaribe, além de propor uma matriz de indicadores para avaliação hidroambiental de bacias hidrográficas.

No referido estudo, para o estabelecimento da matriz de indicadores para avaliação hidroambiental de bacias hidrográficas foram realizadas oficinas com membros da sociedade civil e poder público, que compõem, em sua maioria, o colegiado do Comitê da bacia hidrográfica do Capibaribe. Resultando em um sistema de avaliação para bacias hidrográficas, composto por um total de nove indicadores, sendo três na dimensão ambiental, um na dimensão social, um na dimensão econômica e quatro na dimensão institucional. O Quadro 4 apresenta a definição dos indicadores e as fontes de dados consultadas no estudo.

Quadro 4: Descrição dos indicadores para avaliação hidroambiental em bacias hidrográficas

Dimensão	Indicador	Descrição	Fonte
Ambiental	1. Atendimento Total de Água (IATA)	População total atendida com abastecimento de água em relação a população total do(s) município(s) atendidos com abastecimento de água.	SNIS
	2. Coleta de esgoto (ICE)	Domicílios particulares permanentes atendidos por rede geral de esgoto ou pluvial em relação ao total de domicílios.	BDE
	3. Coleta de Resíduos Sólidos (ICRS)	Domicílios particulares permanentes atendidos por coleta de lixo no município	BDE
Social	4. Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM)	É composto pelos componentes da longevidade (expectativa de vida ao nascer), Educação (Escolaridade da população adulta e fluxo escolar da população jovem) e Renda (Renda per capita).	IBGE
Econômica	5. Produto Interno Bruto (PIB) per capita	Potencial de crescimento da demanda por abastecimento de água para uso produtivo, como define a capacidade de geração de negócios e portanto, oportunidades de criação de emprego e renda, fundamentais para o desenvolvimento da região. PIB per capita é o produto interno bruto, dividido pela quantidade de habitantes de um país.	IBGE
Institucional	6. Comitê de Bacia Hidrográfica (ICBH)	Avalia a existência e nível de atuação do comitê na bacia, traduzindo-se no nível de gestão participativa ou governança das águas.	APAC/C BH
	7. Outorga (IO)	Avalia o nível de implantação da outorga na bacia	APAC
	8. Cobrança (IC)	Avalia o nível de implantação da cobrança na bacia	APAC
	9. Enquadramento (IE)	Avalia o nível de implantação do enquadramento na bacia	APAC

Fonte: Dutra (2017)

A concepção do Índice de Sustentabilidade Hidroambiental em Bacias Hidrográficas (ISHAB) de Dutra (2017) possibilitou uma avaliação integrada, mais abrangente do que a realizada no PHA Capibaribe, contemplando todas as dimensões da sustentabilidade (ambiental, social, econômica e institucional). Além disso, o processo de definição dos indicadores propostos foi participativo, em consonância com política de recursos hídricos, que prevê uma gestão participativa das águas.

3.4. OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)

Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) compõem a agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU) e são compostos por 17 objetivos, 169 metas e 231 indicadores, com implementação até 2030. Nelas estão previstas ações globais que aspiram acabar com a pobreza, garantir saúde de qualidade, proteção do meio ambiente, entre outros. As metas são monitoradas por indicadores e os resultados de cada nação são comparados, oferecendo um panorama global para o acompanhamento da Agenda pelas Nações Unidas em todo o mundo.

Dentre os 17 ODS, destaca-se o ODS 3, que aborda a temática Saúde e Bem-Estar e busca garantir uma vida saudável e promover o bem-estar para todas as pessoas, em todas as idades. Este objetivo é fundamental para assegurar que todos possam viver uma vida longa e saudável, e inclui várias metas e indicadores específicos para abordar questões de saúde global. Estudos já apontam os agrotóxicos como agentes químicos ligados ao desencadeamento de várias doenças, nesse contexto, monitorar e reduzir sua exposição ajuda a prevenir problemas de saúde associados.

O ODS 6, ou Sustainable Development Goal 6 (SDG 6) em inglês trata de saneamento e recursos hídricos em uma perspectiva integrada. É composto por 8 metas, que visam “assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos”. Permite avaliar aspectos relacionados à disponibilidade hídrica, demanda e uso da água para as atividades humanas, ações de conservação dos ecossistemas, abastecimento de água, além de saneamento básico (ANA, 2022).

A meta 6.3 objetiva até 2030 melhorar a qualidade da água nos corpos hídricos, reduzindo a poluição, eliminando lançamentos inadequados, entre outras ações. Um dos indicadores para o monitoramento desta meta é o 6.3.2 que considera a quantidade de rios,

reservatórios e aquíferos monitorados por bacia hidrográfica e a porcentagem desses corpos hídricos classificados como de boa qualidade.

O Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 15, “Vida Terrestre”, visa proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerenciar de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e a perda de biodiversidade. Este objetivo é fundamental para a preservação dos ambientes naturais e a promoção da sustentabilidade ambiental.

Para Sales (2022), de maneira direta e indireta, a água é fundamental para o alcance de todos os ODS, uma vez que ela é a base para a existência de vida animal e vegetal. Dessa forma, todos os ODS estabelecidos relacionam-se de alguma maneira com o recurso hídrico.

4 METODOLOGIA

Com o objetivo de desenvolver um índice agroambiental identificar as regiões de maior pressão pelo uso de agrotóxicos na região da Bacia hidrográfica do Capibaribe o estudo realizado propõe a combinação de três indicadores que consideram variáveis como a quantidade de agrotóxicos comercializados no estado de Pernambuco, o Potencial de Periculosidade Ambiental (PPA) dos agrotóxico possivelmente utilizados na região e a precipitação média anual.

Nesse sentido, a presente pesquisa se caracteriza como aplicada, pois visa propor uma ferramenta técnica que possa subsidiar a atuação de órgãos públicos na gestão ambiental da Bacia do Rio Capibaribe, contribuindo diretamente para a resolução de um problema prático.

Trata-se de uma pesquisa de abordagem quantitativa, uma vez que se baseia na coleta, organização, análise e interpretação de dados numéricos provenientes de fontes secundárias oficiais, como IBGE, IBAMA e APAC. Conforme Marconi e Lakatos (2017), a pesquisa quantitativa utiliza-se da mensuração de variáveis e do tratamento estatístico de dados para explicar fenômenos.

Do ponto de vista dos objetivos, é considerada uma pesquisa exploratória e descritiva, pois busca compreender o fenômeno investigado. Segundo Gil (2008), pesquisas exploratórias visam proporcionar maior familiaridade com o problema, enquanto pesquisas descritivas têm como objetivo a descrição das características de determinada população, fenômeno ou a análise de sua distribuição.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

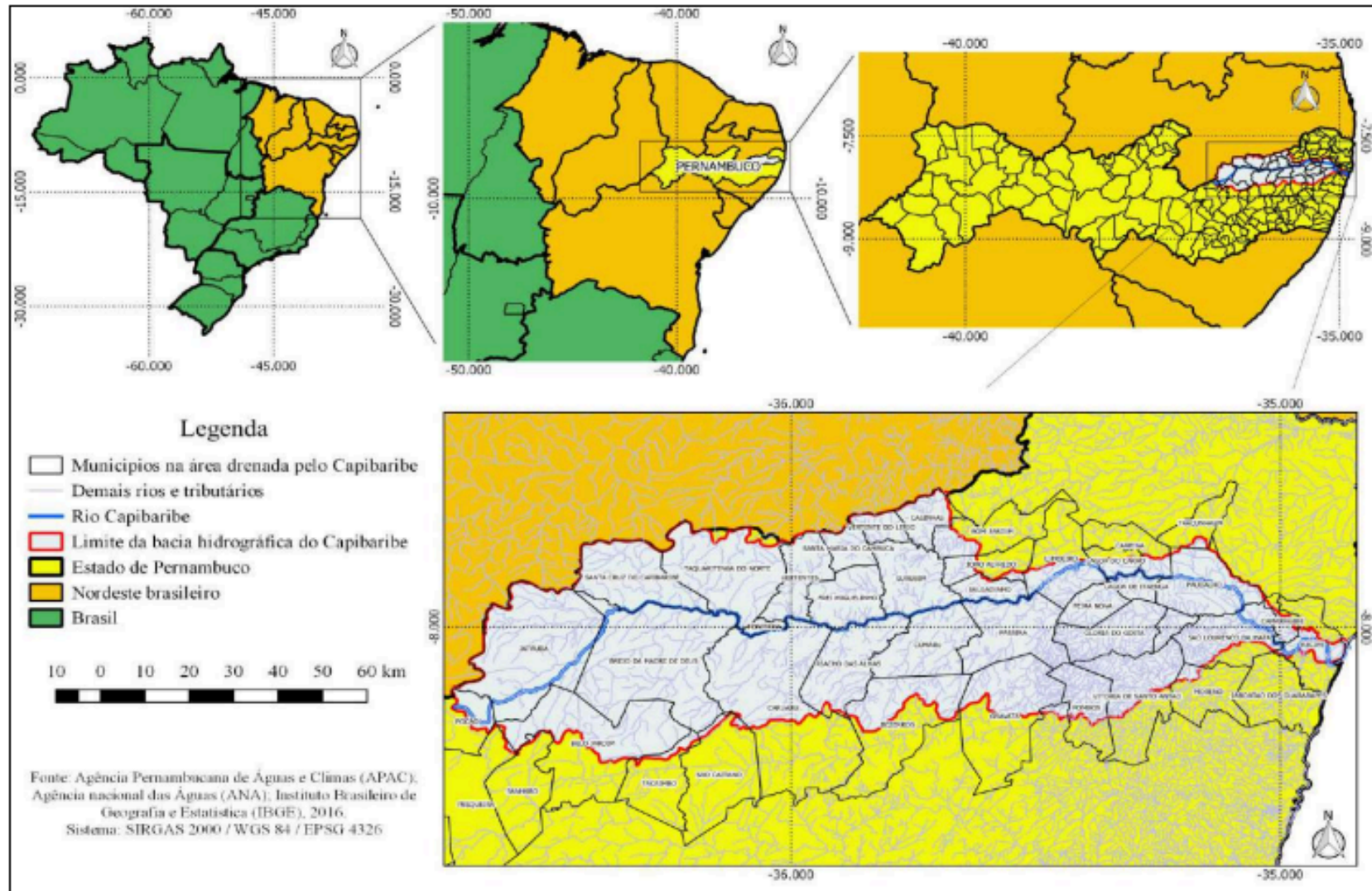
A bacia hidrográfica do Rio Capibaribe possui uma área de 7.454,88 km² e abrange 42 municípios. Localiza-se na porção nordeste do estado de Pernambuco e integra uma das 29 Unidades de Planejamento Hídrico (UPH) definidas no território estadual, sendo identificada como UPH 2. Sua extensão territorial engloba áreas pertencentes a cinco Regiões de Desenvolvimento (RD): RD 08 (Agreste Central), RD 09 (Agreste Setentrional), RD 10 (Mata Sul), RD 11 (Mata Norte) e RD 12 (Região Metropolitana).

Essa diversidade territorial, que inclui as regiões do agreste, mata e litoral, torna a bacia um ambiente complexo, marcado por contrastes climáticos, topográficos, pedológicos, de cobertura vegetal e socioeconômicos. Diante dessa heterogeneidade, torna-se essencial um

modelo de gestão hídrica e ambiental capaz de atender às especificidades sub regionais e locais (PERNAMBUCO, 2010).

O Rio Capibaribe nasce na divisa dos municípios de Jataúba e Poção, percorrendo por vários centros urbanos e servindo de corpo receptor de resíduos industriais e domésticos. Apresenta direção inicial sudeste-nordeste, até as proximidades de Santa Cruz do Capibaribe, quando seu curso toma a direção oeste-leste, percorrendo uma extensão total de cerca de 270 km até sua foz, na cidade do Recife. O corpo hídrico apresenta regime fluvial intermitente nos seus alto e médio cursos, tornando-se perene somente a partir do município de Limoeiro, no seu baixo curso (APAC, 2023). A Figura 3 apresenta a localização da bacia hidrográfica do Rio Capibaribe, destacando sua inserção no território do estado de Pernambuco e da região Nordeste do Brasil.

Figura 3: Localização da bacia hidrográfica do Rio Capibaribe, estado de Pernambuco / Nordeste / Brasil



Fonte: Aragão (2017)

Este rio abastece 42 municípios das regiões do Agreste, Zona da Mata e Litoral, apresentando uma extensão total de 270 km, desde sua nascente até a foz no Oceano Atlântico. O Quadro 5 apresenta os municípios, sua área e o percentual do território destes inserido na área da bacia hidrográfica.

Quadro 5: Municípios que integram a bacia hidrográfica do Rio Capibaribe.

Município	Área na bacia (%)	Município	Área na bacia (%)
Belo Jardim	5,50	Paudalho*	3,57
Bezerros	2,97	Passira*	4,57
Bom Jardim	0,73	Pesqueira	0,05
Brejo da Madre de Deus*	10,19	Poção	0,23
Camaragibe*	0,46	Pombos*	2,04
Carpina*	4,02	Recife*	0,92
Caruaru	7,13	Riacho das Almas*	4,11
Casinhas*	1,41	Salgadinho	1,12
Chã de Alegria*	0,66	Sanharó	0,08
Chã Grande	0,18	Santa Cruz do Capibaribe*	4,55
Cumarú*	3,99	Santa Maria do Cambucá*	1,18
Feira Nova*	1,42	São Caetano	0,17
Frei Miguelinho*	2,93	São Lourenço da Mata*	2,82
Glória do Goitá*	3,11	Surubim*	3,44
Gravatá	3,22	Tacaimbó	0,35
João Alfredo	0,72	Taquaritinga do Norte*	5,96
Jataúba*	9,57	Toritama*	0,41

Quadro 5: Municípios que integram a bacia hidrográfica do Rio Capibaribe (continuação)

Município	Área na bacia (%)	Município	Área na bacia (%)
Lagoa do Carro	0,52	Tracunhaém*	0,14
Lagoa do Itaenga*	0,76	Vertente do Lério*	0,94
Limoeiro*	1,85	Vertentes*	2,62
Moreno	0,21	Vitória de Santo Antão*	2,71

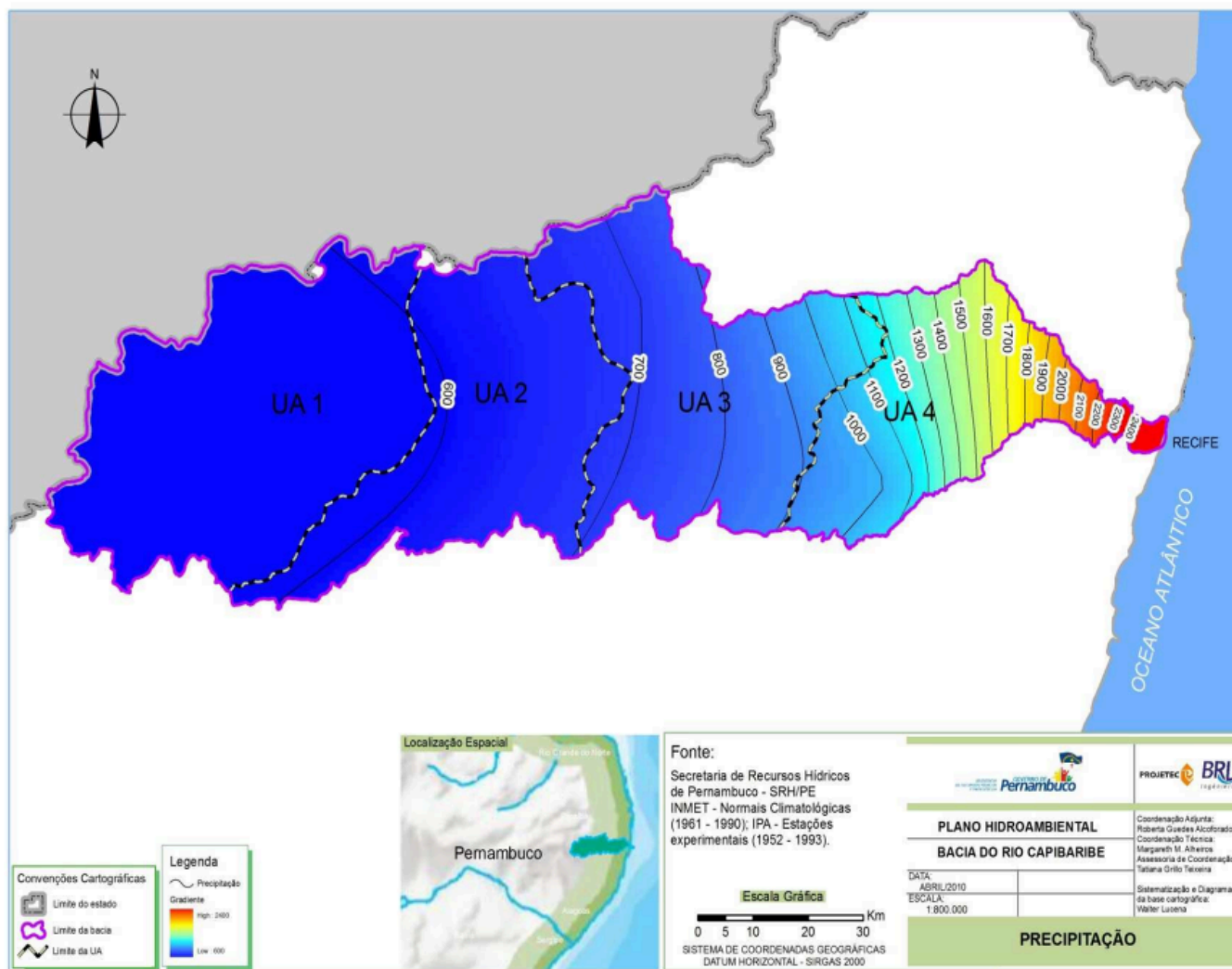
Fonte: PERNAMBUCO, 2010

*Município com sede urbana da bacia.

A rede hídrica da Bacia do Capibaribe é composta por diversos cursos d'água. Pela margem direita, destacam-se o Riacho Aldeia Velha, Riacho Tabocas, Riacho Carapotós, Rio Cachoeira, Riacho das Éguas, Riacho Cassatuba, Riacho Grota do Fernando, Rio Cotunguba, Riacho Goitá e Rio Tapacurá, além de outros de menor porte. Já na margem esquerda, os principais corpos d'água incluem o Riacho Jundiá, Riacho do Pará, Riacho Tapera, Riacho do Arroz, Riacho da Topada, Riacho Caiá e o Rio Camaragibe, também conhecido como Bezouro, acompanhados por diversos riachos menores (PERNAMBUCO, 2010).

O clima na bacia hidrográfica do Rio Capibaribe é influenciado por dois principais sistemas meteorológicos responsáveis pela geração de chuvas: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e as Ondas de Leste (SECTMA, 1998). Na figura 4 é possível evidenciar a alta variabilidade da precipitação a qual a bacia hidrográfica está submetida, com valores que vão de 600 a 2400mm ao ano e uma precipitação média anual de 1.133,59 mm. Sendo o período mais crítico, com menores índices pluviométricos, a ocorrer entre os meses de setembro e março (PERNAMBUCO, 2010).

Figura 4: Isoietas anuais médias (mm) para a bacia hidrográfica do Rio Capibaribe



Fonte: PERNAMBUCO, 2010

A evapotranspiração apresenta variações sazonais marcantes. De abril a setembro, os índices são mais baixos devido ao aumento da umidade relativa do ar e à menor intensidade da evaporação. Já entre outubro e março, esses valores se elevam, refletindo o impacto dos sistemas atmosféricos na distribuição das chuvas e na disponibilidade hídrica. A evapotranspiração potencial varia entre 1500 mm e 1900 mm ao longo da bacia, sendo mais intensa no interior e reduzindo-se em direção ao litoral (PERNAMBUCO, 2010)

Este contexto de escassez de chuvas combinada com altos índices de evapotranspiração pode comprometer a oferta de água para consumo e atividades produtivas em algumas regiões da bacia (Dutra, 2017).

Dados do Monitor de Secas, ferramenta de acompanhamento regular e periódico da situação da seca estado de Pernambuco e instrumentalizado pela Agência pernambucana de Águas e Climas (APAC), apontaram que em fevereiro de 2025, os municípios que compõem a Bacia do Rio Capibaribe foram classificados nas categorias de seca fraca e moderada. O monitoramento permite observar mensalmente o surgimento, evolução ou diminuição de eventos de seca, classificando-os conforme sua severidade e duração (APAC, 2025).

No que tange às características físicas, a bacia do Rio Capibaribe reflete aspectos de sua abrangência em parte das regiões de desenvolvimento do Agreste Central, Agreste Setentrional, Mata Sul, Mata Norte e Litoral de Pernambuco. Nesse contexto, a bacia possui uma pluralidade de formação de solos, predominando: Latossolos, Argilossolos, Luvisolos, Planossolos e Neossolos (CPRM, 2011).

O relevo da bacia apresenta altitudes que atingem cerca de 920m a 1150m no Alto Capibaribe, reduzindo a elevação para cerca de 230m na zona da Mata e chegando ao nível do mar na costa do litoral (Dutra, 2017).

O principal uso da água na Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe está concentrado em três aspectos essenciais: o abastecimento público; a recepção de efluentes domésticos, resultado do lançamento de esgotos urbanos, muitas vezes sem tratamento adequado; e a recepção de efluentes industriais e agroindustriais, provenientes das diversas atividades produtivas ao longo da bacia (PERNAMBUCO, 2010).

A capacidade de acumulação em reservatórios da bacia hidrográfica do Rio Capibaribe é da ordem de 800 milhões de metros cúbicos, sendo que em 5 reservatórios (Jucazinho, Carpina, Tapacurá, Goitá e Poço Fundo) concentra-se mais de 90% da capacidade total de acumulação da bacia. A maior parte dos reservatórios é de pequeno porte, com capacidade máxima inferior a 500 mil metros cúbicos. Porém é relevante destacar que 96,81% do volume anual captado na bacia é direcionado ao abastecimento público, sendo a barragem de

Jucazinho o maior reservatório para abastecimento humano do Agreste, com capacidade para armazenar mais de 327 milhões de metros cúbicos de água (COMPESA, 2024) .

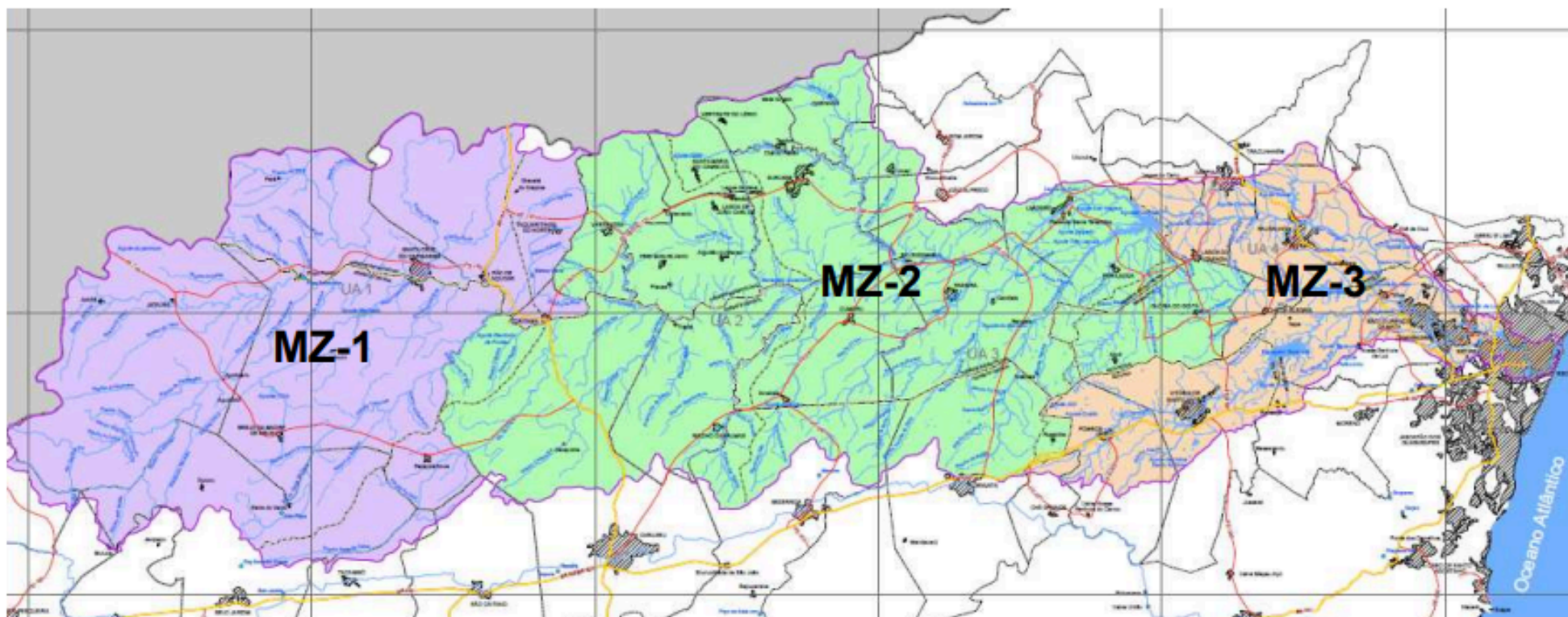
As principais atividades realizadas na bacia envolvem indústrias de produtos alimentícios, minerais não-metálicos, têxteis, metalúrgica, química, produtos farmacêuticos/veterinários, sucroalcooleira, couros, matéria plástica, perfumes/sabões/velas, bebidas, mecânica, material elétrico/comunicação, material de transporte e madeira (CPRH, 2020).

A partir do PHA Capibaribe (PERNAMBUCO, 2010), foi elaborado zoneamento hídrico da referida bacia de acordo com as semelhanças das suas características de disponibilidade hídrica, em três macrozonas, no âmbito do PHA Capibaribe, conforme ilustrado na Figura 5:

- Alto Capibaribe (Macrozona 1 - MZ1), a montante da cidade de Toritama;
- Médio (Macrozona 2 - MZ2), entre as cidades de Toritama e Limoeiro; e
- Baixo Capibaribe (Macrozona - MZ3), situado entre Limoeiro e a cidade de Recife.

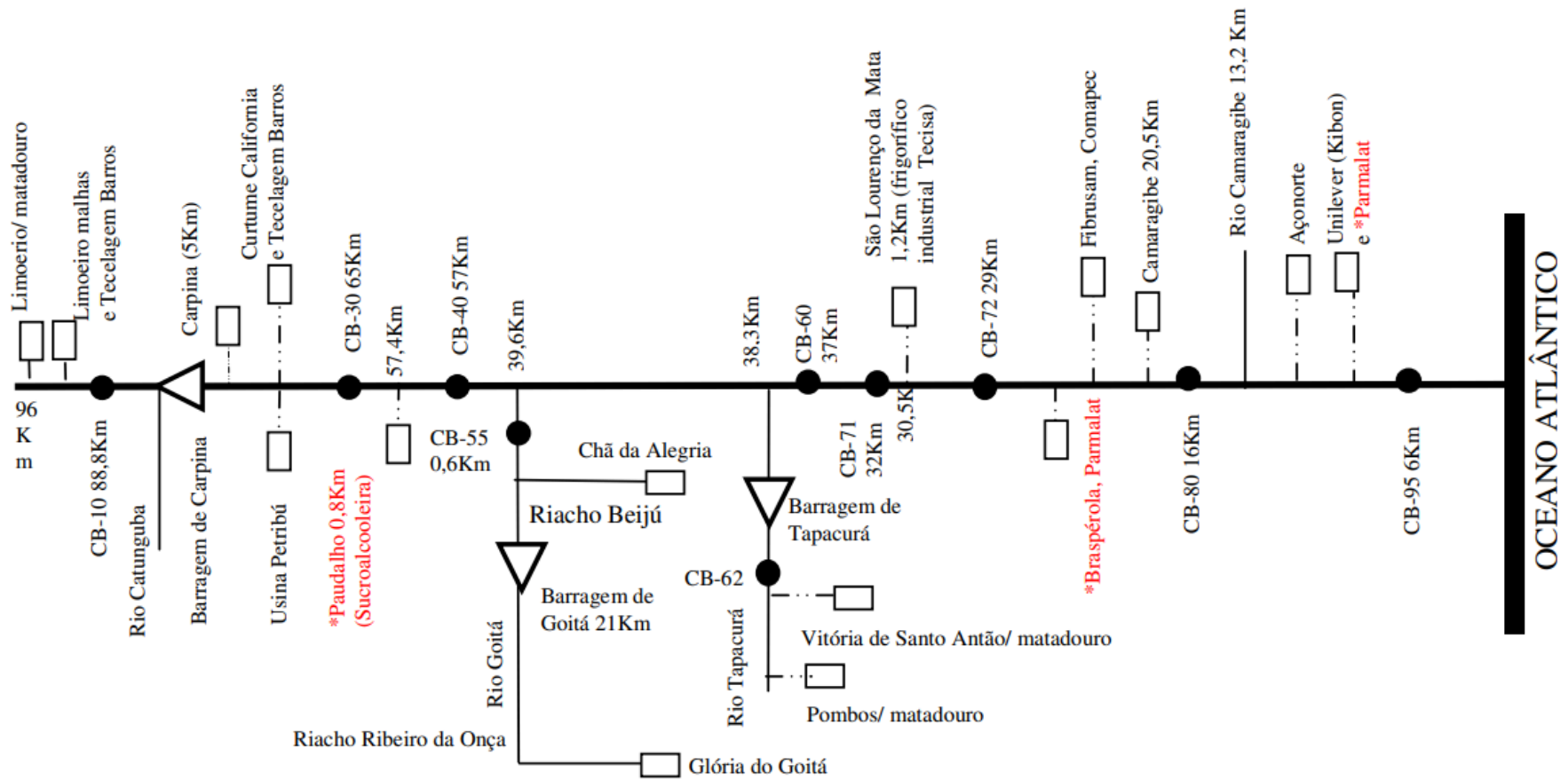
A macrozona monitorada pela CPRH em seu programa de monitoramento sistemático na bacia hidrográfica é a MZ3, conforme diagrama unifilar (Figura 6). É possível verificar no diagrama a localização das estações de monitoramento do órgão ambiental e das principais fontes poluidoras.

Figura 5: Divisão das macrozonas baseado no modelo MAGRE



Fonte: PERNAMBUCO (2010)

Figura 6: Diagrama unifilar da bacia do Rio Capibaribe, Baixo Capibaribe (Macrozona - MZ3).



*Empreendimentos desativados

Fonte: CPRH (2020)

4.2. INDICADORES PROPOSTOS PARA O DESENVOLVIMENTO DO ÍNDICE AGROAMBIENTAL DE PRESSÃO POR AGROTÓXICOS NA BACIA DO RIO CAPIBARIBE (IAPA-CAPIBARIBE)

O Índice Agroambiental de Pressão por Agrotóxicos (IAPA-Capibaribe) foi desenvolvido com base na metodologia proposta por Casagrande (2018), a qual também integra três indicadores. Contudo, no referido estudo, o indicador de pressão ambiental proposto pelo autor é composto pela média da quantidade de quilos/litros de agrotóxicos por hectare por ano de área agricultável expresso no receituário agrônômico dos produtos formulados receitados. Essa informação foi possível de ser obtida uma vez que o estado do Paraná dispõe de Sistema de Monitoramento do Comércio e Uso de Agrotóxicos do Estado do Paraná (SIAGRO) desenvolvido pela Agência de Defesa Agropecuária do Paraná (ADAPAR).

Enquanto Casagrande considerou dados diretos de utilização de agrotóxico por município, este trabalho utilizou uma estimativa a partir de dados secundários sobre o uso de agrotóxicos nos municípios que integram a Bacia do Rio Capibaribe. As informações foram extraídas dos boletins anuais de produção, importação, exportação e vendas de agrotóxicos no Brasil, publicados pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) para o ano de 2023 em seu site oficial. Especificamente, foi utilizado o Perfil de Venda de Agrotóxicos, que apresenta a quantidade, em toneladas de ingrediente ativo (IA), de produtos formulados comercializados por região do Brasil e por unidade da federação.

Além disso, outro dado essencial para o cálculo do índice foi obtido a partir da pesquisa Produção Agrícola Municipal (PAM), realizada anualmente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Essa pesquisa agrícola investiga os principais produtos das lavouras temporárias e permanentes do país, fornecendo informações relevantes, como área plantada, área destinada à colheita, área colhida e quantidade produzida. Os produtos analisados foram selecionados não apenas por sua importância econômica nas exportações, mas também por seu impacto social, sendo componentes essenciais da cesta básica brasileira.

O recorte temporal adotado nesta pesquisa corresponde ao ano de 2023, por se tratar do último período com dados disponíveis proveniente tanto dos boletins fornecidos pelo IBAMA quanto da pesquisa realizada pelo IBGE. Para o cálculo foram levados em conta fatores como a área plantada por cultura e a representatividade de cada cultura nos municípios da bacia, conforme detalhado posteriormente. Dessa forma, os indicadores agroambientais definidos permitirão estimar os possíveis impactos do uso de agrotóxicos, com ênfase na

qualidade da água na Bacia do Rio Capibaribe.

4.2.1. Indicador I₁ - Indicador de pressão ambiental

Indicador proposto para mensurar a pressão do uso de agrotóxicos na bacia hidrográfica a partir da quantidade destes comercializados por município, fornecendo uma estimativa da carga química potencialmente aplicada no ambiente. Para sua mensuração foi utilizado o valor total de toneladas em ingrediente ativo (IA) no estado de Pernambuco em 2023, disponível no Perfil de Venda de Agrotóxicos publicado no boletim anual publicado no site do IBAMA.

Em seguida, foi atribuído os valores de toneladas de IA comercializadas para cada municípios da bacia utilizando como base a representatividade agrícola de cada um, disponibilizada nos dados da Produção Agrícola Municipal (PAM/IBGE). Tal ação foi necessária uma vez que, em Pernambuco, não há disponibilidade de dados sobre a venda e comercialização de agrotóxicos por município. O cálculo considerou o total de área plantada, em hectare, para cada município no cultivo de lavouras permanentes e temporárias. É importante destacar que o PAM não apresenta informações sobre a produção agrícola em outros segmentos da agricultura como horticultura, silvicultura e pastagem, que podem fazer uso de agrotóxico em seu manejo.

No estudo, consideramos então o tamanho da área em hectares contidos na bacia para calcular a carga proporcional de agrotóxicos que potencialmente pode afetar a bacia como um todo. Dos 42 municípios do estudo, apenas 15 estão com 100% inseridos dentro da bacia, os demais apresentam um percentual que está representado conforme quadro 5 e que foram considerados no cálculo de impacto.

Este indicador reflete a pressão potencial exercida sobre o meio ambiente, porém, isoladamente não considera as diferenças de nível de toxicidade, de persistência e de mobilidade dos agrotóxicos envolvidos. As faixas de valores (T/ano) foram definidas com base em quatro classes de impacto, utilizando a estimativa de agrotóxicos comercializados por município no ano de análise na Bacia do Rio Capibaribe. Para a classificação dos dados, foi utilizada a técnica de Natural Breaks (Jenks), que busca otimizar a separação dos valores em classes, minimizando a variância interna e maximizando a variância entre classes (JENKS, 1967).

O processo de agrupamento foi apoiado por ferramenta de inteligência artificial generativa (DeepSeek, 2024), que auxiliou na interpretação estatística e organização das

classes conforme a distribuição dos dados. Nesta etapa utilizou-se o prompt "Calcule quatro classes de impacto para o indicador de pressão ambiental utilizando o método de Quebras Naturais de Jenks, com base nos valores obtidos nos municípios da Bacia do Capibaribe.". O mesmo prompt foi replicado no cálculo dos outros indicadores e do índice agroambiental.

Na tabela 1 é possível evidenciar a atribuição de valores para o Indicador I_1 referente a pressão ambiental.

Tabela 1 - Atribuição de valor para o Indicador I_1

Estimativa de Agrotóxico (T/ano)	Classe de impacto	Impacto
0-186,38	1	Baixa pressão
186,38 - 669,79	2	Pressão moderada
669,79 - 1337,68	3	Pressão média
Acima de 1337,68	4	Pressão alta

Fonte: a autora (2025). Classificação obtida por meio da escala Jenks (1967).

Para representar visualmente a pressão ambiental na bacia, foi aplicada uma escala de cores graduais, variando do verde, que indica menor impacto, ao vermelho, que representa o maior impacto ambiental, conforme tabela 1.

4.2.2. Indicador I_2 - Indicador de Periculosidade Ambiental

Está relacionado à periculosidade ambiental dos agrotóxicos utilizados na Bacia do Rio Capibaribe. Ele foi desenvolvido com base na Avaliação do Potencial de Periculosidade Ambiental (PPA) de Agrotóxicos e Afins realizada pelo IBAMA, que categoriza os ingredientes ativos dos agrotóxicos em quatro classes, conforme o risco ambiental que apresentam. A avaliação de risco considera a bioacumulação, persistência, transporte, toxicidade a diversos organismos, potencial mutagênico, teratogênico, carcinogênico dos agrotóxicos, resultando na seguinte classificação:

- Classe I - Produto ALTAMENTE PERIGOSO ao meio ambiente;
- Classe II - Produto MUITO PERIGOSO ao meio ambiente;
- Classe III - Produto PERIGOSO ao meio ambiente; e,
- Classe IV - Produto POUCO PERIGOSO ao meio ambiente.

A classificação do potencial de periculosidade ambiental do agrotóxico deverá constar,

obrigatoriamente no rótulo e bula do produto, conforme preconizado no Decreto nº 4.074, de 04 de janeiro de 2002.

Para mensuração do indicador I_2 foram considerados todos os agrotóxicos comercializados no estado de Pernambuco e disponibilizados no Perfil de Venda de Agrotóxicos, publicado no boletim anual do IBAMA. Cada ingrediente ativo identificado foi associado à sua respectiva classe de periculosidade ambiental (PPA) com base nos relatórios detalhados disponibilizados pela plataforma Agrofit, que consiste em um banco de informações sobre os produtos agroquímicos e afins registrados no Ministério da Agricultura.

Na ação de compilação dos dados foi produzida uma tabela dinâmica associando o ingrediente ativo (IA) a seu respectivo PPA. A tabela contou ainda com a vinculação entre os IA e suas respectivas indicações de uso, quanto à cultura agrícola. A correlação entre o IA e as culturas é crucial para a mensuração do indicador de periculosidade ambiental, uma vez que para cada cultura agrícola presente na bacia hidrográfica, foi calculada a média ponderada dos PPAs dos agrotóxicos indicados para seu cultivo. Isso permitiu estimar o grau de risco ambiental associado ao uso de agrotóxicos em cada cultura.

Dessa forma, a periculosidade ambiental média dos agrotóxicos foi associada aos municípios com base na Produção Agrícola Municipal (PAM/IBGE) de cada localidade. Conforme a área plantada (em hectare) de cultura, foi atribuído peso que cada cultura oferece em um determinado município. Nesse contexto, os municípios foram classificados em classes de impacto com base na média de periculosidade dos agrotóxicos mais utilizados, ponderado pelo peso de cada cultura.

Para incorporar o Potencial de Periculosidade Ambiental (PPA) dos agrotóxicos ao segundo indicador proposto (I_2), foi necessária a conversão da escala original utilizada pelo IBAMA — na qual os produtos classificados como altamente perigosos recebem menor valor numérico (Classe I) e os pouco perigosos, maior valor (Classe IV) — em uma escala crescente de risco. Assim, foi sugerida a convenção descrita no Quadro 6:

Quadro 6 - Correlação entre Potencial de Periculosidade Ambiental (PPA) e a escala de risco ambiental.

Classe de Periculosidade Ambiental	Escala de Risco Ambiental
Classe IV - Produto POUCO PERIGOSO	1
Classe III - Produto PERIGOSO	2
Classe II - Produto MUITO PERIGOSO	3
Classe I - Produto ALTAMENTE PERIGOSO	4

Fonte: a autora (2025).

Foram utilizadas cores de gradação para demonstrar a pressão ocasionada pela periculosidade ambiental dos produtos potencialmente utilizados sobre a bacia hidrográfica, variando em classe de impacto, variando do menor impacto (verde) ao maior (vermelha), conforme apresentado na Tabela 2 que segue abaixo:

Tabela 2 - Atribuição de valor para o Indicador I_2

Média do PPA	Classe de impacto	Impacto
0 - 2,963	1	Baixa pressão
2,963 - 3,046	2	Pressão moderada
3,046 - 3,073	3	Pressão média
Acima de 3,073	4	Pressão alta

Fonte: a autora (2025). Classificação obtida por meio da escala Jenks (1967).

As divisões de classes foram feitas a partir de quebras naturais de Jenks, método que encontra a melhor maneira de dividir os intervalos similares para a visualização em mapas coropléticos. A ferramenta de IA DeepSeek (2024) foi utilizada como apoio à classificação estatística dos dados, especificamente na organização dos intervalos, com base na distribuição observada.

4.2.3. Indicador I_3 - Precipitação média anual

Indicador relativo a precipitação média anual de cada município e reflete o potencial de run-off (escoamento superficial) em cada município da Bacia do Capibaribe. É esperado

que, quanto maior a precipitação, maior seja a tendência ao transporte de agrotóxicos, carregando-os para os corpos hídricos.

Os dados pluviométricos foram obtidos através de consulta ao histórico publicado pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (Apac). A agência dispõe de uma rede de monitoramento que conta com 352 pluviômetros, além de equipamento proveniente de parcerias técnicas com instituições como o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), que também contribuem com equipamentos de medição. Dessa forma, a instituição garante que todos os 185 municípios pernambucanos tenham pelo menos uma estação de monitoramento.

Para a valoração das classes de impacto para o Indicador I_3 se estabeleceu uma categorização baseada na precipitação média anual da bacia de estudo, quanto maior o potencial de pluviosidade, maior run-off, e conseqüente maior peso. A atribuição dos valores é evidenciada na Tabela 3.

Tabela 3 - Atribuição de valor para o Indicador I_3

Pluviosidade Média Anual (mm/ano)	Classe de impacto	Impacto
416 a 644	1	Baixa pressão
644 a 939	2	Pressão moderada
939 a 1331	3	Pressão média
Acima de 1331	4	Pressão alta

Fonte: a autora (2025). Classificação obtida por meio da escala Jenks.

As divisões de classes foram feitas a partir de quebras naturais de Jenks, utilizando a ferramenta de IA DeepSeek (2024) e utilizou-se cores de gradação para demonstrar o maior e menor impacto sob a bacia.

4.2.4 Índice Agroambiental de Pressão por Agrotóxicos na Bacia do Rio Capibaribe (IAPA-Capibaribe)

A metodologia proposta classificou cada Indicador em classes de impacto variando de 1, para baixa pressão e 4, para pressão alta sobre a bacia hidrográfica, levando-se em

consideração o potencial de impacto e o risco agroambiental ou toxicológico para a formação de um índice agroambiental aqui intitulado como Índice Agroambiental de Pressão por Agrotóxicos na Bacia do Rio Capibaribe (IAPA-Capibaribe).

O cálculo para obtenção do índice consiste na média entre as classes de impacto dos 3 indicadores propostos, resultando em um valor adimensional entre 1 e 4. Quanto maior o valor do índice, maior a pressão agroambiental associada ao uso de agrotóxicos no município analisado. O índice permite a comparação relativa entre os municípios da bacia e será útil na identificação de tendências da evolução no uso de agrotóxicos, ao ser empregado ao longo dos anos.

$$IAPA_i = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}$$

Onde:

- $IAPA_i$ = Índice Agroambiental de Pressão por Agrotóxicos no município i
- I_1 = Classe de impacto do Indicador 1 (Pressão ambiental)
- I_2 = Classe de impacto do Indicador 2 (Periculosidade ambiental)
- I_3 = Classe de impacto do Indicador 3 (Pluviosidade média anual)

Os resultados do $IAPA_i$ serão apresentados com base em graduações definidas por meio do método de Quebras Naturais (Jenks). Esse método utiliza os agrupamentos naturais presentes nos dados, organizando os valores em classes que reúnem elementos semelhantes e, ao mesmo tempo, acentuam as diferenças entre os grupos. Os limites de cada classe são definidos em pontos onde ocorrem variações significativas nos valores, permitindo uma representação mais precisa e interpretável dos dados (Casagrande, 2018). A atribuição dos valores do índice é exposto na Tabela 4.

Tabela 4 - Atribuição de valor para o IAPA_i

IAPA _i	Classe de impacto	Impacto
1 a 1,67	1	Baixa pressão
1,67 a 2,33	2	Pressão moderada
2,33 a 2,67	3	Pressão média
Acima de 2,67	4	Pressão alta

Fonte: a autora (2025). Classificação obtida por meio da escala Jenks.

Conforme metodologia adotada nos indicadores, também para o índice agroambiental foram utilizadas cores de gradação para demonstrar os limites da pressão agroambiental sob a bacia de estudo.

4.3. PRODUÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS

Para a etapa de geoespacialização dos dados e representação espacial dos indicadores e do índice agroambiental proposto (IAPA-Capibaribe), foi utilizado o software QGIS, um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto, na sua versão 3.34 Prizren (2023). As representações cartográficas adotaram gradientes de cor para facilitar a leitura visual do nível de impacto, variando do verde (menor pressão) ao vermelho (maior pressão), além de conter os elementos básicos de leitura cartográfica, como legenda, título, escala gráfica, norte e fonte.

Dessa forma foram produzidos quatro mapas temáticos referentes aos três indicadores propostos neste estudo, I₁, I₂ e I₃, e um mapa relativo ao Índice Agroambiental de Pressão por Agrotóxicos na Bacia do Rio Capibaribe (IAPA-Capibaribe).

4.4. PRODUÇÃO DE MANUAL TÉCNICO

Como produto técnico resultante da realização desta pesquisa, foi elaborado manual técnico explicativo que teve como objetivo sistematizar de forma clara, acessível e tecnicamente fundamentada todas as etapas envolvidas no desenvolvimento do Índice Agroambiental de Pressão por Agrotóxicos na Bacia do Rio Capibaribe (IAPA-Capibaribe). O

manual visa subsidiar órgãos de controle ambiental e demais atores envolvidos na gestão ambiental de bacias hidrográficas.

O manual recebeu o nome de “Manual Operacional do IAPA-Capibaribe” e foi estruturado em nove seções principais: apresentação, introdução, principais conceitos sobre agrotóxicos, índices e indicadores ambientais, metodologia, resultados, aplicabilidade, considerações finais e referências. A diagramação e os elementos gráficos do manual técnico foram desenvolvidos utilizando a plataforma Canva.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este tópico apresenta os resultados do estudo obtidos na produção e cálculo dos três indicadores que compõem o Índice Agroambiental de Pressão por Agrotóxicos (IAPA-Capibaribe). Por fim, os resultados serão interpretados de forma integrada, considerando as especificidades dos municípios, os diferentes usos e ocupação do solo, e os potenciais riscos à qualidade da água. A partir dessa análise, são propostas ações para um monitoramento ambiental da bacia mais eficaz, contribuindo com subsídios para políticas públicas e ações de controle e prevenção da contaminação ambiental.

5.1 INDICADOR I_1 - INDICADOR DE PRESSÃO AMBIENTAL

Objetivando-se mensurar o consumo de agrotóxicos por município localizado dentro da bacia hidrográfica do Capibaribe, e conseqüentemente, calcular a pressão ambiental exercida por estes, esbarrou-se na indisponibilidade de dados oficiais referentes ao consumo e venda dos produtos por municípios.

Muitos estudos desta natureza acabam recorrendo aos dados informados nos receituários agrônômicos, que conforme Decreto Nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002, são prescrição e orientação técnica para utilização de agrotóxico ou afim, por profissional legalmente habilitado. O receituário é pré-requisito para a venda de agrotóxicos, nele está disposto o ativo recomendado, sua dose de aplicação e área da propriedade onde o produto será aplicado, além de informações sobre o estabelecimento. Este fica retido no estabelecimento de venda do produto e pode ser requerido pelo órgão de controle e fiscalização agropecuária.

Nascimento (2013) e Marques (2024) tiveram acesso a alguns receituários agrícolas para o desenvolvimento de suas pesquisas na Bacia do Natuba. As consultas às receitas foram

autorizadas pela Agência de Defesa e Fiscalização Agropecuária de Pernambuco (Adagro) e disponibilizadas pelos estabelecimentos comerciais da região. No entanto, seria inviável utilizar essa metodologia em todos os 42 municípios que compõem a bacia do Capibaribe.

O estado de Pernambuco ainda não dispõe de um sistema informatizado de controle e uso de agrotóxicos, com possibilidade de rastreabilidade através dos receituários agrônômicos por meio do dado quantidade prescrita para o município. Essa possibilidade garantiria uma maior precisão para a geração do indicador de pressão ambiental. A Adagro tem trabalhado no Sistema de Informações Agropecuárias (Siapec 3), que poderia disponibilizar um módulo os receituários agrônômicos, no entanto o sistema encontra-se inativo até a finalização desta dissertação.

Na ausência de dados, este estudo estimou o consumo de agrotóxicos na Bacia do Rio Capibaribe a partir das informações disponibilizadas nos Relatórios de Produção, Importação, Comercialização e Exportação, publicado através de boletins anuais pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Esse relatório é exigido pelo artigo 41 do Decreto Federal nº 4.074/2002, com redação dada pelo Decreto nº 10.833/2021, que determina que as empresas titulares de registro de agrotóxicos forneçam dados relativos à produção, importação, exportação, estoques, vendas e perdas de seus produtos.

No Boletim Anual de Comercialização de Agrotóxicos publicado pelo IBAMA em 2023, foram divulgados os quantitativos de venda dessas substâncias para todas as unidades da federação, detalhando o volume em toneladas de ingrediente ativo (IA) de Produto Formulado correspondente a cada um dos 333 princípios ativos comercializados no país. No estado de Pernambuco, o total registrado chegou a 3.849,90 toneladas de IA, refletindo o volume oficialmente comercializado no território estadual ao longo do ano (IBAMA, 2023).

A fim de estimar o volume comercializado em cada município que integra a bacia hidrográfica do estudo, utilizou-se a pesquisa Produção Agrícola Municipal (PAM), realizada anualmente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e tem como objetivo principal levantar informações sobre a área plantada, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das principais lavouras temporárias e permanentes cultivadas no Brasil.

A pesquisa tem a limitação de não dispor de informações sobre a produção agrícola em outros segmentos da agricultura como horticultura, silvicultura e pastagem, que podem fazer uso de agrotóxico em seu manejo. Nesse aspecto, utilizar os dados do Censo Agropecuário seria uma opção viável, uma vez que o censo coleta informações detalhadas

sobre os estabelecimentos agropecuários e as atividades agropecuárias, florestais e aquícolas neles desenvolvidas. No entanto, apesar da abrangência de dados do censo, sua última edição foi realizada em 2017.

Diante disso, optou-se por utilizar a PAM no fornecimento dos dados de área plantada (em hectare) nas principais lavouras temporárias e permanentes. Na tabela 5 tem-se a metodologia de cálculo adotada para obtenção do indicado. Nos cálculos iniciais para a obtenção da Estimativa de Agrotóxicos por Município (toneladas de ingrediente ativo (IA) de Produto Formulado) o estudo ponderou os Agrotóxicos Comercializados no Estado (toneladas de ingrediente ativo (IA) de Produto Formulado) a partir da área total plantada no estado (805.851 hectares) e das áreas plantadas em cada município no ano de 2023.

Em seguida, levou em conta a área, em hectares, de cada município que efetivamente está inserida na Bacia do Rio Capibaribe, ponderando proporcionalmente a carga de agrotóxicos que pode, potencialmente, afetar o território da bacia como um todo. Dos 42 municípios analisados, apenas 15 possuem 100% de seu território dentro da bacia; os demais têm apenas parte de sua área inserida, conforme detalhado no Quadro 5. Esse percentual foi utilizado no cálculo do impacto por meio do indicador denominado "Estimativa Proporcional de Agrotóxicos na Bacia por Município (EST-PROP-BACIA)".

Tabela 5: Estimativa Proporcional de Agrotóxicos na Bacia do Capibaribe por Município para o ano de 2023 (toneladas de ingrediente ativo (IA) de Produto Formulado) (continua)

MUN	APT-LT	APT-LP	APT-TOT	%APT-EST	EST-AGRO-MUN	AT-MUN	%MUN-BACIA	EST-PROP-BACIA
Belo Jardim (PE)	1000	24	1024	0,1270706371	489,2092459	645,00	63,55	310,8924758
Bezerros (PE)	2480	60	2540	0,3151947444	1213,468247	487,00	45,3	549,7011157
Bom Jardim (PE)	3674	993	4667	0,5791393198	2229,628467	220,00	24,5	546,2589745
Brejo da Madre de Deus (PE)	325	86	411	0,05100198424	196,3525391	759,00	100	196,3525391
Camaragibe (PE)	115	308	423	0,05249109327	202,08546	52,00	67,3	136,0035146
Carpina (PE)	1858	16	1874	0,2325491933	895,2911394	144,00	23,6	211,2887089
Caruaru (PE)	2376	57	2433	0,3019168556	1162,349702	919,07	57	662,5393303
Casinhas (PE)	2465	...	2465	0,305887813	1177,637491	118,00	89	1048,097367
Chã de Alegria (PE)	2725	...	2725	0,338151842	1301,850776	49,00	100	1301,850776
Chã Grande (PE)	133	320	453	0,05621386584	216,4177621	75,00	17,3	37,44027284
Cumaru (PE)	2556	...	2556	0,3171802231	1221,112141	298,00	100	1221,112141
Feira Nova (PE)	352	25	377	0,04678284199	180,1092634	106,00	100	180,1092634
Frei Miguelinho (PE)	1190	...	1190	0,1476699787	568,514651	219,00	100	568,514651
Glória do Goitá (PE)	2168	202	2370	0,2940990332	1132,251868	232,00	100	1132,251868
Gravatá (PE)	470	395	865	0,1073399425	413,2480446	510,00	47	194,226581
Jataúba (PE)	250	...	250	0,03102310477	119,435851	715,00	100	119,435851
João Alfredo (PE)	1413	8	1421	0,1763353275	678,8733773	137,00	39,4	267,4761107
Lagoa de Itaenga (PE)	2739	61	2800	0,3474587734	1337,681532	57,00	100	1337,681532
Lagoa do Carro (PE)	744	38	782	0,09704027171	373,5953421	71,00	55	205,4774381
Limoeiro (PE)	2333	935	3268	0,4055340255	1561,265445	268,00	51,5	804,0517041
Moreno (PE)	6120	235	6355	0,7886073232	3036,059334	192,00	7,8	236,812628

Tabela 5: Estimativa Proporcional de Agrotóxicos na Bacia do Capibaribe por Município para o ano de 2023 (toneladas de ingrediente ativo (IA) de Produto Formulado) (continuação)

MUN	APT-LT	APT-LP	APT-TOT	%APT-EST	EST-AGRO-MUN	AT-MUN	%MUN-BACIA	EST-PROP-BACIA
Passira (PE)	2083	5	2088	0,259104971	997,5282279	341,00	100	997,5282279
Paudalho (PE)	6188	42	6230	0,7730957708	2976,341408	275,00	96,7	2878,122142
Pesqueira (PE)	3210	...	3210	0,3983366652	1533,556327	970,00	3,74	57,35500665
Poção (PE)	825	...	825	0,1023762457	394,1383084	201,00	8,5	33,50175622
Pombos (PE)	1865	229	2094	0,2598495255	1000,394688	203,11	62,3	623,2458908
Recife (PE)	0	0	0	217,00	31,8	0
Riacho das Almas (PE)	2714	8	2722	0,3377795647	1300,417546	315,00	97,4	1266,60669
Salgadinho (PE)	1402	...	1402	0,1739775715	669,7962527	85,00	100	669,7962527
Sanharó (PE)	2050	...	2050	0,2543894591	979,3739786	253,00	2,35	23,0152885
Santa Cruz do Capibaribe (PE)	330	1	331	0,04107459071	158,1330668	340,00	100	158,1330668
Santa Maria do Cambucá (PE)	1855	...	1855	0,2301914374	886,2140147	92,15	100	886,2140147
São Caitano (PE)	930	10	940	0,1166468739	449,0787999	378,00	3,44	15,44831072
São Lourenço da Mata (PE)	6371	42	6413	0,7958046835	3063,768451	265,00	79,2	2426,504613
Surubim (PE)	4202	...	4202	0,5214363449	2007,477784	257,00	100	2007,477784
Tacaimbó (PE)	400	30	430	0,0533597402	205,4296638	230,00	11,3	23,21355201
Taquaritinga do Norte (PE)	1640	1109	2749	0,34113006	1313,316618	470,00	94,5	1241,084204
Toritama (PE)	0	0	0	30,00	100	0
Tracunhaém (PE)	4155	40	4195	0,520567698	2004,133581	118,00	9,3	186,384423

Tabela 5: Estimativa Proporcional de Agrotóxicos na Bacia do Capibaribe por Município para o ano de 2023 (toneladas de ingrediente ativo (IA) de Produto Formulado) (continuação)

MUN	APT-LT	APT-LP	APT-TOT	%APT-EST	EST-AGRO-MUN	AT-MUN	%MUN-BACIA	EST-PROP-BACIA
Vertente do Lério (PE)	970	...	970	0,1203696465	463,4111021	72,00	97,2	450,4355912
Vertentes (PE)	1502	60	1562	0,1938323586	746,2351973	195,00	100	746,2351973
Vitória de Santo Antão (PE)	6820	410	7230	0,8971881899	3454,084812	339,00	59,36	2050,344745

Fonte: A autora (2025)

Legenda:

MUN: Município

APT-LT: Área Plantada com Lavouras Temporárias (ha)

APT-LP: Área Plantada com Lavouras Permanentes (ha)

APT-TOT: Área Total Plantada no Município (ha)

%APT-EST: Participação da Área Plantada no Estado (%)

EST-AGRO-MUN: Estimativa de Agrotóxicos por Município (t IA/Produto Formulado)

AT-MUN: Área Territorial Total do Município (km²)

%MUN-BACIA: Percentual do Município Inserido na Bacia (%)

EST-PROP-BACIA: Estimativa Proporcional de Agrotóxicos na Bacia por Município (t IA/Produto Formulado)

...: Valor não disponibilizado ao IBGE

Desta forma, após os cálculos da tabela descrita, cada município foi classificado conforme classe de impacto, considerando EST-PROP-BACIA que corresponde ao Indicador de pressão ambiental. Na tabela 6 é possível evidenciar a classe de impacto que cada município exerce sobre a bacia hidrográfica.

Tabela 6: Classe de impacto Indicador I_1 por município da bacia hidrográfica do Capibaribe. (continua)

Município	Estimativa Proporcional de Agrotóxicos na Bacia por Município (t IA/Produto Formulado)	Classe de impacto
Paudalho (PE)	2878,122142	4
São Lourenço da Mata (PE)	2426,504613	4
Vitória de Santo Antão (PE)	2050,344745	4
Surubim (PE)	2007,477784	4
Lagoa de Itaenga (PE)	1337,681532	3
Chã de Alegria (PE)	1301,850776	3
Riacho das Almas (PE)	1266,60669	3
Taquaritinga do Norte (PE)	1241,084204	3
Cumarú (PE)	1221,112141	3
Glória do Goitá (PE)	1132,251868	3
Casinhas (PE)	1048,097367	3
Passira (PE)	997,5282279	3
Santa Maria do Cambucá (PE)	886,2140147	3
Limoeiro (PE)	804,0517041	3
Vertentes (PE)	746,2351973	3
Salgadinho (PE)	669,7962527	2
Caruaru (PE)	662,5393303	2
Pombos (PE)	623,2458908	2
Frei Miguelinho (PE)	568,514651	2
Bezerros (PE)	549,7011157	2
Bom Jardim (PE)	546,2589745	2
Vertente do Lério (PE)	450,4355912	2
Belo Jardim (PE)	310,8924758	2
João Alfredo (PE)	267,4761107	2
Moreno (PE)	236,812628	2
Carpina (PE)	211,2887089	2
Lagoa do Carro (PE)	205,4774381	2
Brejo da Madre de Deus (PE)	196,3525391	2
Gravatá (PE)	194,226581	2
Tracunhaém (PE)	186,384423	1
Feira Nova (PE)	180,1092634	1
Santa Cruz do Capibaribe (PE)	158,1330668	1

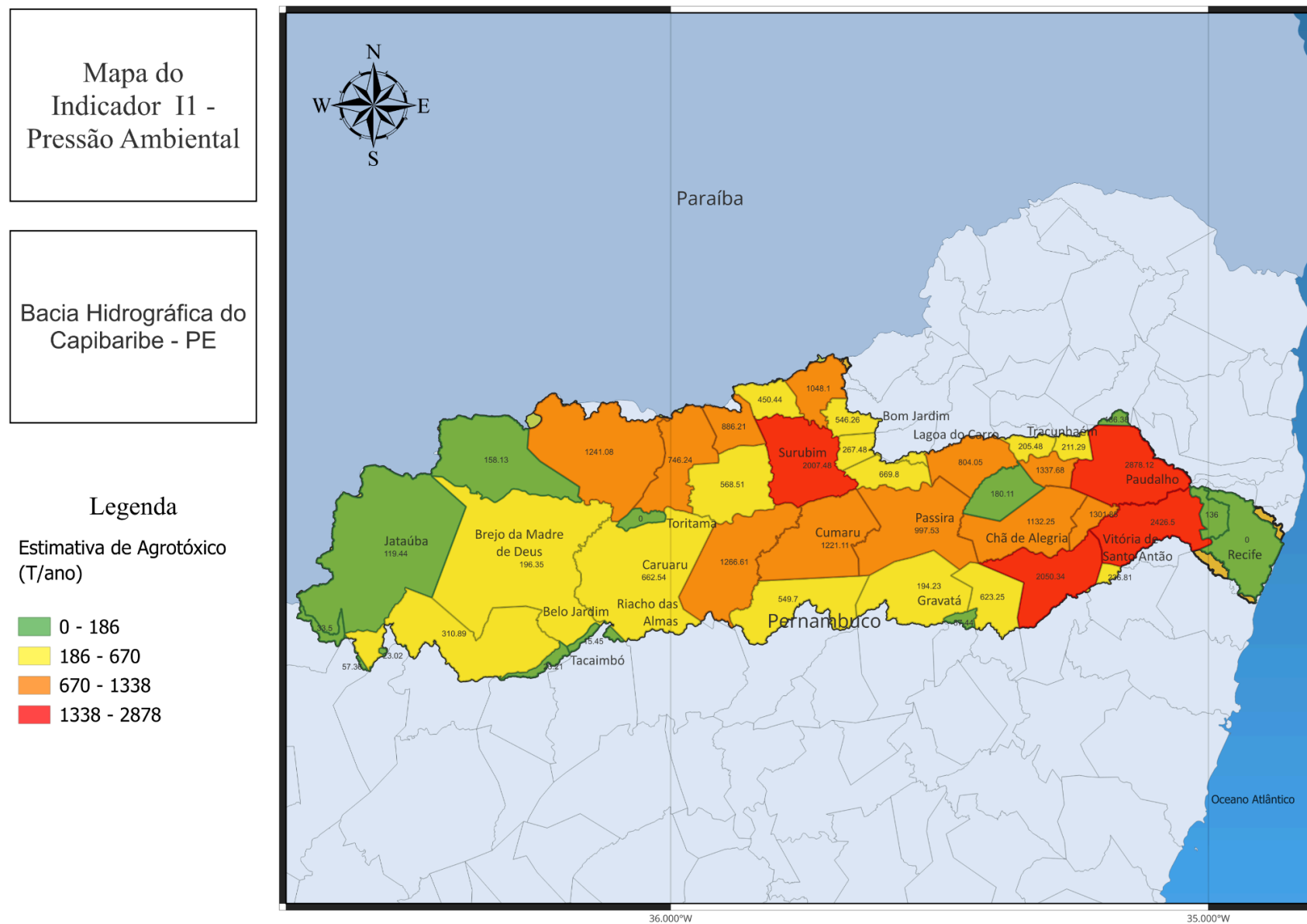
Tabela 6: Classe de impacto Indicador I_1 por município da bacia hidrográfica do Capibaribe. (continuação)

Município	Estimativa Proporcional de Agrotóxicos na Bacia por Município (t IA/Produto Formulado)	Classe de impacto
Camaragibe (PE)	136,0035146	1
Jataúba (PE)	119,435851	1
Pesqueira (PE)	57,35500665	1
Chã Grande (PE)	37,44027284	1
Poção (PE)	33,50175622	1
Tacaimbó (PE)	23,21355201	1
Sanharó (PE)	23,0152885	1
São Caitano (PE)	15,44831072	1
Recife (PE)	0	1
Toritama (PE)	0	1

Fonte: A autora (2025)

Por fim, as classes de impacto são ilustradas por meio de mapa temático para os municípios que compõem a bacia hidrográfica, conforme Figura 7.

Figura 7: Mapa temático do Indicador I₁ de Pressão Ambiental

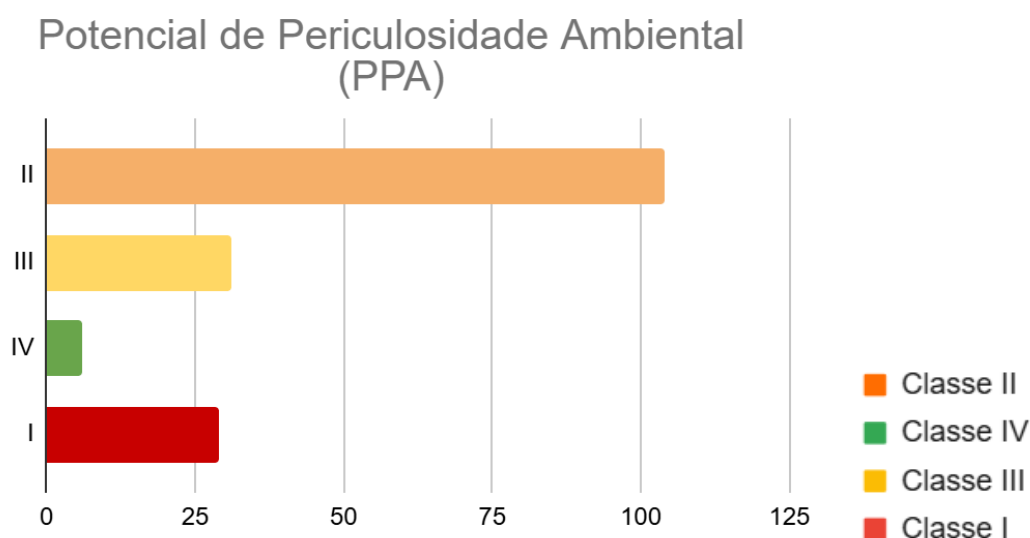


Para os municípios de Recife e Toritama não há dados disponíveis de Produção Agrícola Municipal para nenhuma das culturas. Conforme legenda informada pelo IBGE, não houve pesquisa para a produção das culturas para aquele ano. Verificou-se que também houve ausência de dados nas pesquisas de 2021 e 2022 para os dois municípios, fazendo-nos inferir que não há de fato produção agrícola relevante nas cidades. Dessa forma, não foi possível estimar o impacto dos mesmos para obtenção do indicador, e consequentemente do índice agroambiental.

5.2 INDICADOR I₂ - INDICADOR DE PERICULOSIDADE AMBIENTAL

Para estabelecer o cálculo deste indicador classificou-se os agrotóxicos comercializados no estado de Pernambuco e disponibilizados no Perfil de Venda de Agrotóxicos, publicado pelo IBAMA e cuja indicação de uso se relacionavam as culturas agrícolas dos municípios da bacia com base na Produção Agrícola Municipal (PAM/IBGE). Dessa forma, obteve-se um total de 170 agrotóxicos classificados quanto ao seu Potencial de Periculosidade Ambiental (PPA). Conforme a figura 8, evidencia-se que os agrotóxicos mais utilizados na bacia hidrográfica são classificados na Classe II, sendo considerados produtos muito perigosos ao meio ambiente, conforme análise do órgão ambiental.

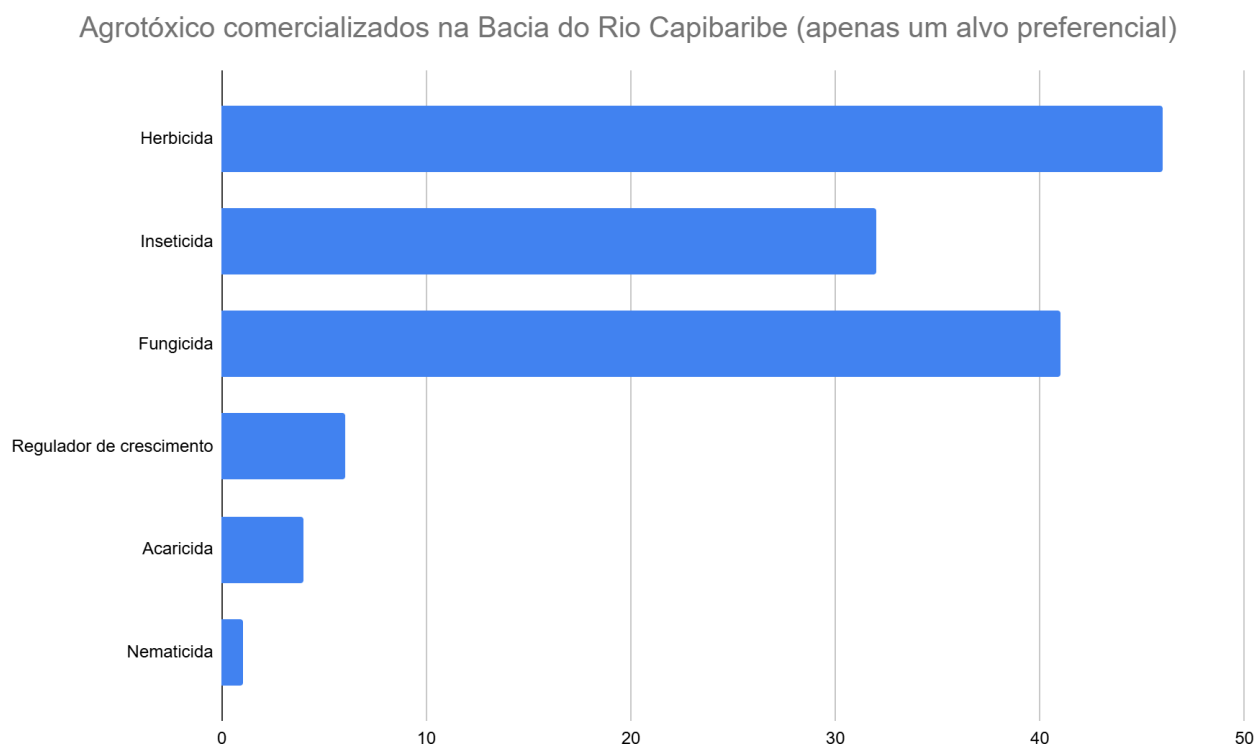
Figura 8: Potencial de Periculosidade Ambiental dos agrotóxicos comercializados na Bacia do Capibaribe - PE em 2023.



Fonte: A autora (2025)

A figura 9 abaixo apresenta a classificação por alvos preferenciais para os agrotóxicos possivelmente utilizados na Bacia do Capibaribe no ano de 2023, considerando aqueles cuja atuação seja exclusivamente para um único alvo.

Figura 9: Agrotóxicos utilizados na Bacia do Capibaribe em 2023, classificados por alvo preferencial.



Para cada cultura agrícola presente na bacia hidrográfica, foi calculada a média ponderada dos PPAs dos agrotóxicos indicados para seu cultivo. Assim, permitiu-se estimar o grau de risco ambiental associado ao uso de agrotóxicos em cada cultura. E, posteriormente, calcular o grau de risco oferecido por cada município sob a bacia.

Conforme anteriormente mencionado, para relacionar o Potencial de Periculosidade Ambiental (PPA) de Agrotóxicos foi necessária a conversão da escala original utilizada pelo IBAMA em uma escala crescente de risco.

A tabela 7 abaixo, exemplifica o cálculo utilizado para obtenção do PPA médio dos

agrotóxicos utilizados na cultura do abacate. Percebe-se que a média é obtida após a conversão em escala de risco ambiental (ERA), para permitir o cálculo do índice agroambiental.

Tabela 7: Cálculo da periculosidade ambiental média dos agrotóxicos utilizados no cultivo do abacate e comercializados em Pernambuco no ano de 2023.

Princípio Ativo	Periculosidade Ambiental	Escala de risco ambiental
bifentrina	I	4
deltametrina	I	4
isocloseram	I	4
lambda-cialotrina	I	4
mancozebe	I	4
acetamiprido	II	3
azoxistrobina	II	3
beta-cipermetrina	II	3
cletodim	II	3
cloridrato de formetanato	II	3
difenoconazol	II	3
enxofre	II	3
espiromesifeno	II	3
fenpiroximato	II	3
flupiradifurona	II	3
flutriafol	II	3
hidróxido de cobre	II	3
espinosade	III	2
espiroclorfenol	III	2
Média Final		3,157894737

Fonte: A autora (2025)

O cálculo acima exemplificado foi realizado para todas as culturas agrícolas dos municípios da bacia de estudo declaradas na pesquisa de Produção Agrícola Municipal

(PAM/IBGE). Com isso, foram obtidas as médias da escala de risco ambiental informadas na tabela 8 para cada cultura.

Tabela 8: Média da escala de risco ambiental (PPA médio) para cada cultura agrícola cultivada na bacia do Capibaribe, em 2023.

Cultura	Escala de Risco Ambiental Média
Abacate	3,157
Algodão	3,042
Banana	3,046
Batata-doce	3,2
Café em grãos	3,041
Café em grãos arábica	3,041
Cana de açúcar	2,963
Castanha	2
Cebola	3,082
Coco	2,9
Fava	3,45
Feijão	3,028
Goiaba	3,086
Laranja	0
Limão	1
Maracujá	3
Mamão	3,048
Mandioca	3,151
Manga	3,043
Milho	3,059
Tangerina	0
Tomate	3,029
Urucum	0

Fonte: A autora (2025)

Para as culturas laranja, tangerina e urucum não foi possível inferir Periculosidade Ambiental, por não ter sido localizado nenhum agrotóxico relacionado a sua cultura e que foi comercializado em Pernambuco no ano de estudo. Neste caso, optou-se por considerar essa cultura com risco ambiental zero.

Considerando a área plantada (em hectare) de cada cultura em um determinado município, foi atribuído peso que cada cultura oferece na área total cultivada. Assim, foi possível relacionar as cidades que compõem a bacia do Capibaribe uma classe de impacto para sua incorporação no índice agroambiental. Abaixo, na tabela 9, o cálculo para obtenção do risco ambiental médio que o município de Belo jardim oferece sob a bacia hidrográfica, considerando as culturas cultivadas na região. Os cálculos para os outros municípios serão disponibilizados no Apêndice A.

Tabela 9: Cálculo para obtenção de escala de risco ambiental (ERA) médio para o município de Belo Jardim-PE.

Município	Cultura	Área Plantada (ha)	Área Total Plantada (ha)	Peso da Cultura no Município	ERA Médio da Cultura	ERA Ponderado	ERA Médio por Município
Belo Jardim	Feijão em Grãos	550	1024	0,537109375	3,028	1,626367188	3,054
Belo Jardim	Mandioca	150	1024	0,146484375	3,151	0,4615722656	
Belo Jardim	Maracujá	24	1024	0,0234375	3	0,0703125	
Belo Jardim	Milho	300	1024	0,29296875	3,059	0,8961914063	

Fonte: A autora (2025)

Legenda:

ERA: Escala de risco ambiental (PPA)

Após a obtenção do risco ambiental proporcionado por cada município, considerando o PPA e as culturas por estes cultivadas, obteve-se os seguintes achados (Tabela 10). Os resultados foram segregados por classe de impacto, conforme escala disposta na tabela 4, para posterior integração ao índice agroambiental.

Tabela 10: Classe de impacto Indicador I₂ por município da bacia hidrográfica do Capibaribe. (continua)

Município	Escala de Risco Ambiental (PPA)	Classe de Impacto
João Alfredo (PE)	3,143	4
Passira (PE)	3,137	4
Chã Grande (PE)	3,119	4
Surubim (PE)	3,113	4
Salgadinho (PE)	3,103	4
Bezerros (PE)	3,1	4
Vertente do Lério (PE)	3,096	4
Cumarú (PE)	3,081	4
Gravatá (PE)	3,081	4
Camaragibe (PE)	3,073	3
Sanharó (PE)	3,069	3
Casinhas (PE)	3,067	3
São Caitano (PE)	3,061	3
Riacho das Almas (PE)	3,058	3
Tacaímbó (PE)	3,058	3
Santa Cruz do Capibaribe (PE)	3,056	3
Frei Miguelinho (PE)	3,055	3
Belo Jardim (PE)	3,054	3
Caruaru (PE)	3,051	3
Bom Jardim (PE)	3,046	2
Jataúba (PE)	3,046	2
Santa Maria do Cambucá (PE)	3,046	2
Vertentes (PE)	3,046	2
Limoeiro (PE)	3,041	2
Pesqueira (PE)	3,04	2

Tabela 10: Classe de impacto Indicador I₂ por município da bacia hidrográfica do Capibaribe. (continuação)

Município	Escala de Risco Ambiental (PPA)	Classe de Impacto
Poção (PE)	3,039	2
Brejo da Madre de Deus (PE)	3,032	2
Carpina (PE)	2,97	2
Taquaritinga do Norte (PE)	2,97	2
Tracunhaém (PE)	2,966	2
Chã de Alegria (PE)	2,964	2
Moreno (PE)	2,964	2
São Lourenço da Mata (PE)	2,963	1
Paudalho (PE)	2,958	1
Glória do Goitá (PE)	2,941	1
Lagoa de Itaenga (PE)	2,931	1
Vitória de Santo Antão (PE)	2,931	1
Lagoa do Carro (PE)	2,917	1
Feira Nova (PE)	2,896	1
Pombos (PE)	2,806	1
Recife (PE)	0	1
Toritama (PE)	0	1

Fonte: A autora (2025). Classificação obtida por meio da escala Jenks.

A Figura 10 apresenta o mapa temático com a respectiva classificação dos municípios da Bacia do Rio Capibaribe, de acordo com as classes de impacto estabelecidas.

Conforme mapa temático acima exposto, a espacialização do indicador I₂ evidencia que os municípios que oferecem o maior risco potencial estão localizados no médio Capibaribe, região de maiores cultivos de milho, feijão e cana-de-açúcar e na qual não há rede de monitoramento de qualidade de água implementado.

5.3 INDICADOR I₃ - PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL

O Indicador I₃ busca estimar o potencial de transporte de agrotóxicos para os corpos hídricos da Bacia do Rio Capibaribe a partir do escoamento superficial. Para o cálculo das classes de impacto do indicador se estabeleceu uma categorização baseada na precipitação média anual da bacia de estudo, na qual quanto maior o potencial de pluviosidade, maior run-off, e conseqüente maior peso. Na tabela 11 é possível verificar a classe de impacto para cada município, conforme metodologia proposta.

Tabela 11: Classe de impacto Indicador I₃ por município da bacia hidrográfica do Capibaribe. (continua)

Município	Precipitação Média Anual (mm)	Classe de Impacto
Recife (PE)	2457	4
Camaraçari (PE)	2117	4
Moreno (PE)	1802	4
Paudalho (PE)	1608	4
São Lourenço da Mata (PE)	1597	4
Chã de Alegria (PE)	1331	4
Bom Jardim (PE)	1324	4
Carpina (PE)	1106	3
Glória do Goitá (PE)	1090	3
Tracunhaém (PE)	1081	3
João Alfredo (PE)	1077	3
Lagoa do Carro (PE)	1016	3
Vitória de Santo Antão (PE)	991	3
Chã Grande (PE)	969	3
Limoeiro (PE)	939	3
Lagoa de Itaenga (PE)	936	3

Tabela 11: Classe de impacto Indicador I₃ por município da bacia hidrográfica do Capibaribe. (continuação)

Município	Precipitação Média Anual (mm)	Classe de Impacto
Casinhas (PE)	930	3
Pombos (PE)	791	2
Gravatá (PE)	787	2
Vertente do Lério (PE)	746	2
Feira Nova (PE)	740	2
Salgadinho (PE)	713	2
Surubim (PE)	712	2
Brejo da Madre de Deus (PE)	700	2
Santa Maria do Cambucá (PE)	693	2
Pesqueira (PE)	691	2
Vertentes (PE)	687	2
Belo Jardim (PE)	684	2
Sanharó (PE)	644	2
Passira (PE)	639	2
Tacaimbó (PE)	634	1
Poção (PE)	625	1
Frei Miguelinho (PE)	621	1
São Caitano (PE)	615	1
Caruaru (PE)	612	1
Cumaru (PE)	597	1
Toritama (PE)	557	1
Jataúba (PE)	550	1
Bezerros (PE)	548	1
Taquaritinga do Norte (PE)	541	1
Riacho das Almas (PE)	481	1
Santa Cruz do Capibaribe (PE)	416	1

Fonte: A autora (2025). Classificação obtida por meio da escala Jenks.

A Figura 11 apresenta a espacialização do indicador I₃ através de mapa temático.

Fica evidente na ilustração do mapa temático que a região de maior pressão ambiental ocasionada pela pluviosidade média e seu potencial de escoamento superficial é a porção da Bacia do Capibaribe inserida na região metropolitana do Recife e Zonas da Mata Sul e Norte. Em contrapartida, as regiões que historicamente se apresentam como regiões mais áridas, como o Agreste pernambucano, oferecem menor potencial de risco à bacia hidrográfica.

5.4. ÍNDICE AGROAMBIENTAL DE PRESSÃO POR AGROTÓXICOS NA BACIA DO RIO CAPIBARIBE (IAPA-CAPIBARIBE)

O cálculo para obtenção do índice está detalhado na Tabela 12, sendo obtido por meio da média das três classificações de impacto atribuídas aos indicadores propostos neste estudo. O resultado final é um valor adimensional, variando entre 1 e 4, em que valores mais elevados indicam maior pressão agroambiental associada ao uso de agrotóxicos no município analisado.

Tabela 12: Tabulação dos Indicadores e do Índice Agroambiental de Uso de agrotóxicos - IAPA para o ano de 2023. (continua)

Município	I ₁ - Indicador de Pressão Ambiental		I ₂ - Indicador de periculosidade ambiental		I ₃ - Precipitação média anual (mm)		IAPA-Capibaribe	
	Estimativa Proporcional de Agrotóxicos na Bacia por Município (t IA/Produto Formulado)	Classe de Impacto	Escala de Risco Ambiental (PPA)	Classe de Impacto	Precipitação Média Anual (mm)	Classe de Impacto	Soma	Índice
Surubim (PE)	2007,477784	4	3,113	4	712	2	10	3,33
Casinhas (PE)	1048,097367	3	3,067	3	930	3	9	3,00
Chã de Alegria (PE)	1301,850776	3	2,964	2	1331	4	9	3,00
João Alfredo (PE)	267,4761107	2	3,143	4	1077	3	9	3,00
Passira (PE)	997,5282279	3	3,137	4	639	2	9	3,00
Paudalho (PE)	2878,122142	4	2,958	1	1608	4	9	3,00
São Lourenço da Mata (PE)	2426,504613	4	2,963	1	1597	4	9	3,00
Bom Jardim (PE)	546,2589745	2	3,046	2	1324	4	8	2,67
Camaragibe (PE)	136,0035146	1	3,073	3	2117	4	8	2,67
Chã Grande (PE)	37,44027284	1	3,119	4	969	3	8	2,67
Cumarú (PE)	1221,112141	3	3,081	4	597	1	8	2,67
Gravatá (PE)	194,226581	2	3,081	4	787	2	8	2,67
Limoeiro (PE)	804,0517041	3	3,041	2	939	3	8	2,67
Moreno (PE)	236,812628	2	2,964	2	1802	4	8	2,67
Salgadinho (PE)	669,7962527	2	3,103	4	713	2	8	2,67
Vertente do Lério (PE)	450,4355912	2	3,096	4	746	2	8	2,67

Tabela 12: Tabulação dos Indicadores e do Índice Agroambiental de Uso de agrotóxicos - IAPA para o ano de 2023. (continua)

Município	I ₁ - Indicador de Pressão Ambiental		I ₂ - Indicador de periculosidade ambiental		I ₃ - Precipitação média anual (mm)		IAPA-Capibaribe	
	Estimativa Proporcional de Agrotóxicos na Bacia por Município (t IA/Produto Formulado)	Classe de Impacto	Escala de Risco Ambiental (PPA)	Classe de Impacto	Precipitação Média Anual (mm)	Classe de Impacto	Soma	Índice
Vitória de Santo Antão (PE)	2050,344745	4	2,931	1	991	3	8	2,67
Belo Jardim (PE)	310,8924758	2	3,054	3	684	2	7	2,33
Bezerros (PE)	549,7011157	2	3,1	4	548	1	7	2,33
Carpina (PE)	211,2887089	2	2,97	2	1106	3	7	2,33
Glória do Goitá (PE)	1132,251868	3	2,941	1	1090	3	7	2,33
Lagoa de Itaenga (PE)	1337,681532	3	2,931	1	936	3	7	2,33
Riacho das Almas (PE)	1266,60669	3	3,058	3	481	1	7	2,33
Santa Maria do Cambucá (PE)	886,2140147	3	3,046	2	693	2	7	2,33
Vertentes (PE)	746,2351973	3	3,046	2	687	2	7	2,33
Brejo da Madre de Deus (PE)	196,3525391	2	3,032	2	700	2	6	2,00
Caruaru (PE)	662,5393303	2	3,051	3	612	1	6	2,00
Frei Miguelinho (PE)	568,514651	2	3,055	3	621	1	6	2,00
Lagoa do Carro (PE)	205,4774381	2	2,917	1	1016	3	6	2,00
Recife (PE)*	0	1	0	1	2457	4	6	2,00
Sanharó (PE)	23,0152885	1	3,069	3	644	2	6	2,00

Tabela 12: Tabulação dos Indicadores e do Índice Agroambiental de Uso de agrotóxicos - IAPA para o ano de 2023. (continuação)

Município	I ₁ - Indicador de Pressão Ambiental		I ₂ - Indicador de periculosidade ambiental		I ₃ - Precipitação média anual (mm)		IAPA-Capibaribe	
	Estimativa Proporcional de Agrotóxicos na Bacia por Município (t IA/Produto Formulado)	Classe de Impacto	Escala de Risco Ambiental (PPA)	Classe de Impacto	Precipitação Média Anual (mm)	Classe de Impacto	Soma	Índice
Taquaritinga do Norte (PE)	1241,084204	3	2,97	2	541	1	6	2,00
Tracunhaém (PE)	186,384423	1	2,966	2	1081	3	6	2,00
Pesqueira (PE)	57,35500665	1	3,04	2	691	2	5	1,67
Pombos (PE)	623,2458908	2	2,806	1	791	2	5	1,67
Santa Cruz do Capibaribe (PE)	158,1330668	1	3,056	3	416	1	5	1,67
São Caitano (PE)	15,44831072	1	3,061	3	615	1	5	1,67
Tacaimbó (PE)	23,21355201	1	3,058	3	634	1	5	1,67
Feira Nova (PE)	180,1092634	1	2,896	1	740	2	4	1,33
Jataúba (PE)	119,435851	1	3,046	2	550	1	4	1,33
Poção (PE)	33,50175622	1	3,039	2	625	1	4	1,33

*Municípios com dados incompletos.

Fonte: A autora (2025). Classificação obtida por meio da escala Jenks.

Os municípios Recife e Toritama, conforme anteriormente exposto, não apresentaram dados ao PAM, realizada pelo IBGE, impossibilitando o cálculo dos indicadores de pressão ambiental e periculosidade ambiental. Assim, os municípios serão desconsiderados do cálculo do índice.

Por fim, a Figura 12 ilustra a distribuição espacial dos municípios da Bacia do Rio Capibaribe por meio do mapa temático, sendo estes classificados conforme as respectivas classes de impacto.

Analisando os municípios de maior IAPA percebe-se que as culturas agrícolas mais relevantes são milho, feijão, cana-de-açúcar e fava, que foram destaques em área cultivada e produção agrícola, conforme pesquisa PAM (IBGE). Tais culturas também se relacionam com agrotóxicos de alta periculosidade ambiental, com atenção para a fava que, por sua vez, apresentou-se como o cultivo de maior classe de impacto na mensuração do Indicador 2.

Um aspecto importante a ser considerado e ilustrado na tabela 13 é o percentual da área do município dentro da bacia hidrográfica.

Tabela 13: Municípios de maior Índice Agroambiental de Uso de agrotóxicos - IAPA na Bacia do Capibaribe, em 2023.

Município	Índice	Área do município na bacia %	Principais culturas
Surubim (PE)	3,33	100	Milho e feijão
Casinhas (PE)	3,00	89	Milho e feijão
Chã de Alegria (PE)	3,00	49	Cana-de-açúcar
João Alfredo (PE)	3,00	39,4	Milho, fava e feijão
Passira (PE)	3,00	100	Milho e feijão
Paudalho (PE)	3,00	96,7	Cana-de-açúcar
São Lourenço da Mata (PE)	3,00	79,2	Cana-de-açúcar

Fonte: A autora (2025).

Nesse contexto, a pressão agroambiental associada ao uso de agrotóxicos exercida por Surubim, Passira e Paudalho é ainda mais significativa e pode contribuir de forma mais direta para o comprometimento da qualidade ambiental na região.

5.5. APLICABILIDADE PARA A GESTÃO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CAPIBARIBE

O monitoramento de agrotóxico em águas superficiais ainda é escasso no país. Atualmente no Brasil apenas dois estados têm implantado e em funcionamento um programa

de monitoramento sistemático de qualidade de água que inclua parâmetros para controle de agrotóxicos. Entre eles a CETESB, que realiza o monitoramento de agrotóxicos desde 2002, inicialmente em sedimentos e, a partir de 2011, também em águas superficiais e subterrâneas (CETESB, 2019). E também a Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM), órgão ambiental do Rio Grande do Sul, que iniciou, em 2023, a inclusão da análise de resíduos de agrotóxicos nas bacias hidrográficas do rio Gravataí e do Alto Jacuí, em complementação ao monitoramento da qualidade da água já implementado (Fepam, 2023).

A pouca adesão dos órgãos ambientais ao monitoramento de agrotóxico pode estar relacionado a ausência desses parâmetros no programa Qualiágua, que financia o monitoramento ambiental da qualidade de água na maioria dos estados. Sem a obrigatoriedade por parte deste programa, nem do incentivo financeiro da ANA para este fim, deixa-se de obter dados significativos, considerando o alto custo envolvido nesse tipo de monitoramento.

O Programa Piloto de Monitoramento de Agrotóxicos em Recursos Hídricos que será iniciado ainda em 2025 ainda não disponibilizou quais bacias hidrográficas serão contempladas pelo monitoramento, no entanto, face ao número de amostras realizadas no projeto piloto anterior (513 amostras), pode ser pouco significativo em termo de levantamento de dados e controle ambiental. Nessa perspectiva, uma alternativa viável seria equipar os laboratórios de análise dos órgãos ambientais com tecnologia capaz de garantir que o monitoramento seja realizado localmente. Além de proporcionar treinamento adequado para os profissionais envolvidos. Garantindo que o monitoramento destes contaminantes possa ser mais eficiente.

Enquanto o monitoramento realizado pelos órgãos ambientais ainda é incipiente, outras alternativas se fazem necessárias para orientar as ações de controle e fiscalização ambiental nas bacias hidrográficas em todo o país. Nessa perspectiva, índices agroambientais podem contribuir para uma gestão mais eficiente do risco agroambiental por expressarem a potencialidade de contaminação dos recursos naturais (Casagrande, 2018).

Abaixo serão elencadas possibilidade de aplicabilidade do índice agroambiental desenvolvido neste estudo como ferramenta para os órgãos de controle. Cabe destacar que a metodologia para mensuração do índice agroambiental do Capibaribe é possível de ser reproduzida para qualquer bacia hidrográfica.

5.5.1. Definição de pontos prioritários de coleta e fiscalização

O Índice Agroambiental da Bacia do Capibaribe é uma alternativa útil para que órgãos ambientais atuem, apontando os municípios prioritários para o monitoramento do uso de agrotóxicos, alertando para os pesticidas mais relevantes para a bacia e orientando onde investir esforços de coleta de amostras, fiscalização de atividades agrícolas e intensificação de monitoramento.

Para que a CPRH passe a monitorar agrotóxicos nos corpos hídricos da bacia do Capibaribe, precisará de uma nova rede de pontos de amostragem considerando que a atual rede de monitoramento não contempla as áreas de uso agrícola, o que limita sua efetividade no rastreamento da presença de agrotóxicos e no controle de impactos decorrentes das atividades agrícolas.

Também se fará necessário ampliar os municípios que integram a rede atual, que contemplam apenas os localizados no baixo Capibaribe (MZ3). Porém, conforme disposto na tabela 13, os municípios de maior Índice Agroambiental de Uso de agrotóxicos (IAPA) estão em sua maioria localizados no médio Capibaribe (MZ 2), sendo eles Surubim, Casinhas, João Alfredo e Passira.

Considerando a limitação de recursos financeiros destinados ao monitoramento, é essencial priorizar quais pesticidas devem ser monitorados em determinada bacia hidrográfica. Nesse contexto, metodologias desenvolvidas para classificar pesticidas de acordo com sua relevância ambiental, como a proposta para o indicador de periculosidade ambiental, podem facilitar programas de monitoramento com foco em moléculas de alta prioridade classificadas (Vryzas; Ramwell; Sans, 2020).

A gestão de resíduos sólidos proveniente do uso de agrotóxicos também é um desafio para os órgãos ambientais. Conforme Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, as embalagens de agrotóxicos devem passar por logística reversa, isto é, retornarem ao fornecedor do produto para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010). No entanto, conforme relatado por Marques (2017) e Nascimento (2013) em estudo realizado na Bacia do Natuba, que integra a Bacia do Capibaribe, a destinação é feita de forma incorreta.

Marques (2013) concluiu, após aplicação de questionários com agricultores locais, que cerca de 30% queimam e 20% descartam as embalagens no meio ambiente. Tal dado denota a

necessidade da fiscalização por parte do órgão ambiental por tratar-se de mais um potencial de contaminação proveniente do uso de agrotóxicos.

Marques (2017) relata ainda a forma inadequada que estes produtos são armazenados pelos produtores rurais, acarretando riscos de contaminação cruzada, ao serem dispostos juntos de outros produtos, além de potencial de derrame direto no solo, se não forem acondicionados conforme recomendações técnicas.

A Lei Estadual de nº 12.753, de 21 de janeiro de 2005, dispõe, entre outras questões, sobre o armazenamento e destino final dos resíduos e embalagens vazias, seus componentes e afins. Conforme a lei, o local destinado ao armazenamento de agrotóxicos deve ser devidamente coberto para proteção contra intempéries, ter boa ventilação e estar isolado a, no mínimo, 15 metros de hospitais, creches, escolas de ensino básico, asilos, instalações pecuárias, locais sujeitos a inundações e cursos d'água, como rios e fontes. Além disso, o espaço deve estar livre de contaminação e possuir um sistema de armazenamento que impeça o contato direto dos produtos com o piso, prevenindo a ação da umidade ou corrosão das embalagens (PERNAMBUCO, 2005).

Dessa forma, se faz necessário uma maior fiscalização dos órgão de controle de forma a identificar possíveis infrações e minimizar os impactos decorrentes do uso desses produtos. Nesta perspectiva, o índice otimizaria a identificação de pontos críticos de forma a traçar planos de monitoramento e estratégias de fiscalização mais alinhadas com a realidade local.

5.5.2. Apoio na Tomada de Decisão para Licenciamento Ambiental

O licenciamento ambiental é um dos instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente, Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 e tem por objetivo compatibilizar o desenvolvimento econômico-social com um meio ambiente ecologicamente equilibrado (IBAMA, 2022). De acordo com a legislação, a construção, instalação, ampliação e operação de empreendimentos ou atividades que utilizem recursos naturais, que sejam potencialmente poluidores ou que possam causar degradação ambiental, estão condicionadas à obtenção prévia do licenciamento ambiental (BRASIL, 1981).

O índice agroambiental do Capibaribe pode auxiliar as ações dos órgãos ambientais municipais e estadual durante o processo de análise para o licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades de captação de água superficial e subterrânea. Ao indicar áreas com maior pressão e vulnerabilidade agroambiental associada ao uso de agrotóxicos, o índice permitirá que os órgãos de controle identifiquem regiões que requerem maior rigor na análise

de novos empreendimentos ou atividades agrícolas, orientando a definição de condicionantes específicas para reduzir riscos ambientais.

5.5.3. Monitoramento da qualidade das águas destinadas ao abastecimento público

O Programa Nacional de Monitoramento da Qualidade da Água para o Consumo Humano (VIGIAGUA) consiste em um conjunto de ações contínuas realizadas pelas autoridades de saúde pública, nas diversas esferas de governo, com o objetivo de assegurar à população o acesso à água em quantidade suficiente e com qualidade compatível com os padrões de potabilidade definidos na legislação vigente (BRASIL, 2023).

Na área da saúde, a Portaria GM/MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021) estabelece que os responsáveis pelo abastecimento de água devem realizar, a cada semestre, o monitoramento da presença de 40 diferentes agrotóxicos na água tratada. Já o Sistema Único de Saúde (SUS), no âmbito das secretarias estaduais de saúde, efetua análises amostrais, conforme plano de amostragem previamente aprovado (BRASIL, 2016).

Conforme diretriz nacional, os planos de monitoramento de agrotóxicos na água para consumo humano deverão ser elaborados por profissionais da Secretaria de Saúde dos estados, conjuntamente com técnicos das Secretarias Municipais de Saúde (BRASIL, 2024). Ainda, conforme o documento, a elaboração do Plano de Monitoramento de Agrotóxicos deverá considerar o levantamento dos agrotóxicos com uso mais difundido no estado e da periodicidade de aplicação dessas substâncias, além de definir a frequência de amostragem, considerando a periodicidade de uso de agrotóxicos e a sazonalidade das culturas (período de chuvas ou início da seca).

Nesta perspectiva, o índice agroambiental, bem como os indicadores obtidos neste estudo, também podem ser ferramentas estratégicas para as empresas de tratamento de água destinadas ao abastecimento público e secretarias de saúde, ao indicar áreas com maior pressão agroambiental e, conseqüentemente, maior risco de contaminação por agrotóxicos. Com essas informações, as concessionárias podem antecipar ações de monitoramento da qualidade da água, ajustar processos de tratamento e fortalecer a segurança do abastecimento, garantindo maior proteção à saúde da população.

Já as secretarias podem tomar posse dos dados provenientes dos indicadores e índice para auxiliar na confecção de seus planos de monitoramento, alinhados às diretrizes e recomendações técnicas do ministério da saúde.

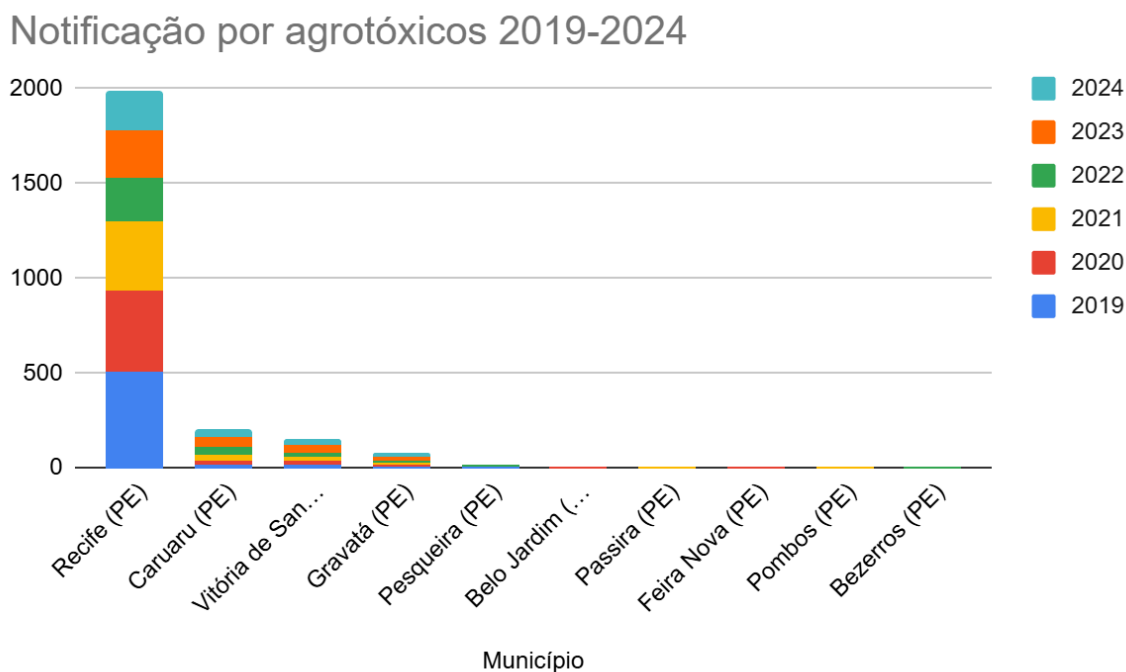
5.5.4. Subsídio ao programa Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos - VSPEA

A exposição humana a agrotóxicos constitui um importante problema de saúde pública, dado seus efeitos na saúde dos trabalhadores, que têm contato direto ou indireto com esses produtos, e outros grupos vulneráveis, que podem ter contato indireto com os produtos e os resíduos proveniente de seu uso. Nesse contexto, o ministério da saúde institui a política de Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos (VSPEA), que visa à execução de ações de saúde integradas com o objetivo geral de promover a qualidade de vida e reduzir, controlar ou eliminar a vulnerabilidade e os riscos à saúde de populações expostas ou potencialmente expostas a agrotóxicos, através de medidas de prevenção, promoção, vigilância e atenção integral à saúde (BRASIL, 2024).

Dados do Sistema de Informações de Agravos de Notificação (SINAN), apurados até novembro de 2024 apontam para 300 casos de notificação de contaminação por agrotóxicos naquele ano. O SINAN é um sistema do Ministério da saúde e é alimentado de notificação e investigação de casos de doenças e agravos que constam na lista nacional de doenças de notificação compulsória.

Na figura 13 pode-se evidenciar os municípios relacionados a notificação e o números de notificações por ano no período de 2019 a 2024, para os municípios da Bacia do Capibaribe. Observa-se ainda os números expressivos de notificações para a cidade do Recife, o que pode estar relacionado ao fato da cidade dispor de hospitais de referência para casos de intoxicação, e que os moradores de outros municípios se desloquem para a cidade a fim de um atendimento mais rápido e eficiente.

Figura 13: Número de notificações de intoxicação por agrotóxicos no período de 2019 a 2024, para os municípios da Bacia do Capibaribe.



Fonte: A autora (2025) a partir do SINAN

Os dados do SINAN apontam para um grande desafio enfrentado pelas secretarias de saúde em atuar no combate às intoxicações provenientes do uso de agrotóxicos. A super notificação para as grandes cidades como Recife e Caruaru alerta para as subnotificações de outros municípios. São nestes que as secretarias de saúde devem atuar.

As diretrizes para a VSPEA apresentam como um dos seus objetivos específicos mapear áreas e grupos de risco, e identificar os produtos agrotóxicos mais frequentemente relacionados às intoxicações.

Nesse contexto, o índice agroambiental pode auxiliar tanto apontando para as localidades que sofrem maior pressão por agrotóxicos como fornecendo dados para a implementação do VSPEA em Pernambuco.

5.7. MANUAL TÉCNICO

Foi elaborado um manual técnico como produto técnico complementar da pesquisa, com o objetivo de apresentar o Índice Agroambiental de Pressão por Agrotóxicos na Bacia do

Rio Capibaribe (IAPA-Capibaribe) de forma acessível e sistematizada. O produto contempla a metodologia adotada, as etapas de cálculo dos indicadores, os dados utilizados, e as possibilidades de aplicação do índice no contexto do monitoramento ambiental de bacias hidrográficas. Espera-se que o manual auxilie instituições públicas e gestores ambientais na aplicação prática do índice desenvolvido.

O produto técnico encontra-se no Apêndice B e foi intitulado como Manual Operacional do IAPA-Capibaribe.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação se propôs a compreender as pressões ambientais relacionadas ao uso de agrotóxicos na Bacia do Rio Capibaribe, por meio da construção de um instrumento analítico inédito: o Índice Agroambiental de Pressão por Agrotóxicos na Bacia do Rio Capibaribe (IAPA-Capibaribe). A partir de três indicadores foi possível sintetizar aspectos agrícolas e ambientais que, juntos, revelam áreas mais suscetíveis à contaminação dos corpos hídricos. O índice, além de oferecer uma leitura integrada da bacia, tem como diferencial a aplicabilidade prática para fins de planejamento ambiental, fiscalização e monitoramento.

O primeiro indicador, referente ao volume de agrotóxicos comercializados por município, apresentou-se como um importante sinalizador da intensidade de uso desses produtos químicos no espaço geográfico da bacia. Municípios como Paudalho, São Lourenço, Vitória de Santo Antão e Surubim se destacaram com maiores classes de impacto, refletindo maior pressão potencial sobre o meio ambiente. Entretanto, essa variável isolada não expressa os efeitos diretos sobre os corpos hídricos, sendo essencial sua análise integrada com os demais indicadores.

O segundo indicador buscou relacionar os municípios da bacia ao Potencial de Periculosidade Ambiental (PPA), utilizado pelo IBAMA, para os agrotóxicos que potencialmente são aplicados em sua área. A metodologia utilizou como base a Produção Agrícola Municipal (PAM/IBGE) e o Perfil de Venda de Agrotóxicos. Esse componente do índice reforça a importância de ir além dos dados quantitativos e considerar a periculosidade dos compostos utilizados.

O terceiro indicador assume o papel de estimar o potencial de deslocamento dos agrotóxicos para os corpos hídricos a partir da precipitação média anual, obtida para cada município. Quanto maior o potencial de pluviosidade, maior run-off, e conseqüente maior potencial de impacto à contaminação por agrotóxico o município oferece para a bacia hidrográfica.

Ao integrar os três indicadores, o IAPA-Capibaribe permitiu classificar os municípios da bacia segundo diferentes níveis de pressão ambiental, destacando seu potencial de aplicabilidade pelos órgãos de controle no monitoramento e fiscalização ambiental, além de direcionamento de políticas públicas. Ademais, a aplicação desse índice demonstra como a articulação de dados secundários, disponíveis em órgãos públicos, pode gerar conhecimento aplicado e acessível, mesmo diante da escassez de dados diretos de contaminação. Em um contexto onde o uso de agrotóxicos segue crescendo, ferramentas como essa são úteis na

proteção dos recursos hídricos, de forma a garantir o direito a um ambiente ecologicamente equilibrado.

Por fim, recomenda-se a realização de novos estudos que aprofundem a aplicação dos indicadores e do índice proposto, incluindo análises direcionadas aos corpos hídricos localizados nas regiões apontadas como mais vulneráveis à contaminação por agrotóxicos na Bacia do Rio Capibaribe. Além disso, destaca-se o potencial de aplicabilidade do índice em outras bacias hidrográficas.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). *Atlas Águas: segurança hídrica do abastecimento urbano*. Brasília: ANA, 2021. 332 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2022: informe anual*. Brasília: ANA, 2023. 105 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). *Cuidando das Águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos*. Brasília: ANA, 2013. 157 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). *Direito de águas à luz da governança*. Brasília: ANA, 2020. 182 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). *ODS 6 no Brasil: visão da ANA sobre os indicadores*. Brasília: ANA, 2022. 112 p.
- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA (APAC). *Apac divulga resultado do monitor de secas referente ao mês de maio de 2025*. Recife: APAC, 2025. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/avisos/10-noticias/1214-apac-divulga-resultado-do-monitor-de-secas-referente-ao-mes-de-maio-de-2025>. Acesso em: 5 jun. 2025.
- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA (APAC). *Bacias Hidrográficas – Rio Capibaribe*. Recife: APAC, [20--]. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/bacias-hidrograficas-rio-capibaribe/162-bacias-hidrograficas-rio-capibaribe>. Acesso em: 31 jul. 2023.
- Araújo, Esmeralda Pereira de. *Agrotóxicos em águas doces superficiais: contexto global, avaliação crítica da legislação brasileira e estudo de caso da Bacia Hidrográfica do Rio Preto-DF*. 2023.
- Araújo, Gabriela Figueiroa de. *Modelagem de fontes de matéria orgânica para bivalves e sua contaminação por organoclorados no sistema estuarino do Rio Capibaribe, Pernambuco*. 2018. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.
- Aragão, João Paulo Gomes de Vasconcelos. *Uso e ocupação das margens do Rio Capibaribe: vulnerabilidades socioambientais em áreas urbanas*. 2017. 294 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.
- Bastos Filho, Reinaldo Antônio et al. Índices e indicadores como ferramentas para análise do espaço urbano: uma meta-análise dos trabalhos publicados a partir da busca nas plataformas Google Acadêmico, Spell e Portal de Periódicos Capes. *Observatório de la Economía Latinoamericana*, v. 22, n. 6, p. e5358, 2024.
- Boff, Leonardo. *Sustentabilidade: o que é – o que não é*. Petrópolis: Vozes, 2015.
- Branchi, Bruna Angela. Sustentabilidade de bacias hidrográficas e índices compostos: aplicação e desafios. *Sociedade & Natureza*, v. 34, p. e63868, 2022.
- BRASIL. *Constituição da República Federativa do Brasil*. Brasília: Senado Federal, 1988.

- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 18 mar. 2005.
- BRASIL. Ministério da Saúde. *Diretrizes para o monitoramento de agrotóxicos em água para consumo humano*. Brasília: Ministério da Saúde, 2024. 56 p. ISBN 978-65-5993-686-1.
- BRASIL. Ministério da Saúde. *Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Vigiagua)*. Brasília: Ministério da Saúde, 2023.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 7 maio 2021.
- BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 2 set. 1981.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 9 jan. 1997.
- BRASIL. Lei nº 14.785, de 27 de dezembro de 2023. Dispõe sobre agrotóxicos e afins. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 28 dez. 2023.
- Bursztejn, Sara. *Avaliação do estágio atual e proposição de metodologia para desenvolver planos de monitoramento de agrotóxicos nos sistemas de abastecimento de água brasileiros*. 2023.
- Caldas, E. D. Toxicological aspects of pesticides. In: VAZ JR., S. (org.). *Sustainable Agrochemistry: A Compendium of Technologies*. Cham: Springer, 2019. p. 197-230.
- Casagrande, Alessandro et al. *Índice agroambiental para avaliar o uso de agrotóxicos (IAA) no Estado do Paraná*. 2018. 163 f. Tese (Doutorado em Tecnologia e Sociedade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.
- Castilho, Maurício Seibert. *Investigação da ocorrência de agrotóxicos em águas superficiais nas bacias hidrográficas dos rios Piratinim e Comandá*. 2023. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, 2023.
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos*. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. 326 p.
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. *Diagnóstico da contaminação de águas superficiais, subterrâneas e sedimentos por agrotóxicos: relatório final*. São Paulo: CETESB, 2019.
- COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento. *Informações e serviços*. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/>. Acesso em: 19 jun. 2025.
- DEEPSEEK. *DeepSeek-VL (Visual Language Model)*. 2024. Disponível em: <https://www.deepseek.com/>. Acesso em: 15 mar. 2025.

Dutra, M. T. D. *Desenvolvimento de um índice de sustentabilidade hidroambiental em bacia hidrográfica: o caso da bacia do rio Capibaribe, Pernambuco*. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (FEPAM). *Monitoramento de agrotóxicos na água superficial*. Porto Alegre: FEPAM, 2023. Disponível em: <https://www.fepam.rs.gov.br/monitoramento-de-agrotoxicos>. Acesso em: 20 maio 2025.

Gil, Antonio Carlos. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2015*. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. *Manual para Requerimento de Avaliação Ambiental: agrotóxicos e afins*. Brasília: IBAMA, 2009.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. *Projeto Piloto de Monitoramento Ambiental de Agrotóxicos em Água e Solo*. Brasília: IBAMA, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/projeto-piloto-de-monitoramento-ambiental-de-agrotoxicos-em-agua-e-solo> Acesso em: 19 maio 2025.

Jenks, G. F. The data model concept in statistical mapping. *International Yearbook of Cartography*, v. 7, p. 186–190, 1967.

Kreutz, Cristiane et al. Potencial de contaminação em águas superficiais: um estudo na bacia hidrográfica do Alto Ivaí. *Proyección*, v. 17, n. 34, p. 203-223, 2023.

Lanna, A. E. *Introdução à gestão das águas no Brasil*. Porto Alegre: UFRGS, 2001.

Marconi, M. A.; Lakatos, E. M. *Fundamentos de metodologia científica*. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

Marques, Jonathas Gomes de Carvalho. *Proposições para o gerenciamento do uso de agrotóxicos utilizados na bacia hidrográfica do Natuba, Vitória de Santo Antão, Pernambuco*. 2017. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental) – Instituto Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

Marques, Jonathas Gomes de Carvalho. *Uso de agrotóxicos e suas implicações na contaminação de matrizes ambientais em comunidade agrícola do Nordeste do Brasil*. 2024. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2024.

Menêzes, Anna Karolina Marinho de; MARTINS, Maria de Fátima de. Conexões entre as temáticas Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), Indicadores de Sustentabilidade e Gestão Municipal Sustentável: uma revisão sistemática da literatura contemporânea. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 5, p. e57810515309, 2021.

Mitchell, G. Problems and fundamentals of sustainable development indicators. *Sustainable Development*, v. 4, n. 1, p. 1-11, 1996.

Moura, Romero Marinho de. Humanos versus natureza: a origem das questões fitossanitárias que levaram ao uso dos agrotóxicos. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica*, v. 15, n. 2, p. 23-36, 2018.

- Nascimento, R. M. *Impactos dos agrotóxicos na contaminação ambiental da produção de hortaliças no baixo rio Natuba, Pernambuco*. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.
- Neto, L. Martin. *Instrumentação avançada em ciência do solo*. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2007.
- Oliveira, Cláudia Ricardo de. *Qualidade da água e conservação de nascentes em assentamento rural na mata pernambucana*. 2014.
- Oliveira, Raimundo Márcio Pereira de. *Efeito genotóxico das águas superficiais do baixo curso da bacia hidrográfica do Rio Capibaribe, Pernambuco-Brasil*. 2019. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.
- ONU – Organização das Nações Unidas. *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: Agenda 2030*. Nova York: ONU, 2022.
- Pagenotto, M. L. Brasil consome 18% dos agrotóxicos do mundo, mesma porcentagem dos Estados Unidos. *De Olho nos Ruralistas*, 2019.
- Palma, D. A. *Monitoramento de qualidade da água com o enfoque ciência cidadã: estudo de caso em Brazlândia/DF*. 2016. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- Papadakis, E. N. et al. Pesticides in the surface waters of Lake Vistonis Basin, Greece: occurrence and environmental risk assessment. *Science of the Total Environment*, v. 536, p. 793-802, 2015.
- PERNAMBUCO. *Lei nº 12.753*, de 21 de janeiro de 2005. Dispõe sobre o comércio, transporte e uso de agrotóxicos. *Diário Oficial do Estado de Pernambuco*, Recife, 22 jan. 2005.
- PERNAMBUCO. *Plano Hidroambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe*. Recife: Secretaria de Recursos Hídricos, 2010.
- Prabhu, R.; Colfer, C. J. P.; Dudley, R. G. *Guidelines for developing, testing and selecting criteria and indicators for sustainable forest management*. Bogor: CIFOR, 1999.
- Sales, B. E. S. S. *Protocolo de avaliação rápida: ferramenta para análise da qualidade dos recursos hídricos*. Ouro Preto: UFOP, 2022.
- SECOM – Secretaria de Comunicação Social. Governo Federal lança estratégia para ampliar o monitoramento da contaminação por agrotóxicos. *Governo Federal*, Brasília, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2025/02/governo-federal-lanca-estrategia-para-ampliar-o-monitoramento-da-contaminacao-por-agrotoxicos>. Acesso em: 21 maio 2025.
- SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE DE PERNAMBUCO (SEMAS). *Zoneamento das áreas suscetíveis à desertificação do Estado de Pernambuco*. Recife, DEZ. 2020.
- UNCED – United Nations Conference on Environment and Development. *Agenda 21*. Rio de Janeiro: ONU, 1992. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>. Acesso em: 15 jun.

2025.

UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. *Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos: água para um mundo sustentável*. Paris: UNESCO, 2015.

Vryzas, Z.; Ramwell, C.; Sans, C. Pesticide prioritization approaches and limitations in environmental monitoring studies: from Europe to Latin America and the Caribbean. *Environment International*, v. 143, p. 105917, 2020.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Protecting surface water for health: identifying, assessing and managing drinking-water quality risks in surface-water catchments*. Geneva: WHO, 2016.

APÊNDICE A - CÁLCULO PARA OBTENÇÃO DE ESCALA DE RISCO AMBIENTAL (ERA) MÉDIO PARA OS MUNICÍPIOS DA BACIA DO RIO CAPIBARIBE - PE.

Município	Cultura	Área Plantada (ha)	Área Total (ha)	Peso da Cultura no Município	ERA Médio da Cultura	ERA Ponderado	ERA Médio por Município
Belo Jardim	Feijão em Grãos	550	1024	0,537109375	3,028	1,626367188	3,054
Belo Jardim	Mandioca	150	1024	0,146484375	3,151	0,4615722656	
Belo Jardim	Maracujá	24	1024	0,0234375	3	0,0703125	
Belo Jardim	Milho	300	1024	0,29296875	3,059	0,8961914063	
Bezerros	Batata doce	80	2540	0,03149606299	3,2	0,1007874016	3,100492126
Bezerros	Fava	300	2540	0,1181102362	3,45	0,407480315	
Bezerros	Feijão em Grãos	630	2540	0,2480314961	3,028	0,7510393701	
Bezerros	Goiaba	30	2540	0,01181102362	3,086	0,0364488189	
Bezerros	Mandioca	150	2540	0,05905511811	3,151	0,1860826772	
Bezerros	Maracujá	30	2540	0,01181102362	3	0,03543307087	
Bezerros	Milho	770	2540	0,3031496063	3,059	0,9273346457	
Bezerros	Tomate	550	2540	0,2165354331	3,029	0,6558858268	
Bom Jardim	Banana	700	700	1	3,046	3,046	1,95
Brejo da Madre de Deus	Abacate	2	419	0,00477326969	3,157	0,01506921241	3,032668258

Brejo da Madre de Deus	Banana	50	419	0,1193317422	3,046	0,3634844869
Brejo da Madre de Deus	Batata doce	60	419	0,1431980907	3,2	0,4582338902
Brejo da Madre de Deus	Café em Grão	10	419	0,02386634845	3,041	0,07257756563
Brejo da Madre de Deus	Café em Grão arábica	10	419	0,02386634845	3,041	0,07257756563
Brejo da Madre de Deus	Cana-de-açúcar	2	419	0,00477326969	2,963	0,01414319809
Brejo da Madre de Deus	Cebola	6	419	0,01431980907	3,082	0,04413365155
Brejo da Madre de Deus	Fava	2	419	0,00477326969	3,45	0,01646778043
Brejo da Madre de Deus	Feijão em Grãos	22	419	0,05250596659	3,028	0,1589880668
Brejo da Madre de Deus	Limão	4	419	0,009546539379	1	0,009546539379
Brejo da Madre de Deus	Mamão	8	419	0,01909307876	3,048	0,05819570406
Brejo da Madre de Deus	Mandioca	25	419	0,05966587112	3,151	0,1880071599
Brejo da Madre de Deus	Manga	3	419	0,007159904535	3,043	0,0217875895
Brejo da Madre de Deus	Maracujá	3	419	0,007159904535	3	0,0214797136

Brejo da Madre de Deus	Milho	200	419	0,477326969	3,059	1,460143198	
Brejo da Madre de Deus	Tangerina	4	419	0,009546539379		0	
Brejo da Madre de Deus	Tomate	8	419	0,01909307876	3,029	0,05783293556	
Camaragibe	Banana	300	423	0,7092198582	3,046	2,160283688	3,073522459
Camaragibe	Batata doce	15	423	0,03546099291	3,2	0,1134751773	
Camaragibe	Coco	8	423	0,01891252955	2,9	0,0548463357	
Camaragibe	Mandioca	100	423	0,2364066194	3,151	0,7449172577	
Carpina	Abacate	5	1879	0,002660989888	3,157	0,008400745077	2,970234699
Carpina	Banana	16	1879	0,008515167642	3,046	0,02593720064	
Carpina	Batata doce	8	1879	0,004257583821	3,2	0,01362426823	
Carpina	Cana-de-açúcar	1800	1879	0,9579563598	2,963	2,838424694	
Carpina	Mandioca	50	1879	0,02660989888	3,151	0,08384779138	
Caruaru	Abacate	4	2427	0,001648125258	3,157	0,005203131438	3,051831891
Caruaru	Banana	40	2427	0,01648125258	3,046	0,05020189534	
Caruaru	Batata doce	23	2427	0,009476720231	3,2	0,03032550474	
Caruaru	Cana-de-açúcar	5	2427	0,002060156572	2,963	0,006104243923	
Caruaru	Castanha de Caju	4	2427	0,001648125258	2	0,003296250515	
Caruaru	Feijão em Grãos	832	2427	0,3428100536	3,028	1,038028842	
Caruaru	Mamão	4	2427	0,001648125258	3,048	0,005023485785	

Caruaru	Mandioca	110	2427	0,04532344458	3,151	0,1428141739	
Caruaru	Manga	5	2427	0,002060156572	3,043	0,006269056448	
Caruaru	Milho	1400	2427	0,5768438401	3,059	1,764565307	
Casinhas	Fava	115	2465	0,04665314402	3,45	0,1609533469	
Casinhas	Feijão em Grãos	1140	2465	0,462474645	3,028	1,400373225	3,067010142
Casinhas	Mandioca	110	2465	0,04462474645	3,151	0,1406125761	
Casinhas	Milho	1100	2465	0,4462474645	3,059	1,365070994	
Chã de Alegria	Batata doce	15	2725	0,005504587156	3,2	0,0176146789	
Chã de Alegria	Cana-de-açúcar	2700	2725	0,9908256881	2,963	2,935816514	2,964994495
Chã de Alegria	Mandioca	10	2725	0,003669724771	3,151	0,01156330275	
Chã Grande	Banana	30	390	0,07692307692	3,046	0,2343076923	
Chã Grande	Fava	50	390	0,1282051282	3,45	0,4423076923	
Chã Grande	Feijão em Grãos	20	390	0,05128205128	3,028	0,1552820513	
Chã Grande	Goiaba	150	390	0,3846153846	3,086	1,186923077	3,119769231
Chã Grande	Mandioca	40	390	0,1025641026	3,151	0,3231794872	
Chã Grande	Manga	50	390	0,1282051282	3,043	0,3901282051	
Chã Grande	Maracujá	30	390	0,07692307692	3	0,2307692308	
Chã Grande	Milho	20	390	0,05128205128	3,059	0,1568717949	
Cumaru	Fava	210	2556	0,08215962441	3,45	0,2834507042	
Cumaru	Feijão em Grãos	840	2556	0,3286384977	3,028	0,9951173709	3,081152582

Cumaru	Mandioca	6	2556	0,00234741784	3,151	0,007396713615		
Cumaru	Milho	1500	2556	0,5868544601	3,059	1,795187793		
Feira Nova	Batata doce	30	377	0,07957559682	3,2	0,2546419098	2,896201592	
Feira Nova	Cana-de-açucar	200	377	0,5305039788	2,963	1,571883289		
Feira Nova	Fava	15	377	0,03978779841	3,45	0,1372679045		
Feira Nova	Feijão em Grãos	5	377	0,01326259947	3,028	0,04015915119		
Feira Nova	Laranja	8	377	0,02122015915		0		
Feira Nova	Limão	17	377	0,0450928382	1	0,0450928382		
Feira Nova	Mandioca	80	377	0,2122015915	3,151	0,6686472149		
Feira Nova	Milho	22	377	0,05835543767	3,059	0,1785092838		
Frei Miguelinho	Algodão	9	1190	0,00756302521	3,042	0,02300672269		3,055401681
Frei Miguelinho	Batata doce	3	1190	0,002521008403	3,2	0,008067226891		
Frei Miguelinho	Fava	28	1190	0,02352941176	3,45	0,08117647059		
Frei Miguelinho	Feijão em Grãos	500	1190	0,4201680672	3,028	1,272268908		
Frei Miguelinho	Milho	650	1190	0,5462184874	3,059	1,670882353		
Glória do Goitá	Banana	75	2352	0,0318877551	3,046	0,09713010204	2,941673469	
Glória do Goitá	Batata doce	75	2352	0,0318877551	3,2	0,1020408163		
Glória do Goitá	Cana-de-açucar	1800	2352	0,7653061224	2,963	2,267602041		
Glória do Goitá	Coco	40	2352	0,01700680272	2,9	0,04931972789		
Glória do Goitá	Fava	25	2352	0,0106292517	3,45	0,03667091837		
Glória do Goitá	Goiaba	9	2352	0,003826530612	3,086	0,01180867347		

Glória do Goitá	Limão	60	2352	0,02551020408	1	0,02551020408	
Glória do Goitá	Mamão	4	2352	0,001700680272	3,048	0,005183673469	
Glória do Goitá	Mandioca	250	2352	0,106292517	3,151	0,3349277211	
Glória do Goitá	Maracujá	9	2352	0,003826530612	3	0,01147959184	
Glória do Goitá	Urucum	5	2352	0,00212585034		0	
Gravatá	Banana	195	565	0,3451327434	3,046	1,051274336	
Gravatá	Feijão em Grãos	45	565	0,0796460177	3,028	0,2411681416	3,081955752
Gravatá	Goiaba	200	565	0,3539823009	3,086	1,092389381	
Gravatá	Mandioca	125	565	0,2212389381	3,151	0,6971238938	
Jataúba	Feijão em Grãos	100	250	0,4	3,028	1,2112	
Jataúba	Milho	150	250	0,6	3,059	1,8354	
João Alfredo	Banana	3	1421	0,002111189303	3,046	3,1	
João Alfredo	Batata doce	6	1421	0,004222378607	3,2	0,01351161154	
João Alfredo	Cana-de-açúcar	2	1421	0,001407459536	2,963	0,004170302604	3,054
João Alfredo	Fava	330	1421	0,2322308234	3,45	0,8011963406	
João Alfredo	Feijão em Grãos	205	1421	0,1442646024	3,028	0,436833216	
João Alfredo	Limão	5	1421	0,003518648839	1	0,003518648839	
João Alfredo	Mandioca	70	1421	0,04926108374	3,151	0,1552216749	
João Alfredo	Milho	800	1421	0,5629838142	3,059	1,722167488	
Lagoa de Itaenga	Banana	11	2800	0,003928571429	3,046	0,01196642857	2,931168571

Lagoa de Itaenga	Batata doce	32	2800	0,01142857143	3,2	0,03657142857	
Lagoa de Itaenga	Cana-de-açucar	2650	2800	0,9464285714	2,963	2,804267857	
Lagoa de Itaenga	Cebola	1	2800	0,0003571428571	3,082	0,001100714286	
Lagoa de Itaenga	Limão	40	2800	0,01428571429	1	0,01428571429	
Lagoa de Itaenga	Mandioca	55	2800	0,01964285714	3,151	0,06189464286	
Lagoa de Itaenga	Tomate	1	2800	0,0003571428571	3,029	0,001081785714	
Lagoa de Itaenga	Urucum	10	2800	0,003571428571		0	
Lagoa do Carro	Batata doce	15	782	0,01918158568	3,2	0,06138107417	
Lagoa do Carro	Cana-de-açucar	700	782	0,895140665	2,963	2,65230179	
Lagoa do Carro	Feijão em Grãos	4	782	0,005115089514	3,028	0,01548849105	
Lagoa do Carro	Limão	23	782	0,02941176471	1	0,02941176471	2,917138107
Lagoa do Carro	Mandioca	25	782	0,03196930946	3,151	0,1007352941	
Lagoa do Carro	Manga	5	782	0,006393861893	3,043	0,01945652174	
Lagoa do Carro	Maracujá	10	782	0,01278772379	3	0,03836317136	
Limoeiro	Banana	900	3268	0,2753977968	3,046	0,8388616891	
Limoeiro	Batata doce	7	3268	0,002141982864	3,2	0,006854345165	
Limoeiro	Cana-de-açucar	678	3268	0,2074663403	2,963	0,6147227662	
Limoeiro	Coco	5	3268	0,00152998776	2,9	0,004436964504	
Limoeiro	Fava	218	3268	0,06670746634	3,45	0,2301407589	
Limoeiro	Feijão em Grãos	430	3268	0,1315789474	3,028	0,3984210526	3,041479192
Limoeiro	Limão	30	3268	0,009179926561	1	0,009179926561	

Limoeiro	Mandioca	100	3268	0,0305997552	3,151	0,09641982864	
Limoeiro	Milho	900	3268	0,2753977968	3,059	0,8424418605	
Moreno	Banana	150	6335	0,02367797948	3,046	0,07212312549	2,964325178
Moreno	Cana-de-açucar	6000	6335	0,9471191792	2,963	2,806314128	
Moreno	Coco	60	6335	0,009471191792	2,9	0,0274664562	
Moreno	Limão	10	6335	0,001578531965	1	0,001578531965	
Moreno	Mandioca	100	6335	0,01578531965	3,151	0,04973954223	
Moreno	Maracujá	15	6335	0,002367797948	3	0,007103393844	
Passira	Coco	3	2038	0,001472031403	2,9	0,00426889107	
Passira	Fava	450	2038	0,2208047105	3,45	0,7617762512	
Passira	Feijão em Grãos	480	2038	0,2355250245	3,028	0,7131697743	
Passira	Mandioca	3	2038	0,001472031403	3,151	0,004638370952	
Passira	Maracujá	2	2038	0,0009813542689	3	0,002944062807	
Passira	Milho	1100	2038	0,5397448479	3,059	1,65107949	
Paudalho	Banana	10	6215	0,001609010459	3,046	0,004901045857	2,958096862
Paudalho	Batata doce	6	6215	0,0009654062751	3,2	0,00308930008	
Paudalho	Cana-de-açucar	6100	6215	0,9814963797	2,963	2,908173773	
Paudalho	Coco	10	6215	0,001609010459	2,9	0,00466613033	
Paudalho	Fava	5	6215	0,0008045052293	3,45	0,002775543041	
Paudalho	Laranja	3	6215	0,0004827031376		0	
Paudalho	Limão	4	6215	0,0006436041834	1	0,000643604183 4	

Paudalho	Mandioca	62	6215	0,009975864843	3,151	0,03143395012	
Paudalho	Maracujá	5	6215	0,0008045052293	3	0,002413515688	
Paudalho	Urucum	10	6215	0,001609010459		0	
Pesqueira	Feijão em Grãos	2200	3210	0,6853582555	3,028	2,075264798	
Pesqueira	Mandioca	110	3210	0,03426791277	3,151	0,1079781931	
Pesqueira	Milho	900	3210	0,2803738318	3,059	0,8576635514	
Poção	Feijão em Grãos	600	825	0,7272727273	3,028	2,202181818	3,039242424
Poção	Mandioca	25	825	0,0303030303	3,151	0,09548484848	
Poção	Milho	200	825	0,2424242424	3,059	0,7415757576	
Pombos	Banana	65	1394	0,04662840746	3,046	0,1420301291	2,806291248
Pombos	Batata doce	50	1394	0,03586800574	3,2	0,1147776184	
Pombos	Cana-de-açucar	800	1394	0,5738880918	2,963	1,700430416	
Pombos	Feijão em Grãos	15	1394	0,01076040172	3,028	0,03258249641	
Pombos	Goiaba	10	1394	0,007173601148	3,086	0,02213773314	
Pombos	Limão	150	1394	0,1076040172	1	0,1076040172	
Pombos	Mandioca	300	1394	0,2152080344	3,151	0,6781205165	
Pombos	Maracujá	4	1394	0,002869440459	3	0,008608321377	
Recife		-				0	
Riacho das Almas	Banana	3	2482	0,001208702659	3,046	0,0036817083	3,058597099
Riacho das Almas	Batata doce	15	2482	0,006043513296	3,2	0,01933924255	

Riacho das Almas	Castanha de Caju	5	2482	0,002014504432	2	0,004029008864	
Riacho das Almas	Fava	4	2482	0,001611603546	3,45	0,005560032232	
Riacho das Almas	Feijão em Grãos	335	2482	0,1349717969	3,028	0,4086946011	
Riacho das Almas	Mandioca	120	2482	0,04834810637	3,151	0,1523448832	
Riacho das Almas	Milho	2000	2482	0,8058017728	3,059	2,464947623	
Salgadinho	Fava	200	1402	0,1426533524	3,45	0,4921540656	3,103721826
Salgadinho	Feijão em Grãos	500	1402	0,3566333809	3,028	1,079885877	
Salgadinho	Milho	702	1402	0,5007132668	3,059	1,531681883	
Sanharó	Feijão em Grãos	1100	2050	0,5365853659	3,028	1,624780488	3,069292683
Sanharó	Mandioca	600	2050	0,2926829268	3,151	0,9222439024	
Sanharó	Milho	350	2050	0,1707317073	3,059	0,5222682927	
Santa Cruz do Capibaribe	Feijão em Grãos	30	331	0,09063444109	3,028	0,2744410876	3,056012085
Santa Cruz do Capibaribe	Maracujá	1	331	0,003021148036	3	0,009063444109	
Santa Cruz do Capibaribe	Milho	300	331	0,9063444109	3,059	2,772507553	
Santa Maria do Cambucá	Feijão em Grãos	750	1855	0,4043126685	3,028	1,22425876	
Santa Maria do Cambucá	Mandioca	5	1855	0,00269541779	3,151	0,008493261456	

Santa Maria do Cambucá	Milho	1100	1855	0,5929919137	3,059	1,813962264	
São Caitano	Banana	10	940	0,01063829787	3,046	0,03240425532	3,061
São Caitano	Batata doce	50	940	0,05319148936	3,2	0,170212766	
São Caitano	Feijão em Grãos	400	940	0,4255319149	3,028	1,288510638	
São Caitano	Mandioca	80	940	0,08510638298	3,151	0,2681702128	
São Caitano	Milho	400	940	0,4255319149	3,059	1,301702128	
São Lourenço da Mata	Banana	20	6363	0,00314317146	3,046	0,009574100267	
São Lourenço da Mata	Batata doce	6	6363	0,000942951438	3,2	0,003017444602	
São Lourenço da Mata	Cana-de-açucar	6215	6363	0,9767405312	2,963	2,894082194	
São Lourenço da Mata	Limão	10	6363	0,00157158573	1	0,00157158573	
São Lourenço da Mata	Mandioca	100	6363	0,0157158573	3,151	0,04952066635	
São Lourenço da Mata	Maracujá	12	6363	0,001885902876	3	0,005657708628	
Surubim	Batata doce	2	4202	0,0004759638267	3,2	0,001523084246	3,113874346
Surubim	Fava	700	4202	0,1665873394	3,45	0,5747263208	
Surubim	Feijão em Grãos	1400	4202	0,3331746787	3,028	1,008852927	
Surubim	Milho	2100	4202	0,4997620181	3,059	1,528772013	

Tacaimbó	Feijão em Grãos	160	401	0,3990024938	3,028	1,208179551	3,058004988
Tacaimbó	Mandioca	60	401	0,1496259352	3,151	0,4714713217	
Tacaimbó	Maracujá	1	401	0,002493765586	3	0,007481296758	
Tacaimbó	Milho	150	401	0,3740648379	3,059	1,144264339	
Tacaimbó	Tomate	30	401	0,07481296758	3,029	0,2266084788	
Taquaritinga do Norte	Abacate	2	3449	0,0005798782256	3,157	0,001830675558	2,971017686
Taquaritinga do Norte	Banana	200	3449	0,05798782256	3,046	0,1766309075	
Taquaritinga do Norte	Café em Grão	700	3449	0,202957379	3,041	0,6171933894	
Taquaritinga do Norte	Café em Grão arábica	700	3449	0,202957379	3,041	0,6171933894	
Taquaritinga do Norte	Castanha de Caju	180	3449	0,0521890403	2	0,1043780806	
Taquaritinga do Norte	Feijão em Grãos	400	3449	0,1159756451	3,028	0,3511742534	
Taquaritinga do Norte	Laranja	25	3449	0,00724847782		0	
Taquaritinga do Norte	Mandioca	40	3449	0,01159756451	3,151	0,03654392578	
Taquaritinga do Norte	Manga	2	3449	0,0005798782256	3,043	0,00176456944	

Taquaritinga do Norte	Milho	1200	3449	0,3479269353	3,059	1,064308495		
Toritama		-				0		
Tracunhaém	Banana	10	4195	0,002383790226	3,046	0,00726102503	2,966021454	
Tracunhaém	Batata doce	15	4195	0,00357568534	3,2	0,01144219309		
Tracunhaém	Cana-de-açucar	4000	4195	0,9535160906	2,963	2,825268176		
Tracunhaém	Limão	10	4195	0,002383790226	1	0,002383790226		
Tracunhaém	Mandioca	140	4195	0,03337306317	3,151	0,1051585221		
Tracunhaém	Manga	20	4195	0,004767580453	3,043	0,01450774732		
Vertente do Lério	Fava	120	970	0,1237113402	3,45	0,4268041237		3,096185567
Vertente do Lério	Feijão em Grãos	350	970	0,3608247423	3,028	1,09257732		
Vertente do Lério	Milho	500	970	0,5154639175	3,059	1,576804124		
Vertentes	Café em Grão	60	1622	0,03699136868	3,041	0,1124907522	3,046683107	
Vertentes	Café em Grão arábica	60	1622	0,03699136868	3,041	0,1124907522		
Vertentes	Fava	2	1622	0,001233045623	3,45	0,004254007398		
Vertentes	Feijão em Grãos	600	1622	0,3699136868	3,028	1,120098644		
Vertentes	Milho	900	1622	0,5548705302	3,059	1,697348952		
Vitória de Santo Antão	Banana	185	7230	0,02558782849	3,046	0,07794052559		2,931102351
Vitória de Santo Antão	Cana-de-açucar	6500	7230	0,8990318119	2,963	2,663831259		

Vitória de Santo Antão	Coco	50	7230	0,006915629322	2,9	0,02005532503
Vitória de Santo Antão	Feijão em Grãos	50	7230	0,006915629322	3,028	0,02094052559
Vitória de Santo Antão	Goiaba	15	7230	0,002074688797	3,086	0,006402489627
Vitória de Santo Antão	Limão	150	7230	0,02074688797	1	0,02074688797
Vitória de Santo Antão	Mandioca	220	7230	0,03042876902	3,151	0,09588105118
Vitória de Santo Antão	Maracujá	10	7230	0,001383125864	3	0,004149377593
Vitória de Santo Antão	Milho	50	7230	0,006915629322	3,059	0,0211549101

MANUAL OPERACIONAL DO IAPA-CAPIBARIBE



Foto: Luís Comerti

Vívian Lima
Autora

Índice Agroambiental de Pressão por
Agrotóxicos na Bacia do Rio Capibaribe

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Manual operacional do IAPA-Capibaribe [livro eletrônico] / Vívian Aparecida Barreto de Lima... [et al.]. -- 1. ed. -- Recife, PE : Ed. do Autor, 2025.

PDF

Outros autores: Rogéria Mendes do Nascimento, Marília Regina Costa Castro Lyra, Sofia Suely Ferreira Brandão Rodrigues, Maria Tereza Duarte Dutra, José Luís Cometti Said

Bibliografia

ISBN 978-65-01-75782-7

1. Agrotóxicos 2. Indicadores ambientais 3. Meio ambiente - Conservação e Proteção 4. Recursos hídricos I. Lima, Vívian Aparecida Barreto de. II. Nascimento, Rogéria Mendes do. III. Lyra, Marília Regina Costa Castro. IV. Rodrigues, Sofia Suely Ferreira Brandão. V. Dutra, Maria Tereza Duarte. VI. Said, José Luís Cometti.

25-310523.0

CDD-632.95042

Índices para catálogo sistemático:

1. Agrotóxicos : Avaliação de risco : Agricultura
632.95042

Maria Alice Ferreira - Bibliotecária - CRB-8/7964



Instituto Federal de Pernambuco

Campus Recife

Mestrado Profissional em Gestão Ambiental

Elaboração:

Vívian Aparecida Barreto de Lima

Profa. Dra. Rogéria Mendes do Nascimento

Profa. Dra. Marília Regina Costa Castro Lyra

Profa. Dra. Sofia Suely Ferreira Brandão
Rodrigues

Produto resultante da dissertação de mestrado:

ÍNDICE AGROAMBIENTAL DE PRESSÃO POR AGROTÓXICOS - IAPA APLICADO NA BACIA DO CAPIBARIBE, PERNAMBUCO, BRASIL

Recife, 2025

ÍNDICE

- 05** Apresentação
- 06** Introdução
- 07** Principais conceitos sobre os agrotóxicos
- 09** Índices e indicadores agroambientais
- 10** Metodologia
- 16** Resultados
- 20** Aplicabilidade
- 21** Considerações finais



Vívian Lima

Autora

Apresentação

Este produto técnico apresenta a metodologia, os resultados e as potenciais aplicações do **Índice Agroambiental de Pressão por Agrotóxicos na Bacia do Rio Capibaribe (IAPA-Capibaribe)**, desenvolvido no âmbito do **Mestrado Profissional em Gestão Ambiental** do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), sob a orientação da Profa. Dra. Rogéria Mendes do Nascimento e coorientação das professoras Dra. Marília Regina Costa Castro Lyra e Dra. Sofia Suely Ferreira Brandão Rodrigues.

O **objetivo central** deste produto é subsidiar ações voltadas à gestão ambiental do uso de agrotóxicos na bacia hidrográfica do Capibaribe, identificando as áreas mais suscetíveis à contaminação dos corpos hídricos a partir da espacialização de indicadores em mapas temáticos. Dessa forma, o índice proposto se apresenta como uma **ferramenta estratégica** para os órgãos de controle do estado de Pernambuco, contribuindo para o direcionamento de políticas públicas e na definição de ações preventivas.

Introdução

A disponibilidade de água doce limpa e em quantidade suficiente é essencial para a sobrevivência de todos os seres vivos, além de ser um elemento fundamental para o equilíbrio dos ecossistemas e o desenvolvimento sustentável das comunidades. No entanto, a crescente pressão sobre os recursos hídricos, impulsionada por atividades humanas como agricultura, industrialização, descarte inadequado de resíduos e mudanças climáticas, compromete significativamente a qualidade da água. Os agrotóxicos destacam-se entre os **principais poluentes das águas superficiais e subterrâneas**, devido à sua ampla utilização, persistência ambiental e aos riscos tóxicos que representam para organismos aquáticos e para a saúde humana.

No Brasil, o uso de agrotóxicos segue em ascensão, com destaque para o estado de Pernambuco, onde o volume comercializado aumentou 46% entre 2005 e 2017, apesar da redução da área plantada. A bacia hidrográfica do rio Capibaribe, responsável pelo abastecimento público de grande parte da população do Agreste e da Região Metropolitana, é especialmente vulnerável, dado o predomínio de mananciais superficiais e a presença de grandes reservatórios como Jucazinho, Carpina e Tapacurá. Diversos estudos realizados na bacia evidenciam a **ocorrência de resíduos de agrotóxicos** em águas e sedimentos, alertando para os riscos associados à qualidade da água destinada ao consumo humano, tais como Nascimento (2013), Moura (2016), Araújo (2018), Oliveira (2019) e Marques (2025) . Apesar disso, ainda não há, no estado de Pernambuco, um monitoramento sistemático da presença desses compostos nos corpos hídricos.

Diante desse cenário, este **produto técnico** apresenta a construção e aplicação do Índice Agroambiental de Pressão por Agrotóxicos na Bacia do Rio Capibaribe (IAPA-Capibaribe), uma ferramenta que integra **informações ambientais, agrícolas e hidrográficas** com o objetivo de identificar áreas mais suscetíveis à contaminação hídrica. Este índice inédito em Pernambuco tem como finalidade subsidiar ações de gestão ambiental, especialmente nas áreas de licenciamento, monitoramento e fiscalização, além de apoiar a formulação de políticas públicas voltadas à proteção dos recursos hídricos e à prevenção da contaminação por agrotóxicos.

Principais conceitos sobre os agrotóxicos

Os agrotóxicos são produtos e agentes de processos físicos, químicos ou biológicos destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e no beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens ou na proteção de florestas plantadas, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos (BRASIL, 2023).

Os defensivos agrícolas apresentam alta toxicidade, que varia de acordo com seu nível de periculosidade, e representam riscos tanto para o meio ambiente quanto para a saúde humana, podendo contaminar as águas superficiais (CASTILHO, 2021).

Os agrotóxicos podem ser classificados em por diversos critérios, tais como os organismos alvos preferenciais, sua composição química, quanto a sua toxicidade e seu impacto no meio ambiente. Para os fins deste produto técnico, destaca-se a importância de aprofundar a compreensão sobre a **classificação ambiental** desses compostos.

De acordo com o art. 7º do Decreto nº 4.074/02 é responsabilidade do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) avaliar e classificar o potencial de periculosidade ambiental de todos os agrotóxicos, seus componentes e afins, a serem registrados, e proceder com a avaliação ambiental preliminar dos agrotóxicos, produtos técnicos, pré-misturas e afins, destinados à pesquisa e à experimentação (Brasil, 2002).



A avaliação realizada pelo Ibama fundamenta-se nas propriedades físico-químicas do ingrediente ativo, considerando seu comportamento no ambiente, como o potencial de transporte no solo (mobilidade, adsorção e solubilidade), sua persistência (biodegradação, hidrólise e fotólise), bem como o risco de bioacumulação na cadeia trófica e os níveis de toxicidade para organismos de diferentes níveis tróficos. Para análise dos efeitos de longo prazo sobre populações de mamíferos, são considerados estudos toxicológicos que avaliam o potencial mutagênico, carcinogênico e embriofetotóxico das substâncias (Ibama, 2009). Tais estudos são apresentados pelos empreendimentos durante o ato de requerimento do registro de agrotóxicos, seus componentes e afins junto aos órgãos competentes.

Após a análise dos estudos e testes apresentados ocorre uma sequência de procedimentos que levam para uma nota final para determinado ativo, obedecendo a seguinte graduação:

Classe I – produto altamente perigoso ao meio ambiente;

Classe II – produto muito perigoso ao meio ambiente;

Classe III – produto perigoso ao meio ambiente;

Classe IV – produto pouco perigoso ao meio ambiente;

Ou ainda Produto Impedido de Obtenção de Registro – Pior. Nesse caso, o requerimento de registro é indeferido, sendo o produto proibido de uso no País por não atender às condições e exigências do órgão ambiental.

Dessa forma, todos os agrotóxicos registrados no País dispõem de ao menos uma dessas quatro classificações, que é informada na coluna central do rótulo e na bula dos agrotóxicos, juntamente com a classificação toxicológica.

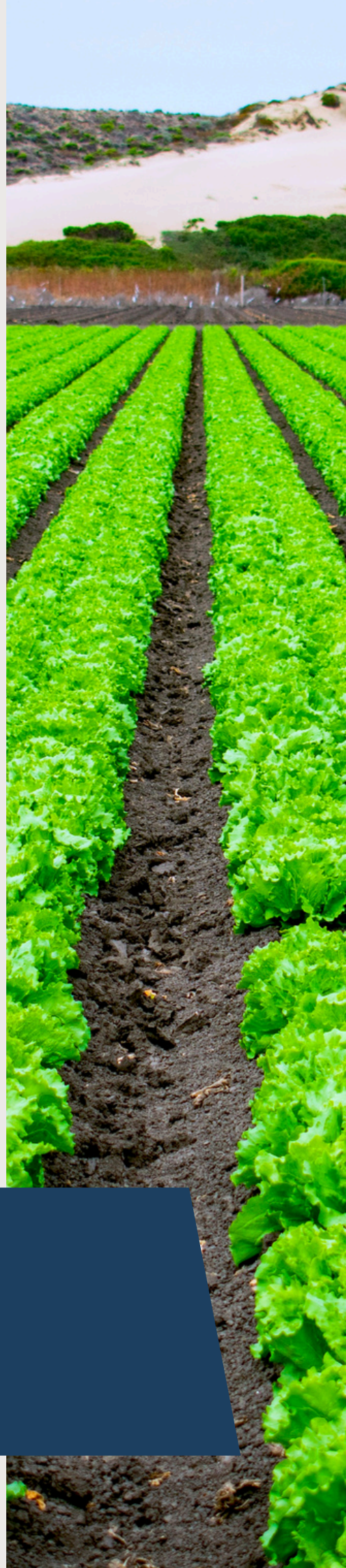
Outra competência do IBAMA é a publicação do Boletim Anual, elaborado com base nos Relatórios de Produção, Importação, Comercialização e Exportação que são declarados pelas empresas detentoras de registro de produtos agrotóxicos. Entre outras informações, o boletim contempla o **Perfil de Venda de Agrotóxicos** por Unidade da Federação, utilizado na concepção deste índice agroambiental.

Índices e indicadores agroambientais

A utilização de indicadores e índices ambientais tem se consolidado como uma importante ferramenta de análise e gestão dos impactos das atividades humanas sobre os ecossistemas. Um **indicador ambiental** pode ser compreendido como um parâmetro ou medida que permite representar, com simplicidade, aspectos complexos da realidade ambiental (Mitchell, 1996). Já o **índice ambiental**, de acordo com Shields et al. (2002), expressa a situação de um fenômeno ou sistema a partir da combinação de diferentes variáveis relacionadas. Para Bastos Filho et al. (2024), a principal distinção reside no fato de que o índice representa um valor final, obtido a partir do processamento conjunto de diversos indicadores.

No que tange ao uso de agrotóxicos, o IBGE utiliza indicadores que relacionam a **quantidade comercializada** com a **área plantada das culturas**. No entanto, essa abordagem apresenta limitações, como a ausência de desagregação espacial em escala municipal e a não consideração da toxicidade dos ingredientes ativos e de fatores ambientais, como pluviosidade.

Nesse sentido, iniciativas metodológicas mais integradas têm buscado ampliar a capacidade de diagnóstico territorial, como exemplificado no estudo de Casagrande (2018), que propôs o desenvolvimento de um índice agroambiental no estado do Paraná. A formulação do **Índice Agroambiental de Pressão por Agrotóxicos na Bacia do Rio Capibaribe** (IAPA-Capibaribe) foi inspirada e adaptada a partir dessa metodologia.



Metodologia

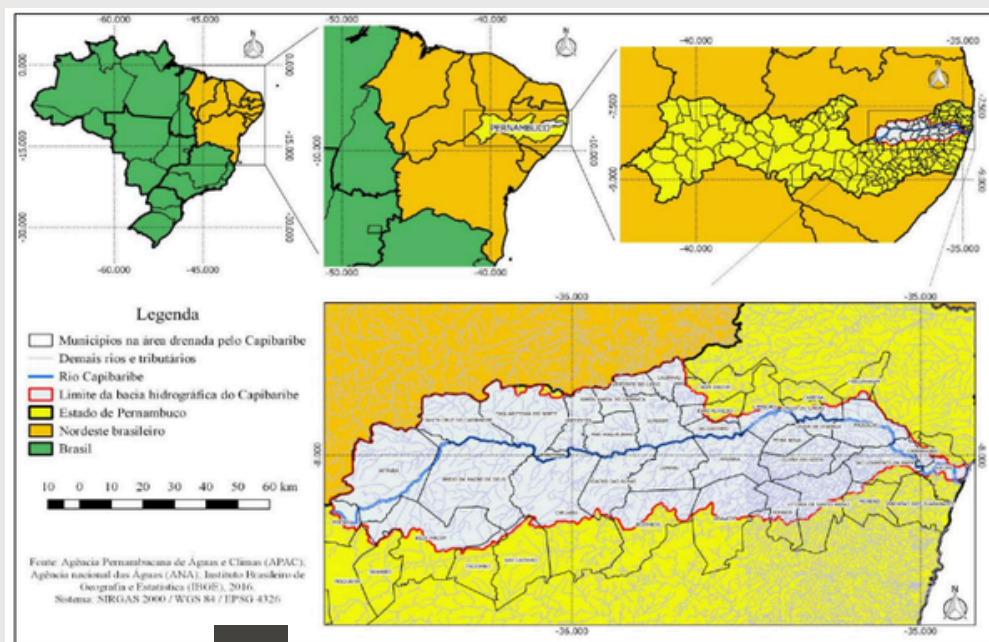
ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Capibaribe abrange uma área de 7.454,88 km², está localizada na porção nordeste do Estado de Pernambuco e faz parte das 29 Unidades de Planejamento Hídrico (UPH) do estado.

O rio Capibaribe nasce na divisa dos municípios de Jataúba e Poção, percorrendo por vários centros urbanos e servindo de corpo receptor de resíduos industriais e domésticos. Apresenta direção inicial sudeste-nordeste, até as proximidades de Santa Cruz do Capibaribe, quando seu curso toma a direção oeste-leste, percorrendo uma extensão total de cerca de 270 km até sua foz, na cidade do Recife.

A **Figura 1** apresenta a localização da bacia hidrográfica do rio Capibaribe, destacando sua inserção no território do estado de Pernambuco e da região Nordeste do Brasil.

Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do rio Capibaribe, estado de Pernambuco / Nordeste / Brasil



Metodologia

DESENVOLVIMENTO DO ÍNDICE AGROAMBIENTAL DE PRESSÃO POR AGROTÓXICOS NA BACIA DO RIO CAPIBARIBE (IAPA-CAPIBARIBE)

Para a construção dos **indicadores** que compõem o Índice Agroambiental de Pressão por Agrotóxicos na Bacia do Rio Capibaribe, foram utilizados dados consolidados referentes ao ano de **2023**. As principais fontes foram o **Perfil de Venda de Agrotóxicos**, publicado pelo Ibama, que apresenta o volume de ingredientes ativos (IA) comercializados por unidade da federação, e a pesquisa **Produção Agrícola Municipal (PAM)**, do IBGE, que reúne informações detalhadas sobre as lavouras permanentes e temporárias nos municípios da bacia. A junção dessas bases permitiu estimar a pressão exercida pelo uso de agrotóxicos sobre o território de forma integrada.

A modelagem do índice considerou aspectos como a estimativa de agrotóxicos proporcionalmente atribuída a cada município, a predominância das culturas agrícolas locais e a sua respectiva área plantada. Com isso, foi possível estabelecer indicadores que refletem a **potencial pressão agroambiental** sobre os recursos hídricos da bacia, contribuindo para o entendimento dos riscos associados ao uso intensivo de agrotóxicos e subsidiando estratégias de monitoramento e gestão ambiental.





Metodologia

INDICADOR I₁

Este indicador busca estimar a **carga potencial de agrotóxicos aplicada em cada município** da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe, utilizando como base o **valor total de vendas de agrotóxicos** (em toneladas de ingrediente ativo - IA) no estado de Pernambuco em 2023, conforme o Perfil de Venda de Agrotóxicos do Ibama. Como não há dados de comercialização por município, o cálculo da estimativa local foi realizado a partir da **proporção da área plantada com lavouras permanentes e temporárias**, conforme dados da Produção Agrícola Municipal (PAM/IBGE).

Posteriormente, essa estimativa foi ponderada de acordo com o **percentual da área municipal inserida dentro da bacia**, para refletir apenas a carga com potencial de impacto direto sobre seus recursos hídricos.

Os valores foram classificados em **quatro faixas de impacto**, determinadas por meio de Quebras Naturais de Jenks. A visualização cartográfica foi realizada com gradação de cores — verde para menor impacto e vermelho para maior impacto ambiental — facilitando a identificação das áreas de maior pressão agroambiental na bacia.

Tabela 1: Atribuição de valor para o Indicador I₁

Estimativa de Agrotóxico (T/ano)	Classe de impacto	Impacto
0-186,38	1	Baixa pressão
186,38 - 669,79	2	Pressão moderada
669,79 - 1337,68	3	Pressão média
Acima de 1337,68	4	Pressão alta

Fonte: A autora (2025)

Metodologia

INDICADOR I₂

O Indicador mede o risco ambiental potencial associado aos agrotóxicos utilizados nas **principais culturas agrícolas** da Bacia do Rio Capibaribe. Ele foi construído com base na classificação de **Potencial de Periculosidade Ambiental** (PPA), definida pelo Ibama, que agrupa os ingredientes ativos em quatro classes, variando de “altamente perigoso” (Classe I) a “pouco perigoso” (Classe IV). Para adaptar essa escala à lógica do índice, foi realizada uma conversão para uma escala crescente de risco, atribuindo o valor 1 aos produtos pouco perigosos e 4 aos altamente perigosos.

A análise consistiu em **associar** os ingredientes ativos (IA) comercializados em Pernambuco às **culturas** para as quais são recomendados, utilizando dados da plataforma Agrofit e da Produção Agrícola Municipal (PAM/IBGE). Para cada cultura presente na bacia, foi calculada a **média ponderada de PPA** com base no uso estimado dos agrotóxicos. Em seguida, essa média foi associada aos municípios, de acordo com a predominância de culturas em cada localidade. Por fim, os municípios foram classificados em quatro **classes de impacto**, por meio do método de Quebras Naturais (Jenks), e representados em mapas por meio de gradação de cores (verde a vermelho), conforme o risco ambiental estimado.

Tabela 1: Atribuição de valor para o Indicador I₂

Média do PPA	Classe de impacto	Impacto
0 - 2,963	1	Baixa pressão
2,963 - 3,046	2	Pressão moderada
3,046 - 3,073	3	Pressão média
Acima de 3,073	4	Pressão alta

Fonte: A autora (2025)



Metodologia

INDICADOR I₃

O Indicador foi desenvolvido para mensurar o potencial de transporte de agrotóxicos até os corpos hídricos da Bacia do Rio Capibaribe, considerando o **escoamento superficial (run-off)** provocado pelas chuvas. Como pressuposto, parte-se da ideia de que, quanto maior a **precipitação média anual** em um município, maior será a mobilização de partículas e contaminantes do solo rumo aos recursos hídricos.

Os dados utilizados foram obtidos por meio da série histórica de precipitação disponibilizada pela **Agência Pernambucana de Águas e Clima (Apac)**, que conta com uma rede de monitoramento distribuída por todos os 185 municípios pernambucanos.

A valoração dos dados foi feita com base em **classes de impacto** referente a precipitação média anual, estabelecidas pelo método estatístico de quebras naturais de Jenks. Assim como nos demais indicadores, foi utilizada uma gradação de cores para representar visualmente os níveis de impacto: do verde (menor potencial de run-off) ao vermelho (maior potencial de transporte de contaminantes).

Tabela 1: Atribuição de valor para o Indicador I₃

Pluviosidade Média Anual (mm/ano)	Classe de impacto	Impacto
416 a 644	1	Baixa pressão
644 a 939	2	Pressão moderada
939 a 1331	3	Pressão média
Acima de 1331	4	Pressão alta

Fonte: A autora (2025)

Metodologia

IAPA-CAPIBARIBE

A metodologia proposta classificou cada Indicador em **classes de impacto variando de 1, para baixa pressão e 4**, para pressão alta sobre a bacia hidrográfica, levando-se em consideração o potencial de impacto e o risco agroambiental ou toxicológico para a formação de um índice agroambiental aqui intitulado como Índice Agroambiental de Pressão por Agrotóxicos na Bacia do Rio Capibaribe (IAPA-Capibaribe).

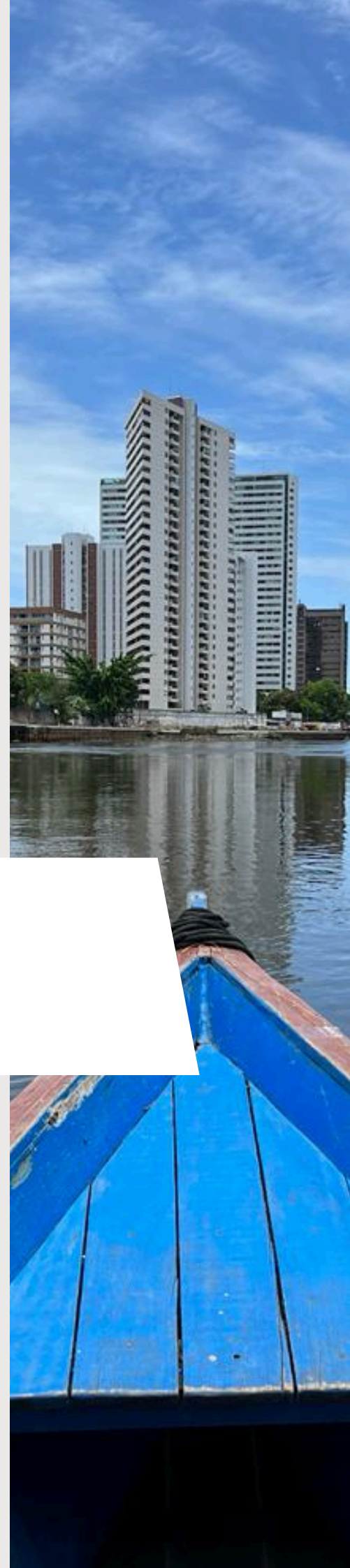
O cálculo para obtenção do índice consiste na **média entre as classes de impacto** dos 3 indicadores propostos, resultando em um valor adimensional entre 1 e 4. Quanto maior o valor do índice, maior a pressão agroambiental associada ao uso de agrotóxicos no município analisado. O índice permite a **comparação relativa entre os municípios** da bacia e será útil na identificação de tendências da evolução no uso de agrotóxicos, ao ser empregado ao longo dos anos.

$$IAPA_i = I_1 + I_2 + I_3$$

Onde:

- IAPAi = Índice Agroambiental de Pressão por Agrotóxicos no município i
- I1 = Classe de impacto do Indicador 1 (Pressão ambiental)
- I2 = Classe de impacto do Indicador 2 (Periculosidade ambiental)
- I3 = Classe de impacto do Indicador 3 (Pluviosidade média anual)

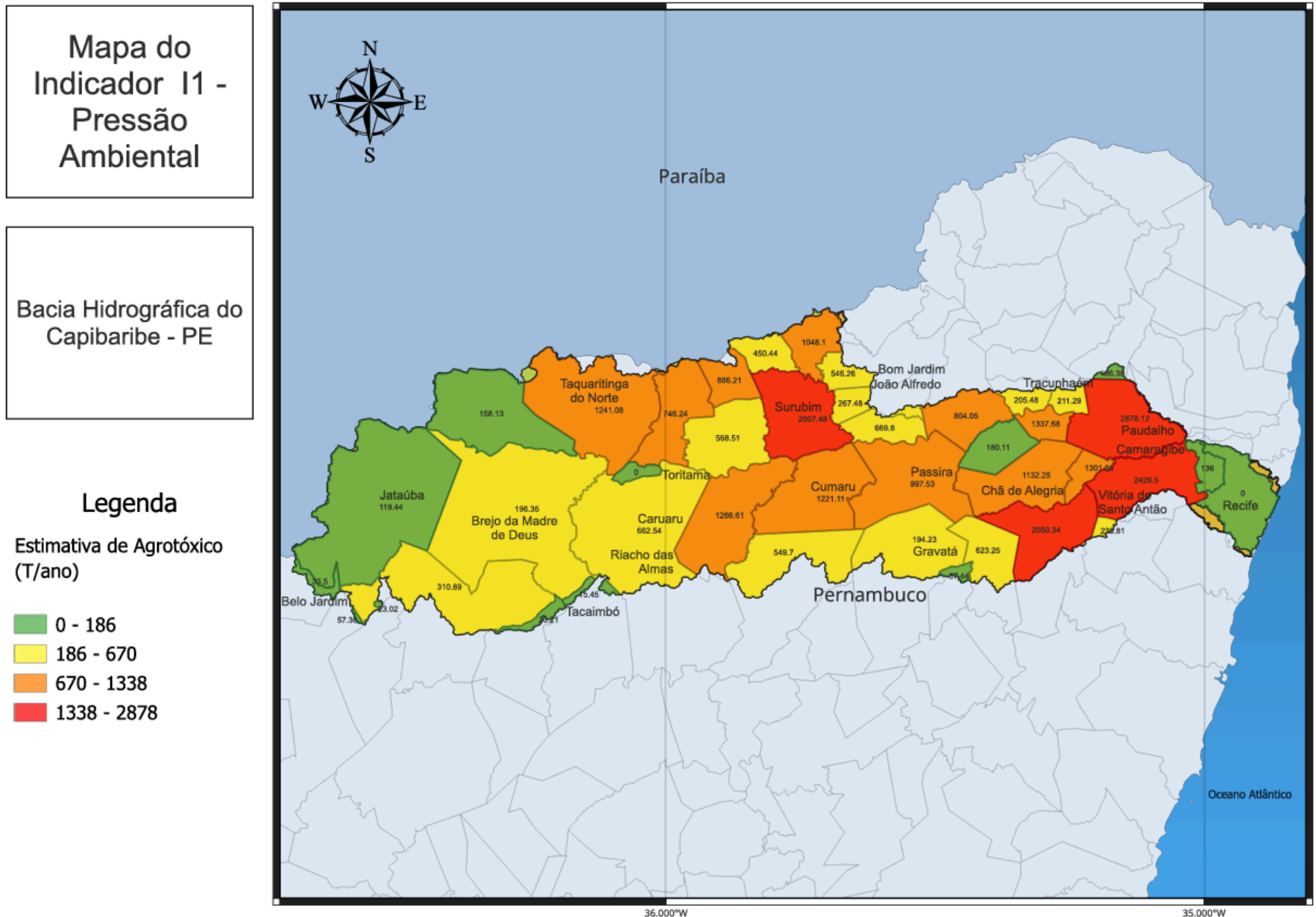
Assim como os indicadores, os resultados do IAPAi serão apresentados com base em graduações definidas por meio do método de Quebras Naturais (Jenks).



Resultados

MAPAS TEMÁTICOS

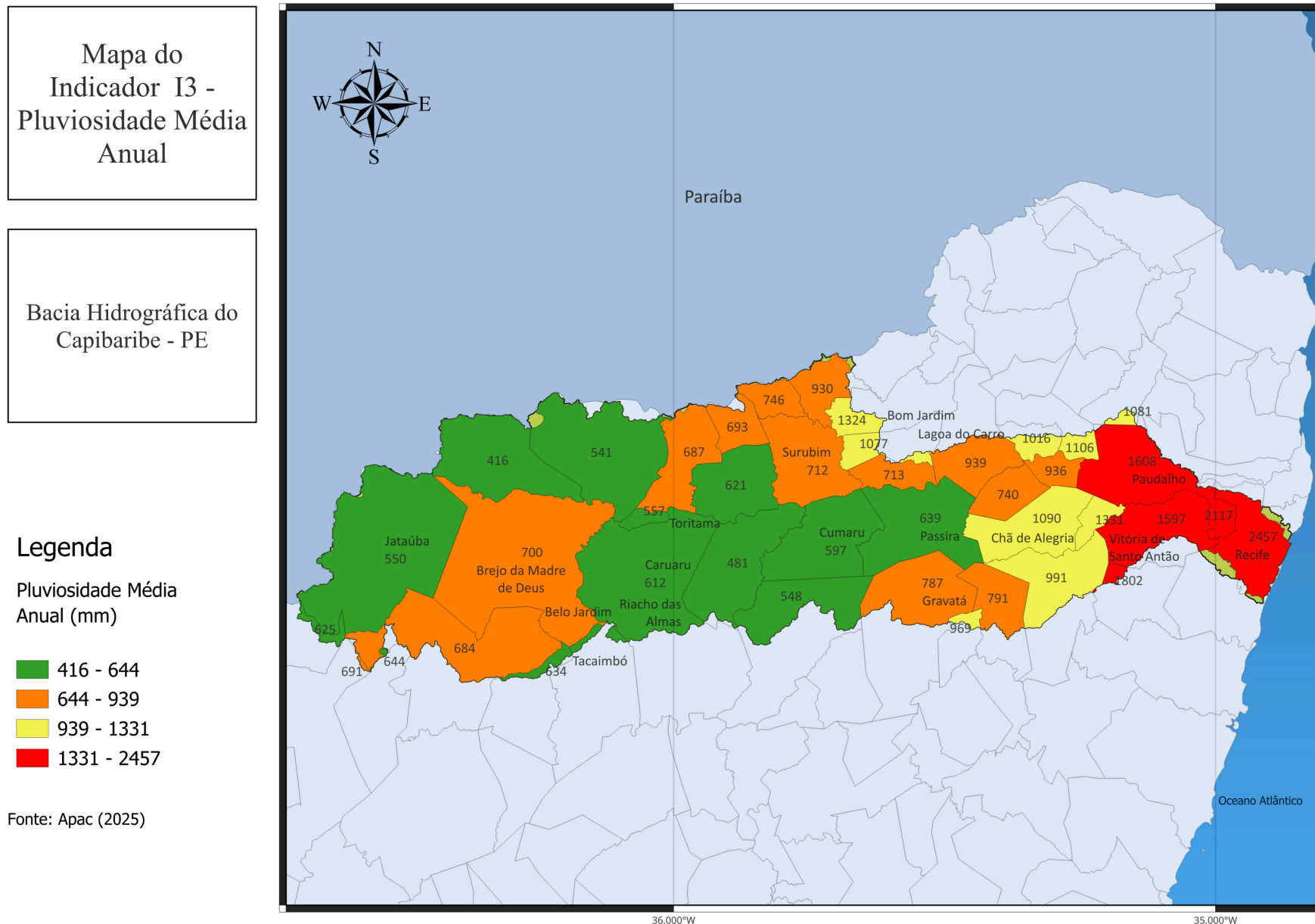
Figura 2: Mapa temático do Indicador I1 de Pressão Ambiental



Resultados

MAPAS TEMÁTICOS

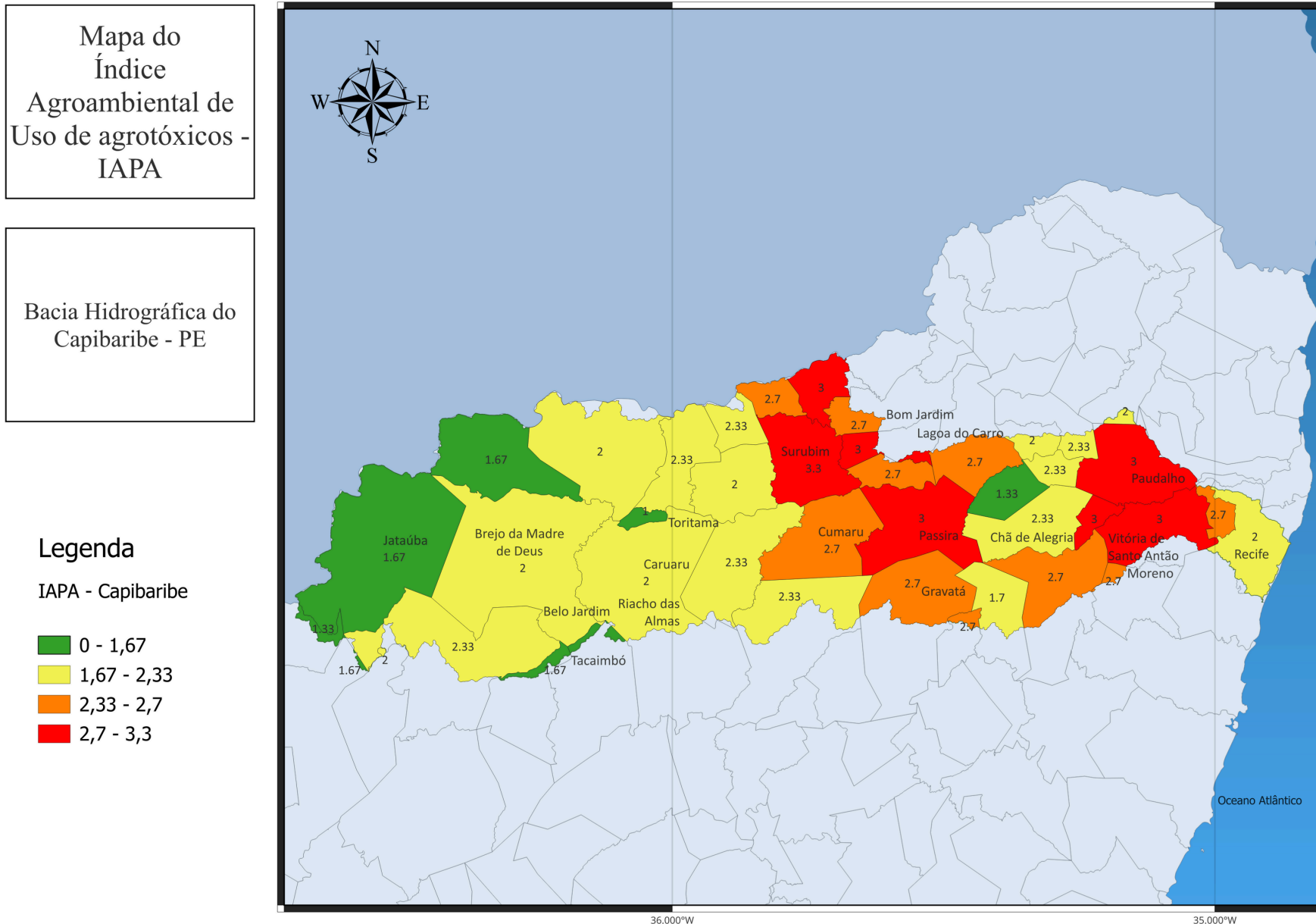
Figura 4: Mapa temático do Indicador I3 de Pluviosidade média anual



Resultados

MAPAS TEMÁTICOS

Figura 5: Índice Agroambiental de Uso de agrotóxicos - IAPA



Fonte: A autora (2025)



Aplicabilidade

Abaixo serão elencadas **possibilidade de aplicabilidade** do índice agroambiental desenvolvido neste estudo como ferramenta para órgãos ambientais, entre outras instituições. Cabe destacar que a metodologia para mensuração do índice agroambiental do Capibaribe é possível de ser reproduzida para qualquer bacia hidrográfica.

AÇÃO	ÓRGÃO OU ENTIDADE COMPETENTE
<p>DEFINIÇÃO DE PONTOS PRIORITÁRIOS DE COLETA E FISCALIZAÇÃO</p> <p>Apontando os municípios prioritários para o monitoramento do uso de agrotóxicos</p>	<p>IBAMA, CPRH OU ÓRGÃO MUNICIPAIS DE MEIO AMBIENTE</p>
<p>APOIO NA TOMADA DE DECISÃO PARA LICENCIAMENTO AMBIENTAL</p> <p>Indicando áreas com maior pressão e vulnerabilidade agroambiental associada ao uso de agrotóxicos</p>	<p>IBAMA, CPRH OU ÓRGÃO MUNICIPAIS DE MEIO AMBIENTE</p>
<p>MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DESTINADAS AO ABASTECIMENTO PÚBLICO</p> <p>Indicar áreas com maior pressão agroambiental e maior risco de contaminação por agrotóxicos</p>	<p>COMPESA E SECRETARIA ESTADUAL DE SAÚDE</p>
<p>SUBSÍDIO AO PROGRAMA VIGILÂNCIA EM SAÚDE DE POPULAÇÕES EXPOSTAS A AGROTÓXICOS - VSPEA</p> <p>Mapenado áreas de risco para sua implementação</p>	<p>MINISTÉRIO DA SAÚDE E SECRETARIA ESTADUAL DE SAÚDE</p>



Considerações Finais

O Índice Agroambiental de Pressão por Agrotóxicos na Bacia do Rio Capibaribe (IAPA-Capibaribe) foi desenvolvido como uma ferramenta estratégica de apoio à gestão ambiental, com o objetivo de identificar e analisar a pressão potencial exercida pelo uso de agrotóxicos sobre os recursos hídricos da bacia. Por meio da integração de três indicadores o índice proporciona uma visão integrada do risco ambiental nos municípios da bacia, contribuindo para o **planejamento** e **tomada de decisões**.

Sua adoção fortalece ações de gestão ambiental, sobretudo **monitoramento ambiental**, em bacias hidrográficas, uma vez que existe a perspectiva de reprodução da metodologia em outras bacias do estado de Pernambuco.

Referências Bibliográficas

ARAÚJO, Gabriela Figueiroa de. **Modelagem de fontes de matéria orgânica para bivalves e sua contaminação por organoclorados no sistema estuarino do Rio Capibaribe**, Pernambuco. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

BRASIL. **Lei nº 14.785, de 27 de dezembro de 2023**. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem, a rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e das embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, de produtos de controle ambiental, de seus produtos técnicos e afins. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 28 dez. 2023.

BASTOS FILHO, Reinaldo Antônio et al. Índices e indicadores como ferramentas para análise do espaço urbano: uma meta-análise dos trabalhos publicados a partir da busca nas plataformas google acadêmico, spell e portal de periódicos capes. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, v. 22, n. 6, p. e5358-e5358, 2024.

CASAGRANDE, Alessandro et al. **Índice agroambiental para avaliar o uso de agrotóxicos (IAA) no Estado do Paraná**. 2018.

CASTILHO, Maurício Seibert. **Investigação da ocorrência de agrotóxicos em águas superficiais nas bacias hidrográficas dos rios Piratinim e Comandá**. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, 2023

MARQUES, Jonathas Gomes de Carvalho. **Uso de agrotóxicos e suas implicações na contaminação de matrizes ambientais em comunidade agrícola do Nordeste do Brasil**. 2024. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 22 out. 2024

MITCHELL, G. **Problems and fundamentals of sustainable development indicators**. *Sustainable Development*, v. 4, n. 1, p. 1-11, 1996.

MOURA, Jéssica Alessandra da Silva. **Poluentes orgânicos persistentes no sedimento do estuário do Capibaribe, Recife, Pernambuco**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso.

NASCIMENTO, R. M. **Impactos dos agrotóxicos na contaminação ambiental da produção de hortaliças no baixo rio Natuba, Pernambuco**. 2013. 167 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

OLIVEIRA, Raimundo Márcio Pereira de. **Efeito genotóxico das águas superficiais do baixo curso da bacia hidrográfica do Rio Capibaribe, Pernambuco-Brasil**. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

SHIELDS, D.; SOLAR, S.; MARTIN, W. **The role of values and objectives in communicating indicators of sustainability**. *Ecological Indicator*, v. 2, n. 1-2, p. 149-160, nov. 2002.