



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

**TÉRCIO DANTAS TAVARES**

**VULNERABILIDADE AQUÍFERA E RISCO POTENCIAL À POLUIÇÃO DAS**  
**ÁGUAS SUBTERRÂNEAS AO USO DOS AGROTÓXICOS NO MUNICÍPIO DE**  
**LIMOEIRO DO NORTE - CEARÁ**

**FORTALEZA**

**2023**

TERCIO DANTAS TAVARES

VULNERABILIDADE AQUÍFERA E RISCO POTENCIAL À POLUIÇÃO DAS  
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS AO USO DOS AGROTÓXICOS NO MUNICÍPIO DE  
LIMOEIRO DO NORTE - CEARÁ

Dissertação de Mestrado apresentada  
ao Programa de Pós- Graduação em  
Geologia da Universidade Federal do  
Ceará, como requisito parcial à obtenção  
do Título de Mestre em Geologia. Área  
de Concentração: Geologia Ambiental e  
Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno  
Cavalcante.

Coorientador: Dr. Rafael Mota de Oliveira.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

T233v Tavares, Tércio Dantas.

Vulnerabilidade aquífera e risco potencial à poluição das águas subterrâneas ao uso dos agrotóxicos no município de Limoeiro do Norte - Ceará / Tércio Dantas Tavares. – 2023.  
121 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante.

Coorientação: Prof. Dr. Rafael Mota de Oliveira.

1. Aquífero cárstico. 2. Vulnerabilidade. 3. Agrotóxicos. I. Título.

CDD 551

---

TÉRCIO DANTAS TAVARES

VULNERABILIDADE AQUÍFERA E RISCO POTENCIAL À POLUIÇÃO DAS  
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS AO USO DOS AGROTÓXICOS NO MUNICÍPIO DE  
LIMOEIRO DO NORTE - CEARÁ

Dissertação de Mestrado apresentada  
ao Programa de Pós- Graduação em  
Geologia da Universidade Federal do  
Ceará, como requisito parcial à obtenção  
do Título de Mestre em Geologia. Área  
de Concentração: Geologia Ambiental e  
Recursos Hídricos.

Aprovada em: 27/04/2023.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Enéas Oliveira Lousada  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dr<sup>a</sup> Renata Nayara Câmara Miranda Silveira  
Instituto INOVAGRI

---

Dr. Rafael Mota de Oliveira  
Pesquisador Voluntário LABHI/DEGEO/CC/UFC

## AGRADECIMENTOS

Continuar os estudos após a Graduação sempre foi uma vontade minha, em meio aos diversos desafios inerentes às transições de vida e carreira. Concluir essa etapa e trajetória de Mestrado representa mais do que um novo título, é o símbolo de uma construção e desenvolvimento de novos repertórios, que agora constituem minha identidade.

Para tanto, é indiscutível o meu agradecimento à rede de apoio mais constante e significativa que possuo: minha família. Aos meus pais, Antônio de Oliveira Tavares e Telma Dantas Tavares; a minha esposa e filha, Janaína Lisboa Galvão de Araújo e Anne Lisboa Galvão Tavares, e a minha irmã/mãe Vivianny Dantas Tavares Sombra. Muito obrigado por proporcionarem suporte, carinho, alguns puxões de orelha e também 'colo' em todos os momentos. Vocês são a minha vida!

Agradeço imensamente ao Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante - DEGEO/CC/UFC, não apenas por ter sido um orientador impecável, presente e sempre disponível mesmo com a agenda mais concorrida que já conheci, mas também, por ter sido aquela pessoa acolhedora e, sobretudo, um PAI. Obrigado por sua dedicação, que o fez por muitas vezes, deixar seus momentos de descanso para me ajudar e me orientar. Um grande obrigado ao meu Co-Orientador - Dr. Rafael Mota de Oliveira, por todo apoio incondicional e por proporcionar o acesso a novos conhecimentos muito acima das minhas expectativas, além de compartilhar sua *expertise* em Hidrogeologia com maestria.

Aos colegas do Laboratório de Hidrogeologia - LABHI/CC/UFC, em especial à MSc Karen Vendramini de Araújo, pelo apoio nos momentos mais desafiadores do período de Pós-Graduação. Dividir o peso dos novos desafios com você foi essencial, e ainda me presenteou com sua amizade. A todos que me apoiaram até aqui, mesmo que indiretamente. Cada um de vocês contribuiu para a conclusão dessa etapa tão significativa e importante de minha vida. A Pós-Graduação em Geologia - Departamento de Geologia/CC/UFC, na pessoa da Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Cynthia Romariz Duarte, que sempre me recebeu e apoiou, extensivo o agradecimento a todos os docentes.

## RESUMO

O município de Limoeiro do Norte - Ceará está localizado na Mesorregião do Jaguaribe, Microrregião do Baixo Jaguaribe no Vale do Jaguaribe, compreendendo uma das mais importantes áreas de fruticultura irrigada do Estado do Ceará. A maioria dos fruticultores da região cultiva de modo convencional, o que inclui o uso de pesticidas sem receituário agrônômico e em desacordo com as recomendações preconizadas pelo fabricante. O uso indiscriminado desses produtos, ao longo da linha temporal, pode provocar a contaminação das águas subterrâneas locais, sendo a intensidade e risco determinados pelas características do ambiente e do próprio contaminante. Esta Dissertação tem como objetivo avaliar a vulnerabilidade aquífera e o risco potencial de contaminação das águas subterrâneas por atividades da agricultura irrigada em Limoeiro do Norte. Os dados e informações geoambientais foram obtidas de trabalhos técnicos publicados em revistas e periódicos nacionais e internacionais, relatórios e livros. A análise da vulnerabilidade aquífera à poluição antrópica foi realizada através dos critérios da *Environmental Protection Agency* (EPA) e pelos métodos GOD e GUSS. Esses critérios baseiam-se em propriedades físico-químicas dos princípios ativos de cada agrotóxico e parâmetros hidrogeológicos. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima de Limoeiro do Norte é do tipo BSW'h', muito quente, semiárido com estação chuvosa atrasada para outono e possui duas estações bem distintas: a seca e a chuvosa, sendo que esta ocorre entre fevereiro a maio. As precipitações atmosféricas oscilam, em média, de 638,58 a 813,26 mm/ano. Como principais unidades geomorfológicas estão presentes a Chapada do Apodi, que se estende para o estado do Rio Grande do Norte, a Planície Aluvial, e a Depressão Sertaneja. Existem vastas manchas aluvionares e litologicamente se tem os calcários da Formação Jandaíra, que configuram o Aquífero Cárstico Jandaíra, sobrepostos aos arenitos do Aquífero Açu onde todos repousam sobre o embasamento cristalino, configurando a borda da Bacia Potiguar. Dentre os 29 agrotóxicos utilizados na área, 11 são classificados como inseticidas (37,9%), seguidos dos acaricidas (20,7%). O elevado índice de aplicação de inseticidas nas lavouras justifica-se pelo fato destas substâncias serem amplamente utilizadas no controle de insetos e pragas, principalmente nas lavouras de milho e feijão. O índice de vulnerabilidade calculado pelo método GOD para a área variou de Moderado a Alto, chegando até a vulnerabilidade Extrema. As áreas onde ocorrem os maiores índices estão relacionadas aos Aquíferos Aluvionares, Açu e Jandaíra (Cárstico).

Neste estudo, foram avaliados os principais produtos aplicados nas culturas irrigadas do município de Limoeiro do Norte através de levantamento realizado *in situ*. Os 134.345 litros de diferentes agrotóxicos, com diferentes graus toxicológicos, em uso na região, associados a um nível estático raso, freático e ambiente carstificado com altas porosidade e permeabilidade, além de “sumidouros” no cárstico, conferem um elevado risco de contaminação das águas subterrâneas. Por meio da comparação entre os modelos propostos, alguns pesticidas apresentaram maior potencial de contaminação em águas subterrâneas, sendo necessário o monitoramento constante dos níveis desses resíduos. Finalmente, é apresentada uma proposta de metodologia de pré-extração em fase sólida (SPE) para análise dos agrotóxicos estudados.

**Palavras-chave:** aquífero cárstico; vulnerabilidade; agrotóxicos.

## ABSTRACT

The municipality of Limoeiro do Norte - Ceará is located in the Mesoregion of Jaguaribe, Microregion of Baixo Jaguaribe in the Vale do Jaguaribe, comprising one of the most important areas of irrigated fruit growing in the State of Ceará. Most fruit growers in the region cultivate conventionally, which includes the use of pesticides without agronomic prescriptions and in disagreement with the recommendations recommended by the manufacturer. The indiscriminate use of these products, along the timeline, can cause the contamination of local groundwater, the intensity and risk being certain due to the characteristics of the environment and the contaminant itself. This Dissertation aims to evaluate the vulnerability and potential risk of groundwater contamination by irrigated agriculture activities in Limoeiro do Norte. The geoenvironmental data and information were initiated in technical works published in national and international magazines and periodicals, reports and books. The analysis of aquifer vulnerability to anthropogenic risk was carried out using the criteria of the Environmental Protection Agency (EPA), the GOD and GUSS methods. These criteria are based on physical-chemical properties of the active principles of each pesticide and hydrogeological parameters. According to the Köppen climate classification, the climate of Limoeiro do Norte is of the BSW'h' type, very hot, semi-arid with a rainy season late to autumn and has two very distinct seasons: the dry and the rainy, the latter occurring between the months of February to May. Atmospheric precipitation is observed from January to May, oscillating, on average, from 638.58 to 813.26 mm/year. As main geomorphological units are present the Chapada do Apodi, which extends to the state of Rio Grande do Norte, the Alluvial Plain, and the Sertaneja Depression. There are vast alluvial patches and lithologically there are the limestones of the Jandaíra Formation, which form the Jandaíra Karst Aquifer, overlapping the sandstones of the Açu Aquifer where all rest on the crystalline basement, forming the edge of the Potiguar Basin. Among the 29 pesticides used in the area, 11 are classified as insecticides (37.9%), followed by acaricides (20.7%). The high rate of insecticide application in crops is justified by the fact that these substances are widely used to control insects and pests, mainly in corn and bean crops in the region. The vulnerability index calculated by the GOD method for the area ranged from Moderate to High, reaching Extreme vulnerability. The areas where the highest rates occur are related to the Alluvial Aquifers, Açu and Jandaíra (karstic). In this study, the main products applied to irrigated crops in the municipality of Limoeiro do Norte were evaluated through an

in-situ survey. The 134,345 liters of different pesticides, with different toxicological degrees, in use in the region, associated with a shallow water table, freatic, and a karst environment with high porosity and permeability, in addition to “sinks” in the karst, confer a high risk of contamination of the groundwater. By comparing the proposed models, some pesticides showed a greater potential for contamination in groundwater, requiring constant monitoring of the levels of these residues. Finally, a proposal for a solid phase pre-extraction (SPE) methodology for the analysis of the considered pesticides is presented.

**Keywords:** karst aquifer; vulnerability; pesticides.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Organograma metodológico para o desenvolvimento da Dissertação.....	19
Figura 2	– Fluxograma para avaliação da vulnerabilidade de aquíferos pelo método GOD.....	27
Figura 3	– Localização do município de Limoeiro do Norte - Ceará.....	28
Figura 4	– Mapa pedológico do município de Limoeiro do Norte, Ceará ....	31
Figura 5	– Unidades litológicas de Limoeiro do Norte, Ceará.....	38
Figura 6	– Média mensal da precipitação atmosférica do posto pluviométrico nº 81 (1974 à 2022).....	46
Figura 7	– Média mensal da precipitação atmosférica do posto pluviométrico nº 194 (1999 à 2022).....	47
Figura 8	– Média mensal da precipitação atmosférica do posto pluviométrico nº 418 (1988 à 2022).....	48
Figura 9	– Temperatura média mensal do posto pluviométrico nº 81.....	49
Figura 10	– Temperatura média mensal do posto pluviométrico nº194.....	50
Figura 11	– Temperatura média mensal do posto pluviométrico nº 418.....	51
Figura 12	– Representação gráfica do balanço hidroclimatológico dos dados do posto pluviométrico nº81 (1974 à 2022).....	53
Figura 13	– Representação gráfica do balanço hidroclimatológico dos dados do posto pluviométrico nº194 (1999 à 2022).....	54
Figura 14	– Representação gráfica do balanço hidroclimatológico com dados do posto pluviométrico nº418 (1988 à 2022).....	56
Figura 15	– Áreas de influências que cada posto pluviométrico exerce em Limoeiro do Norte, de acordo com os Polígonos de Thiessen..	58
Figura 16	– Classificação dos agrotóxicos de acordo com a sua toxicidade.....	68
Figura 17	– Vendas de Agrotóxicos no Brasil, por empresa (2017).....	70
Figura 18	– Taxa de crescimento de vendas de agrotóxicos 2010-2020 (Mundo X Brasil).....	71
Figura 19	– Consumo de agrotóxicos por região em 2021.....	72
Figura 20	– Usos de agrotóxicos nos estados brasileiros (2021).....	73

Figura 21	–	Uso de agrotóxicos por tipos no Brasil (2021) .....	73
Figura 22	–	Ingredientes ativos mais vendidos (toneladas) no Brasil em 2021 .....	74
Figura 23	–	Ranking dos ingredientes ativos mais vendidos no Ceará em 2021 .....	75
Figura 24	–	Estrutura química dos pesticidas mais usados no município de Limoeiro do Norte - Ceará .....	77
Figura 25	–	Principais processos que governam o destino de pesticidas no solo .....	80
Figura 26	–	Países líderes no consumo agrícola de pesticidas no mundo (2020) .....	87
Figura 27	–	Distribuição do consumo de pesticidas no mundo em 2020, por região.....	88
Figura 28	–	Principais países exportadores de agrotóxicos no mundo em 2021 .....	90
Figura 29	–	Principais países importadores de agrotóxicos (Ton/ano) no mundo em 2021 .....	91
Figura 30	–	Resultado geral por categoria, do potencial de contaminação dos agrotóxicos nas águas subterrâneas de Limoeiro do Norte - Ceará.....	102
Figura 31	–	Mapa de vulnerabilidade pelo método GOD do município de Limoeiro do Norte, Ceará.....	104
Figura 32	–	Relação entre quantidade de poços por intervalo de vulnerabilidade de acordo com a metodologia GOD.....	105
Figura 33	–	Cromatógrafo Gasoso acoplado à Espectrometria de Massas (GC-MS), Shimadzu, modelo QP2010 Plus, do LAT (Fonte: Acervo da pesquisa). .....	107
Figura 34	–	Cromatograma dos agrotóxicos: (1) Difenconazol, (2) Atrazina, (3) Acafato, (4) Malation, (5) Clorpirifós, (6) Difenconazol, (7) Malation (Modo SIM, Conc: 10 µg/L; pH=7). .....	108
Figura 35	–	Resultados das análises de teste de recuperação dos analitos com utilização de colunas.....	109

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	– Fatores de K para correção da evapotranspiração potencial mensal segundo Thornthwaite, latitude entre 150 norte e 370 sul.....	23
Quadro 2	– Classificação dos graus de vulnerabilidade GOD.....	26
Quadro 3	– Postos pluviométricos no município de Limoeiro do Norte - Ceará.....	43
Quadro 4	– Média mensal da precipitação atmosférica do posto pluviométrico nº 81 (1974 à 2022).....	45
Quadro 5	– Média mensal da precipitação atmosférica do posto pluviométrico nº 194 (1999 à 2022).....	46
Quadro 6	– Média mensal da precipitação atmosférica do posto pluviométrico nº 418 (1988 à 2022).....	47
Quadro 7	– Temperatura média mensal do posto pluviométrico nº 311.....	48
Quadro 8	– Temperatura média mensal do posto pluviométrico nº 194.....	49
Quadro 9	– Temperatura média mensal do posto pluviométrico nº 418.....	50
Quadro 10	– Balanço Hídrico Limoeiro do Norte, Posto 81 (1974 - 2022).....	52
Quadro 11	– Balanço Hídrico Bixopa, Posto 194 (1999 - 2022).....	54
Quadro 12	– Balanço Hídrico Sítio Malhada, Posto 418 (1988 - 2022).....	55
Quadro 13	– Dados utilizados para a distribuição da precipitação de Limoeiro do Norte - Ceará.....	57
Quadro 14	– Média anual da precipitação atmosférica em Limoeiro do Norte - Ceará, levando em consideração o raio de influência dos postos pluviométricos pelos Polígonos de Thiessen.....	59
Quadro 15	– Média anual da temperatura de Limoeiro do Norte levando em consideração o raio de influência dos postos pluviométricos....	59
Quadro 16	– Média anual da infiltração estimada no município de Limoeiro do Norte - Ceará, levando em consideração o raio de influência dos postos pluviométricos.....	60
Quadro 17	– Classes toxicológicas.....	76
Quadro 18	– Limoeiro do Norte (CE): empresas de comércio de agrotóxicos. 1994 a 2015.....	95

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Faturamento x empresas de agrotóxicos no mundo.....	69
Tabela 2	– Relação dos pesticidas mais utilizados na agricultura de Limoeiro do Norte - Ceará .....	78
Tabela 3	– Histórico de consumos de agrotóxicos das maiores economias mundiais e representantes de Blocos Econômicos (1990- 2020) .....	86
Tabela 4	– Dados de produção, área plantada e média de uso de agrotóxicos em Limoeiro do Norte, Ceará .....	96
Tabela 5	– Comparação entre o método de Screening da EPA e Índice de GUS para avaliação do potencial de contaminação de águas subterrâneas por pesticidas utilizados em agricultura irrigada de Limoeiro do Norte, Ceará.....	100
Tabela 6	– Comparação entre o método de Screening da EPA e Índice de GUS para avaliação do potencial de contaminação de águas subterrâneas por pesticidas utilizados em agricultura irrigada de Limoeiro do Norte, Ceará - Continuação .....	101
Tabela 7	– Classes e pesos atribuídos de acordo com o índice de vulnerabilidade GOD.....	103
Tabela 8	– Padrões utilizados para análise de agrotóxicos em água. ....	106
Tabela 9	– Propriedades físico-químicas dos principais agrotóxicos utilizados em Limoeiro do Norte.....	107
Tabela 10	– Resultados do percentual de recuperação de analitos .....	110

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
1.1	<b>Objetivos</b> .....	15
1.1.1	<i>Objetivos específicos</i> .....	16
1.2	<b>Justificativa</b> .....	16
2	<b>METODOLOGIA</b> .....	19
2.1	<b>Localização e acesso</b> .....	26
3	<b>ASPECTOS GEOAMBIENTAIS DE LIMOEIRO DO NORTE</b> .....	29
3.1	<b>Clima</b> .....	29
3.2	<b>Solos</b> .....	29
3.3	<b>Vegetação</b> .....	32
3.4	<b>Geomorfologia</b> .....	33
3.5	<b>Hidrografia</b> .....	34
3.6	<b>Geologia</b> .....	36
3.7	<b>Hidrogeologia</b> .....	40
4	<b>ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS</b> .....	41
5	<b>BALANÇO HIDROCLIMATOLÓGICO</b> .....	42
5.1	<b>Postos Pluviométricos</b> .....	43
5.2	<b>Balanço Hidroclimatológico pelo Método de Thornthwaite e Mather (1955)</b> .....	43
5.2.1	<i>Precipitação</i> .....	44
5.2.2	<i>Temperatura</i> .....	48
5.2.3	<i>Cálculo do Balanço Hidroclimatológico</i> .....	51
5.2.4	<i>Polígonos de Thiessen</i> .....	56
6	<b>DIMENSÃO HISTÓRICA DO USO DA TERRA</b> .....	60
7	<b>MONOCULTURA E O DESENVOLVIMENTO DO ESTADO BRASILEIRO</b> .....	64

<b>8</b>	<b>AGROTÓXICOS.....</b>	<b>66</b>
<b>8.1</b>	<b>Agrotóxicos: conceito e classificação .....</b>	<b>66</b>
<b>8.2</b>	<b>Produção e comercialização de agrotóxicos .....</b>	<b>69</b>
<b>8.3</b>	<b>Toxicidade e classificação dos agrotóxicos estudados .....</b>	<b>75</b>
<b>8.4</b>	<b>Estrutura química dos agrotóxicos.....</b>	<b>76</b>
<b>8.5</b>	<b>Dinâmica dos agrotóxicos no solo.....</b>	<b>79</b>
<b>8.6</b>	<b>Propriedades físico-químicas dos agrotóxicos.....</b>	<b>81</b>
<b>8.7</b>	<b>Novo marco regulatório de classificação dos agrotóxicos no Brasil e o sistema de controle de mercado.....</b>	<b>83</b>
<b>9</b>	<b>USO DE AGROTÓXICOS NO BRASIL E SITUAÇÃO INTERNACIONAL .....</b>	<b>84</b>
<b>10</b>	<b>INCENTIVOS FISCAIS E A EXPANSÃO DAS INDÚSTRIAS DE AGROTÓXICOS NO BRASIL .....</b>	<b>92</b>
<b>11</b>	<b>USO INTENSIVO DE AGROTÓXICOS NOS PERÍMETROS IRRIGADOS DO BAIXO - JAGUARIBE, CEARÁ.....</b>	<b>94</b>
<b>12</b>	<b>O USO DE AGROTÓXICOS NA AGRICULTURA E OS IMPACTOS AMBIENTAIS E NA SAÚDE .....</b>	<b>97</b>
<b>13</b>	<b>VULNERABILIDADE AQUÍFERA À POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....</b>	<b>99</b>
<b>13.1</b>	<b>Método de Screening da EPA e do Índice de GUS .....</b>	<b>99</b>
<b>13.2</b>	<b>Avaliação da vulnerabilidade aquífera à poluição antrópica pelo método GOD.....</b>	<b>103</b>
<b>14</b>	<b>MÉTODOS DE ANÁLISES DE AGROTÓXICOS EM ÁGUA .....</b>	<b>105</b>
<b>14.1</b>	<b>Padrões e Solventes .....</b>	<b>105</b>
<b>14.2</b>	<b>Análise de agrotóxicos por Cromatografia Gasosa Acoplada à Espectrometria de Massa (GC-MS).....</b>	<b>106</b>
<b>15</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>110</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>113</b>

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com o relatório da ONU, *World Water Development Report* (2015), aproximadamente um bilhão e oitocentos milhões de pessoas não têm acesso seguro à água com condições mínimas para o consumo humano, sendo, portanto, compelidas a viver em regime de escassez hídrica e, em situações de extrema pobreza.

Estima-se ainda, que até o ano 2025 a população mundial chegará a 8 bilhões de habitantes, o que demandará uma pressão ainda maior pelo acesso à água para o consumo humano, principalmente, naquelas populações onde a escassez é maior.

O Brasil, mesmo sendo considerado o maior depositário de água doce do mundo com 11,8% (UNIAGUA, 2012), tem sido afetado continuamente por extensos períodos de estiagem, principalmente, na região semiárida, que concentra 30% da população brasileira e possui apenas 5% da água doce. Corroborando com este fato, a ação antropogênica em razão da expansão urbana, tem potencializado a exiguidade deste recurso, demandando por parte dos poderes públicos e sociedade em geral, um posicionamento mais criterioso e responsável para com o manejo desse bem.

De acordo com Carlão (2018), a escassez de água em quantidade e qualidade se propalou por todas as regiões do planeta, com ela incrementando problemas regionais, principalmente quando afetados por conflitos armados internos ou pelo deslocamento forçado de pessoas.

Segundo Hirata (2019), as águas subterrâneas são essenciais para a vida, não apenas por abastecerem as cidades e o campo e servirem de insumo para diversas atividades econômicas, mas também por sustentarem vários sistemas aquáticos como rios, lagos, mangues e pântanos. Sem as águas subterrâneas, as florestas em regiões de clima seco ou tropical não se manteriam em pé, tampouco os ambientes aquáticos existiriam ou cumpririam as suas funções ambientais.

Embora tenha-se o conhecimento da importância das águas subterrâneas, essas são susceptíveis à contaminação. Globalmente, os aquíferos estão sob perigo cada vez maior de contaminação em decorrência da urbanização, do desenvolvimento industrial, das atividades agrícolas e de mineração. Os custos de descontaminação de mananciais subterrâneos são muito elevados, de tal forma que torna o processo inviável, destarte, é muito mais sensato preservar este recurso natural e renovável (SILVÉRIO et al, 2012).

De acordo com Alluche *et al* (2017), significantes números de aquíferos encontram-se poluídos, particularmente pelas práticas agrícolas com um consumo intensivo e crescente de fertilizantes químicos.

Gomes (2019) considera que os avanços obtidos pelo agronegócio vêm produzindo diversos riscos e impactos que podem repercutir na biodiversidade, na disponibilidade hídrica, na qualidade do ar e do solo e na saúde humana. Além disso, as populações residentes em áreas de cultivo e áreas urbanas estão expostas aos efeitos nocivos de agrotóxicos presentes no ambiente contaminado, até mesmo de resíduos nos alimentos e nas águas.

Na região do Baixo Jaguaribe, alguns municípios se destacam pela grande produção agrícola e diversidade de culturas, a exemplo de Limoeiro do Norte, com cultivos de banana, arroz, limão, milho, mamão e sorgo granífero (IBGE, 2021).

Segundo Corcino *et al* (2019), a manutenção destas culturas é entendida como um processo produtivo químico-dependente; portanto, nesta perspectiva, os agrotóxicos passam a ser entendidos como essenciais para o manejo de pragas e aumento da produtividade. Ainda segundo os autores, o modelo de cultivo que faz uso intensivo de agrotóxicos gera grandes malefícios, como poluição ambiental e intoxicação de trabalhadores rurais e da população em geral.

De acordo com Vasconcelos *et al* (2013), os recursos hídricos agem como integradores dos processos biogeoquímicos de qualquer área ou região. Nesse sentido, quando água e fertilizantes em excesso são aplicados, particularmente na agricultura, os recursos hídricos, sejam superficiais ou subterrâneos, são os principais destinos a serem atingidos. Na maioria das vezes, a concentração dos pesticidas em água é baixa, em parte por serem, geralmente, pouco solúveis e em parte devido ao efeito de diluição. Entretanto, mesmo nestas concentrações, tais produtos representam riscos para algumas espécies de organismos aquáticos, que podem concentrá-los em até mil vezes.

Considerando a importância dos reservatórios subterrâneos para o Semiárido Cearense, seu manejo sustentável será determinante para a conservação e viabilização do seu uso futuro, com vistas a melhoria da qualidade de vida das populações deles dependentes. De forma simplificada, pode-se dizer que a sustentabilidade ambiental de um espaço territorial pressupõe um ponto de equilíbrio entre o desenvolvimento e a utilização dos recursos naturais, a partir de um planejamento adequado que respeite os interesses culturais, éticos e de vida digna

das atuais e futuras gerações (PES, 2013).

Assim, são relevantes os monitoramentos que tratam especificamente da qualidade da água subterrânea, abrangendo tecnicamente a coleta periódica associada à análise de dados e informações, para propósitos de efetivo gerenciamento destes ecossistemas. Neste contexto, um programa de monitoramento pode ser definido como a tentativa de identificar mudanças nas variáveis qualitativas da água, que forneçam elementos de subsídio para futuras tomadas de decisões, quanto a sustentabilidade deste recurso. Para determinação da qualidade da água são requeridas medidas de diversas variáveis com flutuação temporal e espacial, que identifiquem a sua característica multivariada. A análise multivariada permite efetuar uma visão global do fenômeno, definindo quais variáveis são mais importantes para gestão da água, com critérios mais objetivos. Esse tipo de análise estatística é uma ferramenta eficaz na avaliação qualitativa das águas (FINKLER et al, 2015; GOMES e CAVALCANTE, 2017).

As coleções de água subterrâneas inseridas na área de abrangência do município de Limoeiro do Norte são fontes hídricas que fazem parte da Sub-bacia do Baixo Jaguaribe, com função estratégica para o consumo humano local e na manutenção de atividades agropecuárias. Deste modo, torna-se apropriado o monitoramento sistemático deste recurso com fins de conhecer suas características físico-químicas e microbiológicas, bem como de acompanhar e identificar a presença de possíveis contaminantes, como modo de interpretar a influência dos fatores naturais e antrópicos, na determinação desse corpo hídrico, considerando a espacialidade e a temporaneidade.

## **1.1 Objetivos**

Realizar a análise do grau de vulnerabilidade aquífera e risco de contaminação das águas subterrâneas do município de Limoeiro do Norte - Ceará, por uso de agrotóxicos, com base no índice de lixiviação GUS, método GOD e Método *Screening* da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) e de dados e informações sobre o uso dos agrotóxicos.

### **1.1.1 Objetivos específicos**

Com base nos objetivos gerais estabelecidos, procedeu-se à formulação dos objetivos específicos que se seguem:

1. Calcular os parâmetros hidroclimatológicos da região pelo método de Thorntwaite e Matter (1955);
2. Definir as áreas de interferência ds precipitações pluviométricas pelos Polígonos de Thiessen;
3. Esplanar sobre as definições e classificações dos agrotóxicos e a evolução dos mesmos no cenário nacional e internacional;
4. Propor um método de extração e análise de agrotóxicos comuns à área de estudo.

## **1.2 Justificativa**

Nas últimas cinco décadas foi observado um desenvolvimento sem precedentes dos recursos hídricos subterrâneos. Aproximadamente 2 bilhões de pessoas dependem das águas subterrâneas como recursos de água potável em todo o mundo (OKI e KANAE, 2006).

No Brasil, as reservas de água subterrânea são estimadas em 112.000 km<sup>3</sup> (112 trilhões de m<sup>3</sup>) e a contribuição multianual média à descarga dos rios é da ordem de 2.400 km<sup>3</sup>/ano (REBOUÇAS e CAVALCANTE, 1988 in MMA, 2003).

Segundo a ANA (2010), 52% dos 5.570 municípios brasileiros são abastecidos total (36%) ou parcialmente (16%) por águas subterrâneas. A exploração desse recurso hídrico é inversamente proporcional ao tamanho das cidades. As águas subterrâneas são a opção exclusiva para 48% dos municípios com população menor que 10 mil habitantes e para 30% daqueles com 10 a 50 mil habitantes.

Os municípios menores são os mais vulneráveis socioeconomicamente pois, via de regra, possuem as populações mais pobres e menor capacidade técnica e financeira para superar os problemas advindos da variabilidade hídrica e, portanto, estão menos preparados para o enfrentamento das novas realidades prenunciadas pelas mudanças climáticas globais, particularmente aqueles situados nas regiões Nordeste e Norte do Brasil.

A deterioração da qualidade das águas subterrâneas por atividades antropogênicas, assim como os agravos à saúde das populações rurais decorrentes do uso de agrotóxicos, já foi estudada anteriormente no Brasil por Milhome *et al* (2017) Bombardi (2017) e Güler *et al* (2012). De acordo com os estudos citados, tais atividades constituem um desafio significativo para a gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos.

Entre as fontes possíveis de contaminação do solo e da água, a agricultura é geralmente apontada como importante contribuinte de poluentes (PEREIRA *et al*, 2015). Miranda *et al* (2007) consideram que as práticas do cultivo intensivo na agricultura provocam séria degradação ambiental como a erosão, perda dos solos férteis, o assoreamento e a poluição de importantes cursos d'água, o desaparecimento de nascentes e a perda da biodiversidade. Para os autores, as populações residentes em áreas de cultivo e moradores urbanos estão expostas aos efeitos nocivos destes produtos mediante a contaminação ambiental e dos próprios alimentos.

No Baixo Jaguaribe, alguns municípios se destacam pela grande produção agrícola de diversidade de culturas, a exemplo de Limoeiro do Norte, com cultivos de banana, arroz, limão, milho, mamão e sorgo granífero (MILHOME *et al*, 2010).

A manutenção dessas culturas exige o uso frequente de agrotóxicos para o controle de pragas com o intuito de evitar as chamadas perdas de produção, uma vez que muitos desses vetores fazem parte da biota local, e outros são introduzidos com a implantação de novas culturas em locais onde, antes, não existiam, como a uva, abacaxi e melão, entre outras (ALEXANDRE, 2010).

Alguns tipos de agrotóxicos, ao permanecerem no ambiente ou atingirem o meio aquático, oferecem riscos para espécies animais por sua toxicidade e possibilidade de bioacumulação ao longo da cadeia alimentar (MILHOME *et al*, 2010).

Considerando que os mananciais subterrâneos são a forma democrática de acesso da sociedade à água para suas principais atividades e para sobrevivência, mantê-los em quantidade e qualidade adequadas é fundamental para o desenvolvimento, manutenção da saúde e o bem-estar social. Neste contexto, faz-se imperativo a utilização de ferramentas que busquem contribuir com o controle e prevenção de potenciais contaminações ambientais e humanas, pelo uso impositivo de agrotóxicos pelas populações campesinas.

Destarte, o presente documento visa contribuir com a avaliação da

vulnerabilidade das águas subterrâneas do município de Limoeiro do Norte - Ceará ao uso intensivo de agrotóxicos através da aplicação de modelos como o *Screening* da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos-USEPA e o índice de GUS, ambos capazes de estimar a contaminação para águas subterrâneas, a partir do conhecimento prévio das características físico-químicas dos contaminantes. Já para avaliação da vulnerabilidade intrínseca à contaminação de aquíferos, sem considerar dados dos poluentes, utilizar-se-á a metodologia proposta por Foster e Hirata em 1987 (método GOD).

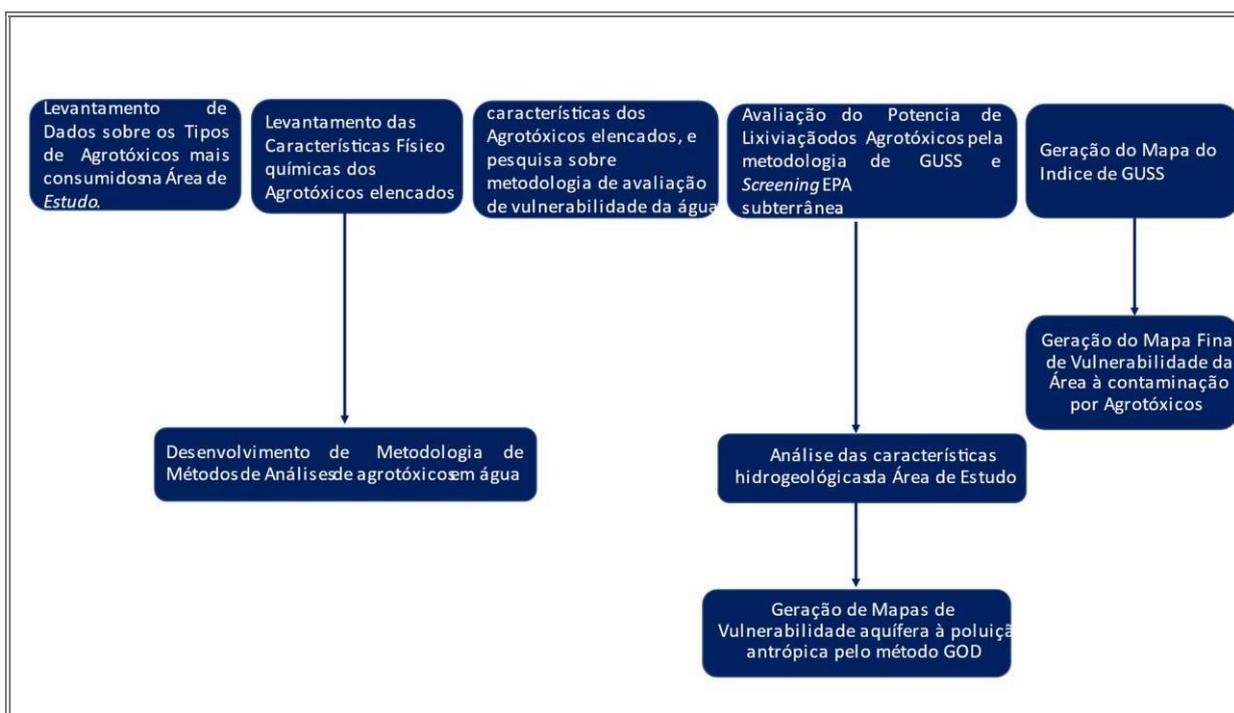
Assim, a pesquisa se justifica em função da importância da abordagem de vulnerabilidade e riscos à poluição por agrotóxicos em uma região intensamente agricultável, onde a população, particularmente a rural, utiliza a água subterrânea no cotidiano. Además, irá auxiliar diretamente na política governamental de gestão dos recursos hídricos subterrâneos, onde a linha qualitativa torna-se instrumento importante no gerenciamento das águas.

## 2 METODOLOGIA

Os dados para a análise das características geoambientais e hidrogeológicas foram obtidos de trabalhos técnicos publicados sobre a região, dissertações e teses, além do banco de dados de águas subterrâneas e poços tubulares SIAGAS/CPRM.

A avaliação do risco de contaminação das águas subterrâneas por pesticida através dos critérios de *Screening* da Agência de proteção ambiental Norte-americana (*Environmental Protection Agency - EPA*) e do índice de GUS (*Groundwater Ubiquity Score*), foi realizado através do estudo do potencial de lixiviação dos pesticidas utilizados no município de Limoeiro do Norte - Ceará, conjuntamente às características hidrogeológica da região, de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Organograma metodológico para o desenvolvimento da Dissertação



O levantamento dos agrotóxicos mais utilizados em Limoeiro do Norte foi realizado mediante entrevista com revendedores de insumos agrícolas (Fertilizantes e Agrotóxicos) da região e análise de planilhas de vendas. Outro meio complementar de levantamento de informações de uso de agrotóxicos, foi através de questionário aplicado aos produtores rurais, nos meses de fevereiro e outubro de 2021. O cadastro dos Produtores foi obtido junto a EMATERCE - Empresa de Assistência Técnica e

Extensão Rural do Ceará.

O levantamento e análise dos dados inerentes as propriedades físico- químicas dos Agrotóxicos foi realizado através do banco de dados sobre propriedades físico-químicas e ecotoxicológico da Unidade de Pesquisa em Agricultura e Ambiente da Universidade de Hertfordshire, na Inglaterra - FOOTPRINT e banco de dados sobre propriedades físico-químicas da IUPAC - *International Union of Pure and Applied Chemistry*.

O potencial de contaminação de águas subterrâneas foi obtido a partir da comparação dos métodos de screening propostos pela EPA e do índice de GUS. O método de screening proposto pela EPA na análise preliminar de riscos de contaminação de águas subterrâneas por pesticidas considera os seguintes critérios:

- a) Solubilidade em água  $> 30 \text{ mg. mL}^{-1}$ ;
- b) coeficiente de adsorção à matéria orgânica:  $Koc < 300-500 \text{ mL.g}^{-1}$ ;
- c) constante de Henry:  $KH < 10^{-2} \text{ Pa.m}^3.\text{mol}^{-1}$ ;
- d) meia-vida no solo (DT50 no solo):  $> 14-21$  dias;
- e) meia-vida na água (DT50 na água)  $> 175$  dias.

De acordo com os critérios da EPA, agrotóxicos que possuem propriedades como elevada solubilidade em água, baixa adsorção à matéria orgânica no solo e alta meia-vida no solo, tendem a atingirem o lençol freático, potencializando o risco de contaminação. Nestes critérios também devem ser consideradas as condições de campo que favorecem a percolação no solo, ou seja, pluviosidade anual  $> 250 \text{ mm}$ ; presença de solo poroso e presença de aquífero livre.

A análise conforme o índice de GUS é realizado mediante fórmula matemática tendo como parâmetros os valores de meia-vida do composto no solo e do coeficiente de adsorção à matéria orgânica do solo, de acordo com a Equação 2.1.

$$\text{GUS} = \log (\text{DT50 solo}) \times (4 - \log (\text{Koc})) \quad [\text{Equação 2.1}]$$

Onde:

- $\text{DT}_{50}$  = Meia-vida do produto no solo.
- $\text{Koc}$  = Coeficiente de adsorção à matéria orgânica no solo.

Uma vez determinado o índice de GUS para cada pesticida, os mesmos são classificados em função dos seguintes critérios:

- a)  $GUS = 1,8$  - Não sofre lixiviação.
- b)  $1,8 < GUS < 2,8$  - Faixa de transição.
- c)  $GUS \geq 2,8$  - Provável lixiviação.

O valor de GUS serve como ferramenta auxiliar para identificação de pesticidas a serem priorizados nas atividades de monitoramento ambiental in loco. Permite a identificação do provável compartimento em que o composto deve ser monitorado no caso de sedimento ou água.

Considerando-se as condições climáticas da área em estudo, adotou-se o Método de Thornthwaite e Mather (1955) que, segundo Vasconcelos (1996), representa aquele que melhor se adapta às áreas com as características climáticas que apresentam alternância de períodos secos e chuvosos bem diferenciados, caso da área em tese.

O cálculo do balanço hídrico foi realizado com a aplicação da equação proposta por Thornthwaite e Mather (1955), sendo necessária a determinação dos seguintes parâmetros:

- T - temperatura média ( $^{\circ}\text{C}$ );
- I - índice térmico (mm) com base na temperatura;
- K - fator de correção relacionado à latitude e insolação média mensal (os valores adotados para latitudes entre  $15^{\circ}$  norte e  $37^{\circ}$  sul estão apresentados no Quadro 1);
- ETP - evapotranspiração potencial (mm);
- PPT - precipitação (mm);
- ETR - evapotranspiração real (mm).

Para obtenção dos parâmetros necessários a este balanço, deve ser aplicada a Equação 2.2.

$$ETP = 16 (10T/I)^a \times K \quad [\text{Equação 2.2}]$$

Onde:

- ETP - evapotranspiração potencial (mm);
- T - temperatura média mensal em °C (referente ao período considerado);
- I - índice térmico anual;
- K - fator de correção que depende da latitude. A área de pesquisa encontra-se associada à latitude 5°S (para o posto pluviométrico 194) e latitude 10°S (para os postos pluviométricos 81 e 418) onde os valores para a correção utilizados estão apresentados em destaque no Quadro 1 (em destaque valores utilizados nesta pesquisa).

O índice térmico anual (I) é calculado pela Equação 2.3.

$$I = \sum_{i=1}^{12} I_i \quad \text{Em que: } I_i = (T_i/5)^{1,5} \quad [Equação 2.3]$$

Onde:

- $T_i$  - temperatura média de cada mês do ano;
- $i$  - índice térmico mensal, que varia de 1 a 12 e somados dão o índice térmico anual (I).

Para a obtenção do termo “a”, parâmetro obtido em função do índice térmico, sendo dado pela Equação 2.4.

$$a = 0,49239 + (1792 \times 10^{-5} I) - (771 \times 10^{-7} + I^2) + (675 \times 10^{-9} I^3) \quad [Equação 2.4]$$

Como parte da metodologia adotada, considera-se que a evapotranspiração real é menor ou igual à evapotranspiração potencial ( $ETR \leq ETP$ ). Para o cálculo da evapotranspiração real é necessário estabelecer as relações com as taxas de precipitação, da seguinte forma:

- Se  $PPT > ETP$  então  $ETR = ETP$
- Se  $PPT < ETP$  então  $ETR = PPT$

As temperaturas médias mensais dos postos pluviométricos foram estimadas pelo Método de Regressão Linear utilizando o Programa CELINA (Versão 1.0)

desenvolvido pelo Laboratório de Climatologia do Departamento de Geografia do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará.

Para determinar a área de influência dos postos pluviométricos e, conseqüentemente, as características da área de estudo, foi utilizado o Método dos Polígonos de Thiessen. Tal método é usado para calcular a precipitação média de uma determinada superfície, sendo atribuído um fator de peso, definido a partir das áreas de influência dos postos pluviométricos existentes na região, aos totais precipitados medidos em cada um desses postos.

Quadro 1 - Fatores de K para correção da evapotranspiração potencial mensal segundo Thornthwaite, latitude entre 15° norte e 37° sul.

LAT.	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
15°N	0,97	0,91	1,03	1,04	1,11	1,08	1,12	1,08	1,02	1,01	0,95	0,97
10°N	1,00	0,91	1,03	1,03	1,08	1,05	1,08	1,07	1,02	1,02	0,98	0,99
5°N	1,02	0,93	1,03	1,02	1,06	1,03	1,06	1,05	1,01	1,03	0,99	1,02
EQ	1,04	0,94	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04
5°S	1,06	0,95	1,04	1,00	1,02	0,99	1,02	1,03	1,00	1,05	1,03	1,06
10°S	1,08	0,97	1,05	0,99	1,01	0,96	1,00	1,01	1,00	1,06	1,05	1,10
15°S	1,12	0,98	1,05	0,98	0,98	0,94	0,97	1,00	1,00	1,07	1,07	1,12
20°S	1,14	1,00	1,05	0,97	0,96	0,91	0,95	0,99	1,00	1,08	1,09	1,15
22°S	1,14	1,00	1,05	0,97	0,95	0,90	0,94	0,99	1,00	1,09	1,10	1,16
23°S	1,15	1,00	1,05	0,97	0,95	0,89	0,94	0,98	1,00	1,09	1,10	1,17
24°S	1,16	1,01	1,05	0,96	0,94	0,89	0,93	0,98	1,00	1,10	1,11	1,17
25°S	1,17	1,01	1,05	0,96	0,94	0,88	0,93	0,98	1,00	1,10	1,11	1,18
26°S	1,17	1,01	1,05	0,96	0,94	0,87	0,92	0,98	1,00	1,10	1,11	1,18
27°S	1,18	1,02	1,05	0,96	0,93	0,87	0,92	0,97	1,00	1,11	1,12	1,19
28°S	1,19	1,02	1,06	0,95	0,93	0,86	0,91	0,97	1,00	1,11	1,13	1,20
29°S	1,19	1,03	1,06	0,95	0,92	0,86	0,90	0,96	1,00	1,12	1,13	1,20
30°S	1,20	1,03	1,06	0,95	0,92	0,85	0,90	0,96	1,00	1,12	1,14	1,21
31°S	1,20	1,03	1,06	0,95	0,92	0,85	0,90	0,96	1,00	1,12	1,14	1,22
32°S	1,21	1,03	1,06	0,95	0,91	0,84	0,89	0,95	1,00	1,12	1,15	1,23
33°S	1,22	1,04	1,06	0,94	0,90	0,83	0,88	0,95	1,00	1,13	1,16	1,23
34°S	1,22	1,04	1,06	0,94	0,89	0,82	0,87	0,84	1,00	1,13	1,16	1,24
35°S	1,23	1,04	1,06	0,94	0,89	0,82	0,87	0,94	1,00	1,13	1,17	1,25
36°S	1,24	1,04	1,06	0,94	0,88	0,81	0,86	0,94	1,00	1,13	1,17	1,26
37°S	1,25	1,05	1,06	0,94	0,88	0,80	0,86	0,93	1,00	1,14	1,18	1,27

Fonte: Villela, 1975

A metodologia proposta por Thiessen (1911) consiste em:

- ✓ Unir os postos pluviométricos por trechos retilíneos;
- ✓ Traçar linhas perpendiculares aos trechos retilíneos sobre a mediatriz da linha que liga os postos;
- ✓ Alongar as linhas perpendiculares até encontrar outra mediatriz;
- ✓ O polígono de Thiessen é formado pela interseção das linhas das matrizes, correspondendo à área de influência de cada posto pluviométrico.

A área de influência possui um peso perante a área total, sendo calculada a partir da Equação 2.5.

$$w_i = \frac{A_i}{A} \quad [\text{Equação 2.5}]$$

Onde:

- $w_i$  - É o fator de peso;
- $A_i$  - Área de influência da estação;
- $A$  - Área total da bacia hidrográfica/área de estudo.

A precipitação média é calculada a partir da Equação 2.6.

$$\bar{P} = \frac{\sum P_i \cdot A_i}{\sum A_i} \quad [\text{Equação 2.6}]$$

Onde:

- $\bar{P}$  - Precipitação média na bacia/área (mm);
- $P_i$  - Precipitação na estação;
- $A_i$  - Área de interseção entre o polígono  $i$  e a bacia hidrográfica;
- $A$  - Área total da bacia/área de estudo

O mapeamento da vulnerabilidade natural dos aquíferos é o primeiro passo na avaliação do risco de poluição das águas subterrâneas.

A vulnerabilidade de um aquífero à contaminação pode ser determinada através de diversos métodos, alguns dos mais utilizados são DRASTIC, AVI e GOD. Para o município de Limoeiro do Norte, a avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos foi realizada utilizando-se a metodologia GOD.

Esta metodologia foi desenvolvida em 1988 por Foster e Hirata para o Programa Regional de Prevenção e Controle de Poluição das Águas Subterrâneas do Centro Pan Americano de Engenharia Sanitária e Ciências Ambientais (CEPIS). Atualmente essa metodologia é bastante utilizada no Caribe e América Latina devido sua simplicidade conceitual e de aplicação, tendo em vista que as informações necessárias à sua aplicação podem ser adquiridas em estudos básicos de hidrogeologia. Sua aplicabilidade está baseada na avaliação de dois parâmetros principais: o nível de acessibilidade hidráulica da zona saturada, que depende do grau de confinamento do aquífero e da profundidade do nível estático; e a capacidade de atenuação dos contaminantes ao longo do estrado acima da zona saturada, que depende das características litológicas e do grau de consolidação, com a presença de fraturas e porosidade primária.

Os parâmetros utilizados por esse método e que também dão origem a sigla GOD, são:

- ***Groundwater Confinement*** - Grau de confinamento do aquífero, que pode ser classificado em confinado não drenante, confinado drenante e não confinado;
- ***Overlying Strata*** - Constituição litológica e grau de consolidação, porosidade e fraturamento da zona não saturada ou camada confinante;
- ***Depth Groundwater*** - Profundidade do nível d'água (nível estático) ou base confinante do aquífero.

Neste método todos os parâmetros possuem a mesma significância e apresentam valores que variam de 0 a 1. Os parâmetros são divididos em índices de classificação, por meio de intervalos determinados de acordo com as características específicas. O índice de vulnerabilidade é obtido pelo produto dos índices de classificação estabelecidos para cada parâmetro, conforme a Equação 2.7:

$$\text{Índice de Vulnerabilidade} = G_i \times O_i \times D_i \quad [\text{Equação 2.7}]$$

O valor obtido é comparado com as faixas de vulnerabilidade proposta pelo método, que variam de 0 a 1, e classifica o aquífero desde a vulnerabilidade insignificante até a vulnerabilidade extrema (Quadro 2); e o sistema para classificação da vulnerabilidade dos aquíferos pelo método GOD é apresentado na Figura 2.

Quadro 2 - Classificação dos graus de vulnerabilidade GOD

<b>Grau de Vulnerabilidade</b>	<b>Definição</b>	<b>Índice</b>
Insignificante	Camadas confinantes sem percolação significativa, exceto em zonas de fraturas (sais e nitratos)	0 - 0,1
Baixa	Somente vulnerável a contaminantes persistentes em longo prazo, quando continua e amplamente lançados e lixiviados (sais e nitratos)	0,1 - 0,3
Moderada	Vulnerável a alguns poluentes quando continuamente lançados e lixiviados (sais, nitratos e hidrocarbonetos)	0,3 - 0,5
Alta	Vulnerável a muitos poluentes, exceto os poucos móveis e persistentes (hidrocarbonetos, compostos aromáticos, bactérias, vírus, sais e nitratos)	0,5 - 0,7
Extrema	Vulnerabilidade a muitos poluentes, incluindo os degradáveis, com rápido impacto em muitos cenários de contaminação (pesticidas, metais pesados, hidrocarbonetos, compostos aromáticos, bactérias, vírus, sais e nitratos)	0,7 - 1,0

Fonte: Adaptado de Hirata e Fernandes, 2008

## 2.1 Localização e acesso

O município de Limoeiro do Norte está situado na região do baixo Jaguaribe, fração nordeste do estado do Ceará, limitando-se com os seguintes municípios: ao Norte: Quixeré e Russas; ao Sul: Tabuleiro do Norte; a Leste: Estado do Rio Grande do Norte (Serra do Apodi) e Quixeré; a Oeste: Morada Nova e São João do Jaguaribe, compreendendo 771 km<sup>2</sup> (Figura 3).

A partir de Fortaleza o acesso ao município de Limoeiro do Norte pode ser realizado por via terrestre, através da rodovia (BR-116) no trajeto Fortaleza/Jaguaribe até a localidade de Flores, tomando-se a CE-458 e CE-358, consecutivamente até a sede municipal.

Figura 2 - Fluxograma para avaliação da vulnerabilidade de aquíferos pelo método GOD

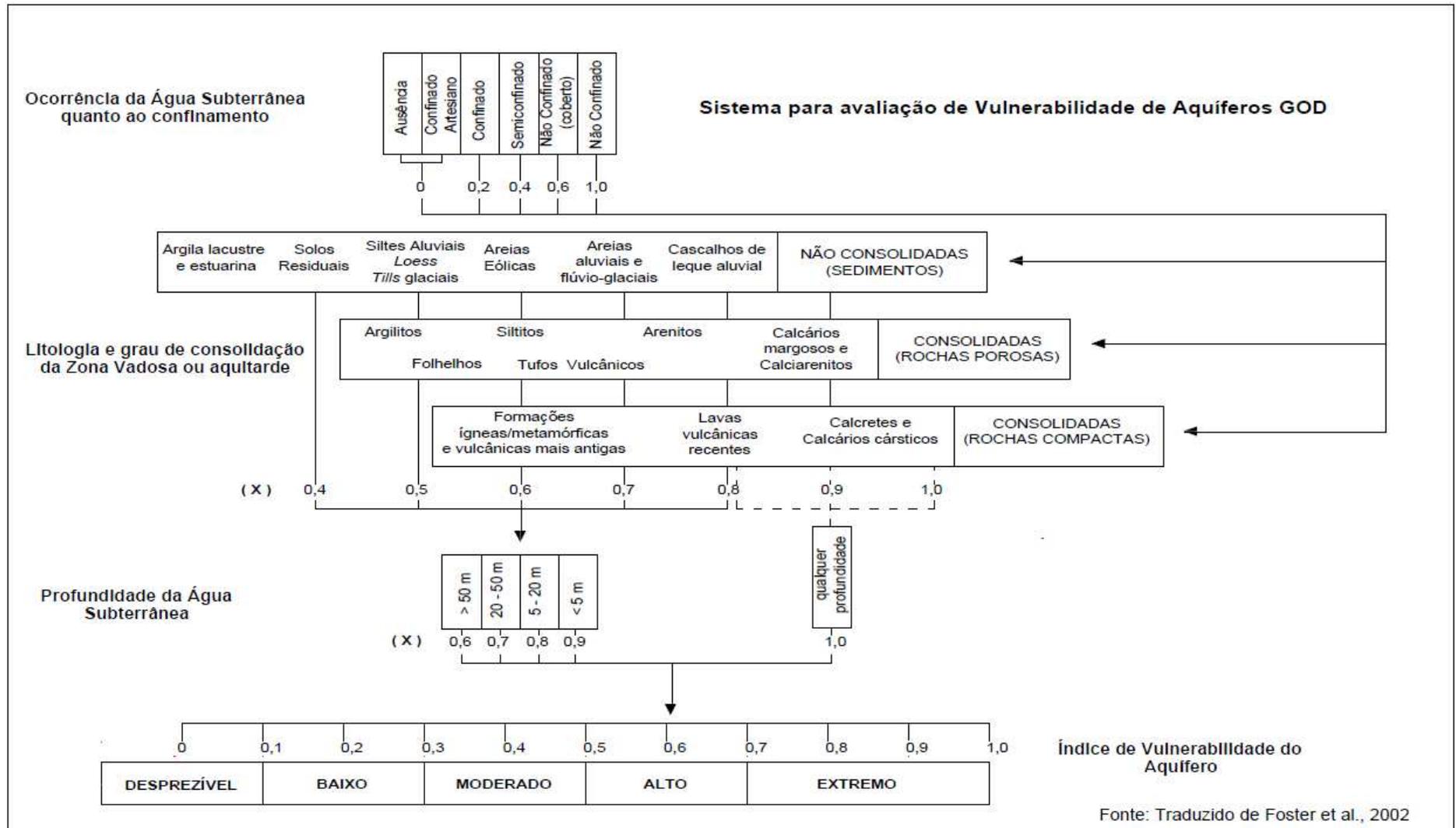
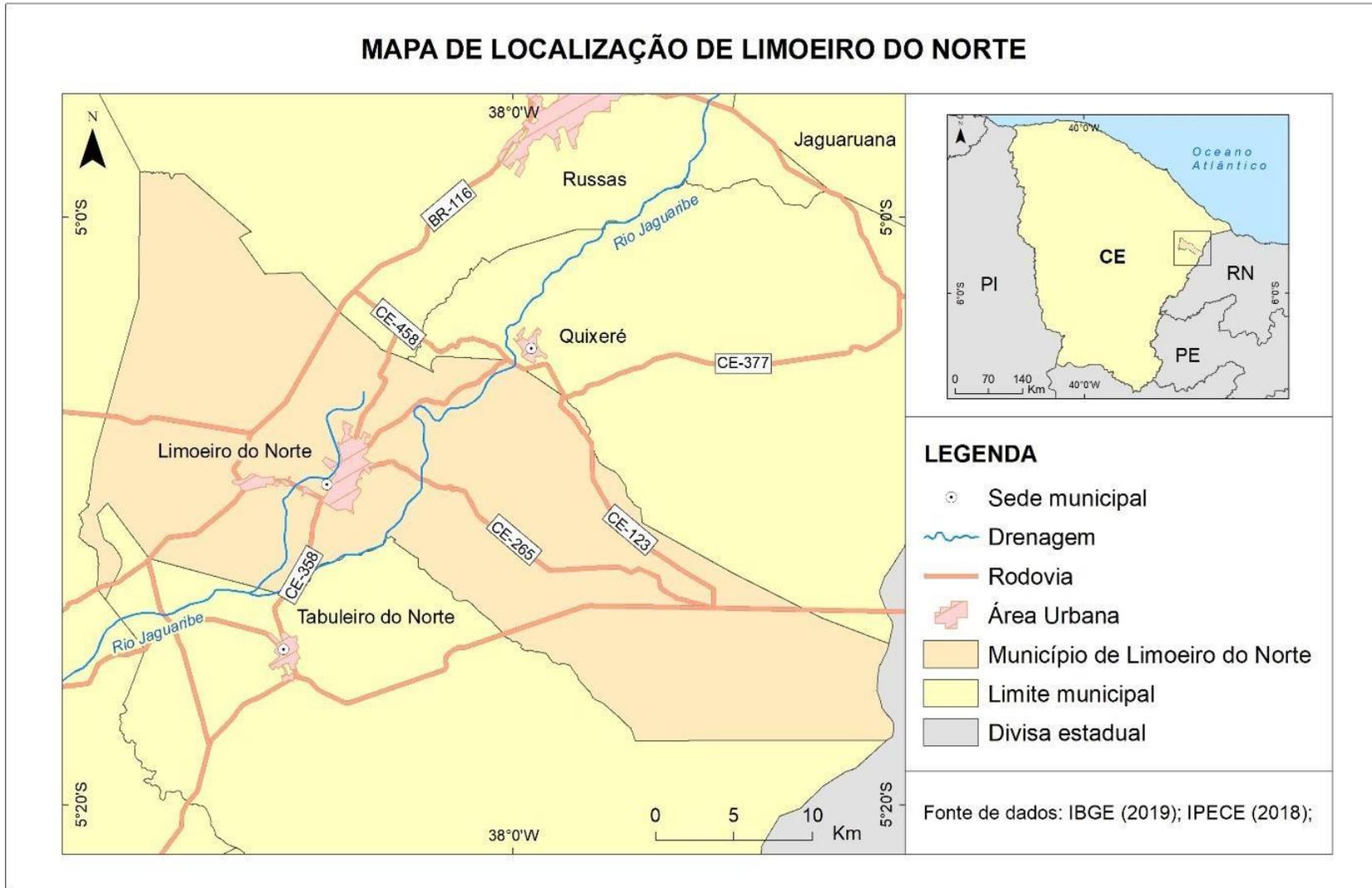


Figura 3 - Localização do município de Limoeiro do Norte - Ceará



Fonte: O Autor, 2023.

### **3 ASPECTOS GEOAMBIENTAIS DE LIMOEIRO DO NORTE**

A análise das condições naturais do ambiente é de fundamental importância para o desenvolvimento de estudos hidrogeológicos, onde a interação entre as diversas características ambientais se reflete diretamente na disponibilidade, qualidade hídrica e no comportamento dos sistemas aquíferos.

#### **3.1 Clima**

De acordo com a classificação climática de Köppen (1948), o clima do município de Limoeiro do Norte é do tipo BSW'h' (clima muito quente, semiárido com estação chuvosa atrasada para outono). Segundo o IPECE (2023) o município apresenta duas estações bem distintas: a seca e a chuvosa, sendo esta, ocorrendo principalmente entre os meses de fevereiro a maio.

Segundo Fenzl (1988), fatores climáticos tais como precipitação, evapotranspiração, variações de temperatura etc, influenciam consideravelmente na química das águas subterrâneas, através de processos de diluição, concentração ou aumento da solubilidade.

Os dados climatológicos obtidos junto a FUNCEME (2023), com os postos pluviométricos da área de pesquisa, serão abordados em item posterior desta Dissertação.

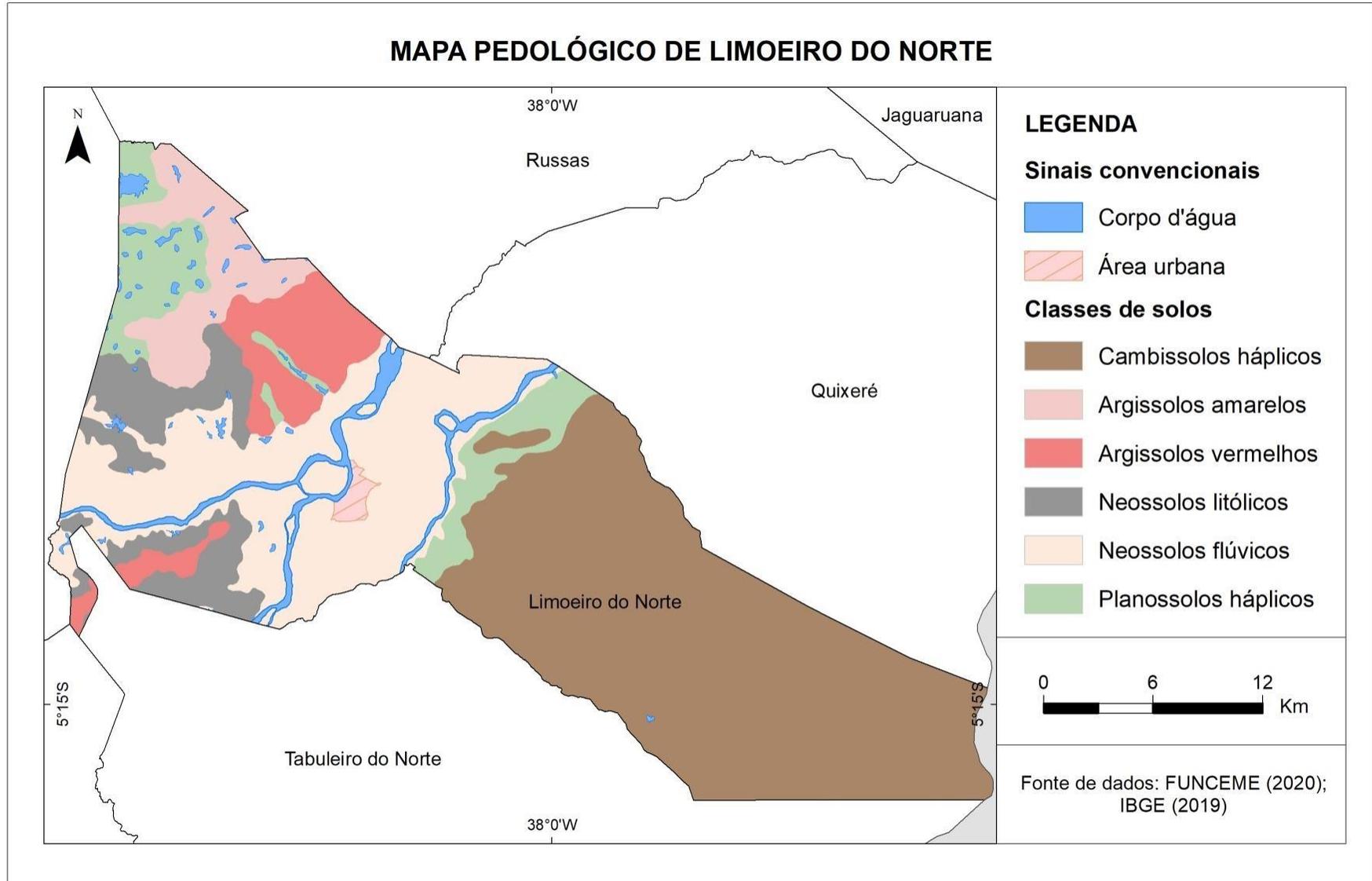
#### **3.2 Solos**

Os solos do município são representados pelos Argissolos, Cambissolos e Neossolos (IPECE, 2023) (Figura 4).

Os Argissolos compreendem solos constituídos por material mineral que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixas ou com caráter alumínico. São de profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenados, de cores avermelhadas e, mais raramente, brunadas ou acinzentadas. A textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito

argilosa no horizonte Bt, sempre havendo aumento de argila de A para Bt, forte a moderadamente ácidos, com saturação por bases alta ou baixa, predominantemente caulíníticos e com relação Ki, em geral, variando de 1,0 a 3,3 (EMBRAPA, 2018).

Figura 4 - Mapa pedológico do município de Limoeiro do Norte, Ceará



Os Cambissolos compreendem solos constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, desde que em qualquer dos casos não satisfaçam aos requisitos estabelecidos para serem enquadrados nas classes Vertissolos, Chernossolos, Plintossolos e Organossolos. Têm sequência de horizontes A ou hístico, Bi, C, com ou sem R (EMBRAPA, 2018).

Os Neossolos compreendem solos constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso que não apresenta alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, seja em razão de características inerentes ao próprio material de origem (como maior resistência ao intemperismo ou composição químico-mineralógica), seja em razão da influência dos demais fatores de formação (clima, relevo ou tempo), que podem impedir ou limitar a evolução dos solos (EMBRAPA, 2018).

### **3.3 Vegetação**

A vegetação predominante em Limoeiro do Norte é a de pequeno porte e do tipo caatinga arbustiva densa, com trechos mais arbóreos e espinhosos, e floresta mista dicótilo-palmácia (na mata ciliar com carnaúba e dicotiledôneas). Os vegetais mais comuns são o pereiro, jucá, jurema, pau-branco, aroeira, catingueira, juazeiro, além de variedades de cactos como o mandacaru, o xiquexique, a palma, entre outros (IPECE, 2023).

#### **➤ Caatinga Arbustiva Densa**

A caatinga arbustiva densa constitui formações típicas do semiárido. Ocupa os solos derivados das rochas da Bacia Potiguar (Chapada do Apodi) e aqueles que possuem rochas do embasamento como materiais de origem, na depressão sertaneja. Esse padrão fisionômico, contudo, tem sido fortemente degradado para fins de utilização agropecuária e isso tendo repercutido negativamente na aceleração da erosão dos horizontes superficiais dos solos. Na proporção em que

as condições ambientais apresentam maiores limitações, as caatingas assumem um padrão fisionômico arbustivo denso e aberto e com ocorrência eventual de espécies arbóreas. Em alguns pontos do litoral, precisamente em Aracati e Icapuí, as características da caatinga atingem, praticamente, a linha de costa. Apresenta assim, uma notável frequência de cretáceas e de outras espécies xerófilas (SILVA, 2011).

➤ Floresta Mista Dicótilo Palmácia (Mata ciliar com carnaúba dicotiledôneas)

A floresta mista dicótilo palmácea, denominada mata ciliar, compreende o carnaubal e a vegetação ribeirinha. O carnaubal é a vegetação representada pela carnaúba (*Copernicia prunifera*) compondo formações florestais devido a uma melhoria das condições oferecidas pelas partes marginais dos rios com solos aluviais férteis e detentores de melhores condições de umidade, ocorrendo ao longo das aluviões do rio Jaguaribe (CARDOSO, *op. cit.*).

### 3.4 Geomorfologia

O município de Limoeiro do Norte, segundo IPECE (2023), tem como principais unidades geomorfológicas a superfície estrutural da Chapada do Apodi, que se estende para o estado do Rio Grande do Norte, a Planície Aluvial e a Depressão Sertaneja.

As Chapadas do Litoral Norte são constituídas por sedimentos cretáceos das formações do Grupo Apodi, com um capeamento de sedimentos do Grupo Barreiras, próximo ao litoral. Nos declives para o Rio Jaguaribe o material é areno-argiloso de cor vermelha, contendo fragmentos de quartzos. Sobre a parte plana existe algumas depressões rasas, com água, ocupadas por carnaúbais. Os efeitos dos processos de erosão acelerada pela ação do homem são observados em torno das plantações e das áreas de exploração de calcários. Estes efeitos se traduzem pela presença de sulcos e ravinas incipientes.

No conjunto, a Chapada constitui um típico relevo de *cuestas*, de altura não muito pronunciada, com o front voltado para a depressão do vale do Jaguaribe. Essa

encosta está a sotavento, e como todo o município, se insere no Domínio Morfoclimático Semiárido, onde a morfogênese mecânica tem primazia.

Próximo a cidade de Limoeiro do Norte, o rio Jaguaribe divide-se em dois: a esquerda o Jaguaribe propriamente dito e a direita o rio Quixeré. Juntos formam a Planície Aluvial do Baixo Jaguaribe estendendo-se até o Oceano Atlântico, cobrindo uma superfície aproximada de 800 km<sup>2</sup> (BRASIL, 1967).

No Município de Limoeiro do Norte, o rio Quixeré corre paralelo e sobreposto à Chapada do Apodi. O Rio Jaguaribe propriamente dito corre a oeste da Planície, onde as aluviões estão em contato com o embasamento cristalino banhando várias localidades do Município, inclusive a cidade de Limoeiro do Norte.

Em Limoeiro do Norte e municípios adjacentes, a Depressão Sertaneja dificilmente é observada perifericamente, correspondendo segundo BRASIL (1981) à Depressão Pré-Litorânea. Esta se dispõe à retaguarda dos tabuleiros costeiros e se estende na direção ocidental do município em largas extensões fora dos seus limites. O Rio Jaguaribe tem grande parte de seu curso na Depressão Sertaneja, apresentando-o retilíneo devido a influências estruturais relacionados aos falhamentos. Ao longo de suas margens desenvolveu-se uma faixa estreita de planície, observando trechos de terraços ao longo do rio.

### **3.5 Hidrografia**

O município de Limoeiro do Norte está inserido nas Bacias Hidrográficas do Baixo, Médio Jaguaribe e Banabuiú.

A Sub-bacia do Baixo Jaguaribe localiza-se na porção oriental do Estado do Ceará limitando-se com o Estado do Rio Grande do Norte a leste, o Oceano Atlântico ao norte, as Bacias Metropolitanas à oeste e ao sul e sudoeste com as Sub-bacias do Médio Jaguaribe e Banabuiú, respectivamente. Das cinco sub-bacias que compõem a Bacia do Jaguaribe, ela é a de menor área (INESP, 2009).

O rio Jaguaribe é o principal rio desta Sub-bacia drenando 7.021 km<sup>2</sup>, e situa-se no trecho entre a localidade de Peixe Gordo, onde este rio cruza a rodovia BR 116, até a sua foz, percorrendo um curso total de 137 km, com um desnível de 40m. Sua área equivale a 4% do território cearense (INESP, 2009).

A Sub-bacia do Baixo Jaguaribe drena as áreas de 13 (treze) municípios, sendo

quatro integralmente: Icapuí, Itaiçaba, Jaguaruana, Quixeré e, parcialmente, os demais, sendo eles: Alto Santo (0,31%), Aracati (91,03%), Fortim (34,39%), Ibicuitinga (40,32%) Limoeiro do Norte (70,77%), Morada Nova (19,38%), Palhano (59,53%), Russas (96,01%) e Tabuleiro do Norte (77,82%) (INESP, 2009).

A Sub-bacia do Médio Jaguaribe é uma das cinco sub-bacias que compõem a Bacia do Jaguaribe, fazendo, inclusive, fronteira com todas as demais. Localiza-se na porção leste do Estado do Ceará e limita-se, em sua porção oriental, com o Estado do Rio Grande do Norte. O rio Jaguaribe é o principal rio desta sub-bacia drenando 10.335 km<sup>2</sup>, e situa-se no trecho entre o açude Orós e a localidade de Peixe Gordo, onde este rio cruza a rodovia BR 116, percorrendo um curso de 171 km. Sua área equivale a 13% do território cearense (INESP, 2009).

Neste trecho, o rio Jaguaribe possui como principais afluentes pela margem direita o rio Figueiredo e pela margem esquerda, os riachos Manuel Dias Lopes e do Sangue, e declividades que variam de 0,02% a 0,83%, sendo a média 0,06%. A Sub-bacia do Médio Jaguaribe ocupa 9 (nove) municípios integralmente: Alto Santo, Deputado Irapuan Pinheiro, Ererê, Iracema, Jaguaribe, Pereiro, Potiretama, São João do Jaguaribe, Solonópole e 07 (sete) parcialmente, Icó (40,15%), Jaguaribara (91,79%), Jaguaretama (58,12%), Limoeiro do Norte (1,15%) Milhã (56,44%), Orós (7,31%) e Tabuleiro do Norte (21,47%).

A Sub-bacia do rio Banabuiú compreende, essencialmente, os sertões centrais do Ceará mais fortemente submetidos aos rigores da semiaridez. Por sua localização central, limitase com quase todas as Bacias do Estado, excetuando-se as bacias do Coreaú, do Litoral e a sub-bacia do Salgado. É uma das cinco Sub-bacias que compõem a Bacia do Jaguaribe (INESP, 2009).

O rio Banabuiú é o mais importante rio desta Sub-bacia, drenando 19.810 km<sup>2</sup>, desenvolve-se no sentido oeste-leste, percorrendo um curso de 314 km, até desaguar no rio Jaguaribe nas proximidades da cidade de Limoeiro do Norte. Sua área equivale a 13% do território cearense (INESP, 2009).

A Sub-bacia do Banabuiú ocupa 15 (quinze) municípios: Banabuiú, Boa Viagem, Ibicuitinga, Itatira, Madalena, Mombaça, Monsenhor Tabosa, Morada Nova, Pedra Branca, Piquet Carneiro, Quixadá, Quixeramobim, Senador Pompeu, Limoeiro do Norte e Milhã, estes dois últimos drenados parcialmente (INESP, 2009).

### 3.6 Geologia

O município de Limoeiro do Norte é recoberto pelas manchas aluvionares, litotipos o Grupo Apodi (calcários com nível de arenitos) e o Complexo Nordeste (embasamento cristalino) (Figura 5).

As aluviões predominam na maior parte do Vale do Jaguaribe e em Limoeiro do Norte eles estão associados aos rios Quixeré, Jaguaribe, Banabuiú e Riacho Seco, formando uma vasta planície entre a Chapada do Apodi e o substrato cristalino.

A partir da junção dos rios Jaguaribe e Banabuiú (próximo a Limoeiro do Norte) as aluviões do Baixo Jaguaribe tomam importância total atingindo uma largura de mais de 10 km (BRASIL, 1967). Estas aluviões constituem uma zona extremamente plana, como testemunha o curso percorrido pelo Rio Jaguaribe, com a existência de numerosos meandros, muitas vezes erodidos. Segundo ainda o mesmo autor, sua composição litológica é constituída de areias finas, areias grosseiras, cascalhos inconsolidados e argilas com matéria orgânica em acelerado processo de decomposição. Estendem-se da margem direita do rio Quixeré até o Rio Grande do Norte, compreendendo mais de 50% do município, constituindo a borda da Bacia Potiguar.

Oliveira & Leonardo (1943) percorreram toda a bacia, denominando de "Grupo Apodi" o conjunto de rochas cretáceas aflorantes, segundo BRASIL (1981). O primeiro mapeamento geológico de reconhecimento foi realizado por Kreidle & Andery (1950), onde o grupo Apodi foi subdividido em Arenito Açú, correspondente ao pacote de clásticos basais, enquanto as camadas carbonáticas sobrepostas foram denominadas de calcário Jandaíra, calcário Apodi ou Formação Apodi (KEGEL, 1957).

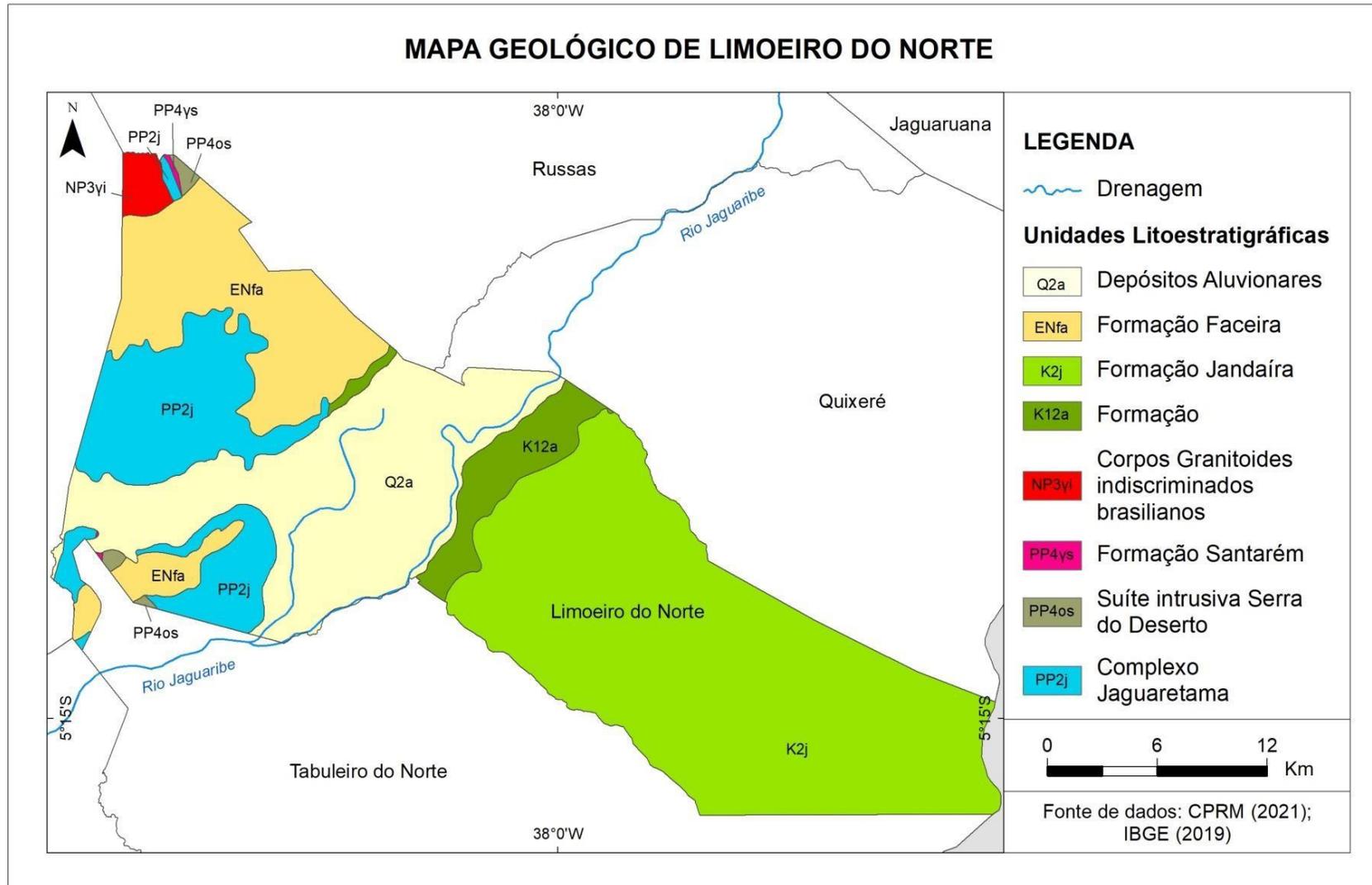
- *Formação Jandaíra*

Proposta por Sampaio e Schaller (1968) apud Angelim (2006) e Santos et al. (1984) para designar a seção de rochas carbonáticas de alta energia sobreposta aos arenitos da Formação Açú. A Formação Jandaíra datada, a partir do seu conteúdo fóssilífero, como Cretácea Superior (Turoniano ao Ecompanioniano/80 milhões de anos) é composta de calcarenito com bioclastos de moluscos, algas verdes, briozoários e equinóides, ocorrendo também calcilutitos com marcas de raízes, dismicritos e gretas de contração. A Formação Jandaíra possui uma grande variação litológica tanto

vertical como horizontal composta por calcários cinza claros e cremes, margas, siltitos, folhelhos, argilitos e dolomitos, abrangendo uma área aflorante de cerca, de 1.498,7 km<sup>2</sup>.

Esta formação é recoberta por rochas sedimentares cenozóicas da Formação Barreiras. O ambiente deposicional é caracterizado como uma planície de maré, laguna rasa, plataforma rasa e mar aberto. O contato inferior desta formação é concordante com a Formação Açú.

Figura 5 - Unidades litológicas de Limoeiro do Norte, Ceará



As mineralizações associadas a esta formação constam de calcários calcíticos e magnesianos, depósitos de gipsita e de argilito. Os calcários são utilizados na fabricação de cimento, enquanto que os dolomitos são usados para corretivo de solos na agricultura, bastante presente na área, e como ração animal. A argila é utilizada na indústria de cerâmica, na fabricação de telhas e tijolos.

De acordo com BRASIL (1967), em Limoeiro do Norte a Formação Jandaira ocorre em três níveis. O primeiro nível apresenta arenito fino, cinzento, estratificado, cimento calcário cuja granulometria parece aumentar para Ouixeré. O segundo nível é parecido com arenito arroxado de grãos finos arredondados, friável, com estratificação cruzada, e por argila dura. O terceiro nível mais compacto e maciço caracteriza-se pela presença de calcário maciço, amarelado, com intercalações argilosas e arenosas de dureza variável, pouco fossilífero, e às vezes de calcário cinza duro em bancos finos, afossilífero ou fossilífero.

- Formação Açú

A Formação Açú, de idade Cretácea Inferior (Albiano Cenomaniano/100 milhões de anos), foi definida por Kreidler & Andrey (1949) e formalizada por Sampaio & Schaller (1968) apud Angelim (2006) e Santos et al. (1984) para designar espessas camadas de arenito médio a grosso, esbranquiçado, intercalado com folhelho e argilito verde claro e siltitos castanho avermelhado, com registros de até 1.000 metros de espessura.

A Formação Açú aflora em 1.021 km<sup>2</sup> e apresenta um contato inferior discordante e erosivo com a Formação Alagamar e interdigita-se lateralmente com as rochas das formações Ponta do Mel e Quebradas, estando sotopostos concordantemente com as rochas carbonáticas da Formação Jandaíra.

Essa formação constitui, em sua maioria, a zona de recarga das águas subterrâneas da Bacia Potiguar. Suas águas, explotadas como água mineral, são utilizadas em hotéis, para abastecimento público e na agricultura irrigada. Segundo Cardoso (2006), a Formação Açú corresponde ao pacote sedimentar clástico basal da Bacia Potiguar, situada entre o embasamento cristalino e a base da escarpa que delimita seu contato com a Formação Jandaíra.

A primeira tentativa de divisão estratificada das rochas Pré-Cambrianas da região Nordeste coube a Crandall (1910) segundo BRASIL, (1981) que se baseou em

critérios puramente litológicos. Ele reconheceu uma sequência de antigos xistos argilosos com quartzitos, arenitos e calcários transformados em mármore, que se denominou de "Série Ceará", e um "Complexo Fundamental" composto de gnaisses e outros xistos cristalinos. Observa-se que o Complexo Nordestino abarca denominações como: Complexo Fundamental, Complexo Cristalino, Complexo Caicó e Complexo Gnaíssico - migmatítico, segundo BRASIL (1981). Este substrato metamórfico aflora em extensas lages a oeste do município de Limoeiro do Norte, principalmente no distrito de Bixopá. Na região observa-se uma massa migmatítica, granito concordante, sobre a qual aparecem faixas de micaxistos em sinclinais. Afloramentos de quartzitos nos levam a supor a continuação das séries xistosas sob o recobrimento das aluviões (BRASIL, 1967).

### 3.7 Hidrogeologia

Segundo Feitosa *et al* (1998), o município de Limoeiro do Norte apresenta três domínios hidrogeológicos distintos: (1) Rochas do embasamento cristalino do Pré-Cambriano indiviso; (2) Sedimentos detríticos conglomeráticos a areno-argilosos do Terciário/Quaternário, além de arenitos e calcários do Mesozóico; e (3) Coberturas Aluvionares Quaternárias, representados por sedimentos areno-argilosos que ocorrem margeando os principais cursos d'água que drenam a região, a exemplo os rios Jaguaribe e Quixeré.

Para a região estudada, as rochas sedimentares são as mais importantes como aquífero. Caracterizam-se por possuir uma elevada porosidade primária e uma elevada permeabilidade, assim, essa unidade apresenta excelentes condições de armazenamento e fornecimento d'água. A Formação Açu, formada por arenitos grossos, é considerada a unidade hidrogeológica mais importante e mais perfurada para o abastecimento, onde a sua porção inferior detém as maiores reservas de água, constituindo o aquífero Açu. Além da Formação Açu ocorrem, também, os calcários da Formação Jandaíra, constituindo um meio cárstico, onde o armazenamento e a circulação de água ocorrem em fissuras e cavidades oriundas da dissolução dessas rochas (FEITOSA *et al*, 1998).

As rochas cristalinas representam o que é denominado comumente de "aquífero fissura". Como basicamente não existe uma porosidade primária nesse tipo

de rocha, a ocorrência da água subterrânea é condicionada por uma porosidade secundária representada por fraturas e fendas, o que se traduz por reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão. Dentro deste contexto, em geral, as vazões produzidas por poços são pequenas e a água, em função da falta de circulação e dos efeitos do clima semi-árido é, na maior parte das vezes, salinizada. Essas condições atribuem um potencial hidrogeológico baixo para as rochas cristalinas sem, no entanto, diminuir sua importância como alternativa de abastecimento em casos de pequenas comunidades ou como reserva estratégica em períodos prolongados de estiagem (FEITOSA *et al*, 1998).

Os depósitos aluvionares são representados por sedimentos areno-argilosos recentes, que ocorrem margeando as calhas dos principais rios e riachos que drenam a região, e apresentam, em geral, uma boa alternativa como manancial, tendo uma importância relativa alta do ponto de vista hidrogeológico, principalmente em regiões semiáridas com predomínio de rochas cristalinas. Normalmente, a alta permeabilidade dos termos arenosos compensa as pequenas espessuras, produzindo vazões significativas (FEITOSA *et al*, 1998).

#### **4 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS**

Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), o município de Limoeiro do Norte, criado em 1968, possui uma população estimada em 2021 de 60.232 habitantes distribuídos em 744,52 km<sup>2</sup>. Isto significa uma densidade demográfica de 79,97 hab./km<sup>2</sup>, colocando-o no 42<sup>a</sup> do ranking de densidade demográfica dos municípios do estado do Ceará. No período compreendido entre os anos de 2014 - 2021, a taxa média anual de crescimento da população de Limoeiro do Norte foi de 0,52%. De acordo com dados do último Censo Demográfico realizado pelo IBGE (2010), 57,73% da população de Limoeiro do Norte residia em áreas urbanas. Neste mesmo ano, os homens representavam 49,01% da população e as mulheres, 50,99%.

No ano de 2020 o PIB *per capita*, em valores correntes, foi de R\$ 20.414,96, tornando-se o 13<sup>o</sup> maior PIB do Ceará. Entretanto, o IDH do município é de 0,682, o que confere a Limoeiro do Norte o 16<sup>o</sup> lugar no ranking estadual do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. O valor do rendimento médio domiciliar *per*

*capita* dos domicílios de Limoeiro do Norte alcançou o patamar de R\$468,56 - o que lhe conferiu a 11<sup>a</sup> posição no ranking de melhor rendimento médio do Ceará. A composição econômica do município corresponde ao setor terciário (44,82%), seguido pelo setor primário (42,94%) e, em menor proporção, o setor secundário (14,29%) (IBGE, 2020).

Com aproximadamente 17.143 domicílios, o município dispõe de abastecimento de água e serviço de esgoto (CAGECE), com uma taxa de cobertura de saneamento de 22% e de água de 87%. Conta com fornecimento de energia elétrica (Enel), serviço telefônico fixo e móvel, serviço de internet público e privado, telégrafos, agência de Correios, agências bancárias (Caixa Econômica Federal, Banco Bradesco, Banco do Brasil, Banco do Nordeste e Sicredi), supermercados, unidades de segurança, unidades de saúde, unidades de educação, pousadas, hotéis, clubes, boates, parque florestal, praças, *skate park* e estádio de futebol. Possui, também, uma rodoviária, localizada no centro da cidade, com linhas diárias de ônibus para a capital do estado, Fortaleza, entre outras cidades. O município possui, ainda, um aeroporto (Aeroporto de Limoeiro do Norte) localizado na Chapada do Apodi, zona rural do município (IPECE, 2022).

No que diz respeito a educação, o município dispões de uma academia de letras (Academia Limoeirense de Letras - ALL), biblioteca municipal (Dr. João Eduardo Neto) e um núcleo do NIT (Núcleo de Informação Tecnológica) com museu e biblioteca, uma rede de ensino infantil, ensino fundamental e ensino médio. Em 2020, a taxa de abandono escolar (evasão) no Ensino Fundamental era de 0,4 nos anos iniciais (até o 5<sup>o</sup> ano) e 0,6 nos anos finais (do 6<sup>o</sup> ao 9<sup>o</sup> ano), nos índices do IDEB - 2019, sobre o desenvolvimento da educação básica ficou com a média 6,4 nos anos iniciais (até o 5<sup>o</sup> ano), nota 5,6 nos anos finais (do 6<sup>o</sup> ao 9<sup>o</sup> ano) e nota 5,1 no Ensino médio (IBGE, 2023).

## **5 BALANÇO HIDROCLIMATOLÓGICO**

A avaliação do balanço hidroclimatológico é de fundamental importância para se definir a disponibilidade hídrica de uma região, permitindo estabelecer diretrizes para a implementação de políticas de gestão deste recurso (HORIKOSHI; FISCH, 2007; SANTOS *et al*, 2010); no entanto, além da precipitação, deve-se admitir o

retorno da água à atmosfera através da evaporação e transpiração das plantas e, portanto, a água disponível no solo é proveniente da interação desses dois fatores.

O balanço hidroclimatológico tem por objetivo estimar um saldo entre o aporte e a saída de água de um determinado sistema, sendo realizado por meio de um balanço de massa onde se torna possível, entre outras atividades, avaliar as variações anuais do nível estático (CASTANY, 1975). No caso dos aquíferos livres, o balanço mostra-se importante para o cálculo dos valores de precipitação pluviométrica que podem ser considerados como o volume de recarga dos aquíferos, conforme proposto em Lerner *et al* (1990), onde a recarga foi definida como o fluxo descendente de água que alcança o aquífero, gerando adição hídrica ao reservatório de água subterrânea.

## 5.1 Postos Pluviométricos

Segundo a FUNCEME (2023), no município de Limoeiro do Norte existem 03 postos pluviométricos ativos, com séries históricas passíveis de utilização, com dados referentes ao período de 1974 à 2022 (Quadro 3).

Quadro 3 - Postos pluviométricos no município de Limoeiro do Norte - Ceará

POSTO	CÓDIGO	LONGITUDE	LATITUDE	PERÍODO	STATUS ATUAL
Limoeiro do Norte	81	599922	9430475	1974 à 2022	Ativo
Bixopa	194	588373	9448458	1999 à 2022	Ativo
Sítio Malhada	418	600358	9436091	1988 à 2022	Ativo

Fonte: Funceme, 2023

## 5.2 Balanço Hidroclimatológico pelo Método de Thornthwaite e Mather (1955)

Para o balanço hidroclimatológico é necessário se estabelecer o valor da capacidade de armazenamento do solo (CA), sendo este arbitrado considerando-se as características físicas dos solos. Segundo Castany (1975), solos arenosos apresentam uma capacidade de retenção de 50 mm e solos argilosos de 200 mm. Na ausência de valores medidos utilizou-se, aqui, o valor de 100 mm como sendo o valor

de CA.

A ETR é determinada para cada um dos meses do ano, considerando-se a retenção de água no solo CA, as médias mensais de precipitação PPT e os valores de ETP, calculados para a série de anos utilizada na determinação das médias mensais de precipitação e temperatura. Com a ETR e a PPT chega-se a uma estimativa para a infiltração estimada (Ie) que corresponde à quantidade da água de precipitação disponível para a recarga subterrânea.

A realização do cálculo do balanço hidroclimatológico é de fundamental importância em um estudo hidrogeológico, pois as variações climáticas que ocorrem no decorrer do ano, podem afetar tanto os aspectos qualitativos como o quantitativo das águas subterrâneas, a exemplo; em períodos chuvosos os agentes poluidores tentem a ser diluídos, tendo conseqüentemente, suas concentrações reduzidas nas águas, pois nesse período ocorrem as recargas dos aquíferos, já em períodos de estiagem, essa concentração tende a aumentar, pois a falta de chuvas e o constante aporte de agentes contaminantes favorecem ao aumento na concentração de elementos nas águas subterrâneas (OLIVEIRA, 2023).

O cálculo do balanço hidroclimatológico da área teve como base a metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955), sendo aplicado para os três (3) postos pluviométricos de Limoeiro do Norte, onde foi possível estimar a quantidade de água que naturalmente entra e sai do sistema.

### **5.2.1 Precipitação**

A precipitação pluviométrica é fundamental para o estudo do clima, sendo considerado o elemento de maior importância na definição do quadro climático nas regiões semiáridas e sub-úmidas, tendo como características mais relevantes a quantidade e a frequência. Cerca de 70% da quantidade de água precipitada sobre a superfície terrestre retorna à atmosfera pelos efeitos da evaporação/evapotranspiração.

A evaporação corresponde ao processo físico no qual um líquido ou sólido passa ao estado gasoso devido à radiação solar e aos processos de difusão molecular e turbulenta. Além da radiação solar, outras variáveis como temperatura do ar, vento e pressão de vapor, também interferem na evaporação, principalmente em superfícies

hídricas livres. A evapotranspiração é considerada como a perda de água por evaporação do solo e transpiração das plantas.

A quantificação desses processos é utilizada na resolução de problemas que envolvem o manejo das águas, a exemplo, de previsão de cheias e na construção de reservatórios (cálculos das perdas de água em reservatórios, cálculo da necessidade de irrigação, aplicação de balanços hídricos para a obtenção do rendimento hídrico em bacias hidrográficas, abastecimento urbano etc).

De acordo com as séries históricas dos postos pluviométricos localizados na área de estudo, podemos observar que para o posto pluviométrico N<sup>o</sup> 81, localizado na cidade de Limoeiro do Norte, apresenta uma precipitação atmosférica média anual de apenas 732,54 mm/ano, com a menor precipitação mensal registrada em outubro, com 1,01 mm, e a maior precipitação ocorrendo em março, com 175,4mm (Quadro 4).

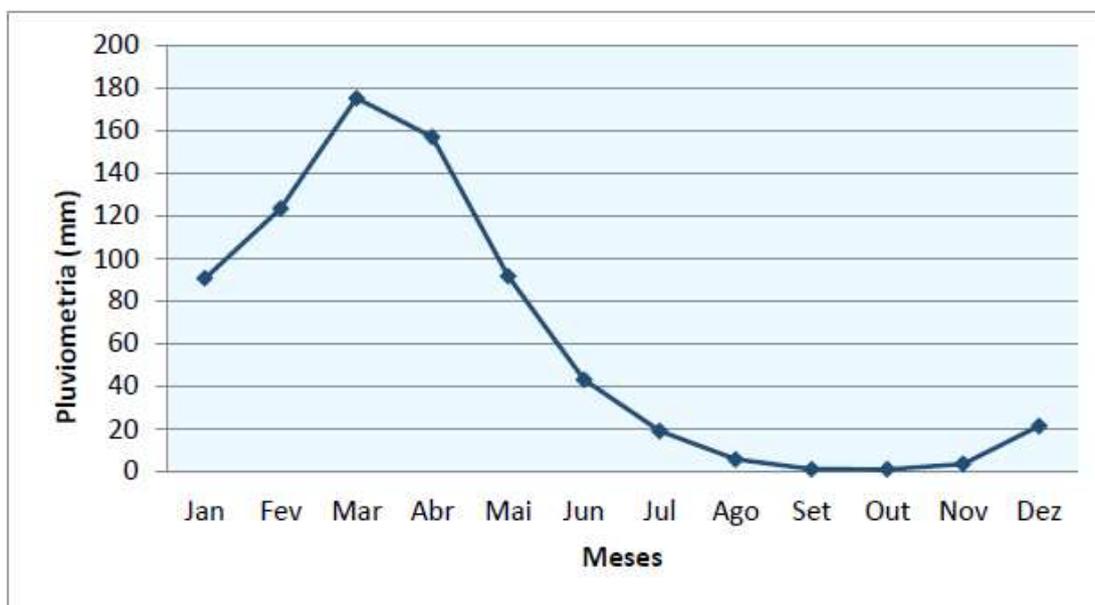
Quadro 4 - Média mensal da precipitação atmosférica do posto pluviométrico n<sup>o</sup> 81 (1974 à 2022)

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
90,68	123,6	175,4	157,1	91,8	43,16	18,97	5,76	1,11	1,01	3,57	21,4

Fonte: Funceme, 2023

Em nível sazonal, as maiores precipitações atmosféricas são observadas nos meses de janeiro a maio, com média mensal de 121,72 mm e total acumulado de 638,58 mm, o que equivale a 87,05% da precipitação atmosférica anual, já no período de junho a dezembro as precipitações se tornam mais escassas, apresentando um total acumulado de apenas 94,98 mm (Figura 6).

Figura 6 - Média mensal da precipitação atmosférica do posto pluviométrico nº 81 (1974 à 2022)



Fonte: Elaborado a partir dos dados da Funceme, 2023.

Para o posto pluviométrico nº 194 instalado na localidade de Bixopa a precipitação atmosférica média anual foi de 813,26 mm/ano, sendo a menor precipitação mensal registrada em novembro, com 0,08 mm, enquanto a maior precipitação foi registrada no mês março, com 213,07 mm (Quadro 5).

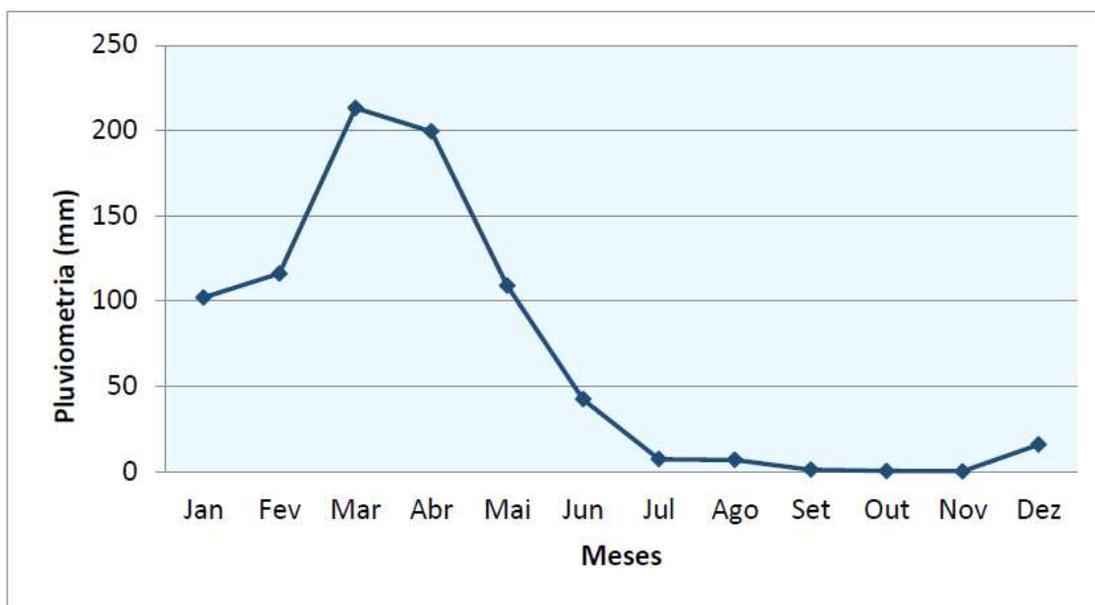
Quadro 5 - Média mensal da precipitação atmosférica do posto pluviométrico nº 194 (1999 à 2022)

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
101,99	116,1	213,07	199,34	109,04	42,35	7,25	6,82	1,04	0,37	0,08	15,81

Fonte: Funceme, 2023.

Em nível sazonal, as maiores precipitações atmosféricas são observadas entre janeiro a maio, com média mensal de 147,91 mm e total acumulado de 739,54 mm, o que equivale a 90,93% da precipitação atmosférica anual, já no período de junho a dezembro as precipitações se tornam mais escassas, apresentando um total acumulado de apenas 73,72 mm (Figura 7).

Figura 7 - Média mensal da precipitação atmosférica do posto pluviométrico nº 194 (1999 à 2022)



Fonte: Elaborado a partir de Funceme, 2023

Para o posto pluviométrico nº418 instalado na localidade de Sítio Malhada, a precipitação atmosférica média anual de 739,1 mm/ano, sendo a menor precipitação mensal registrada em setembro, com 1,76 mm, enquanto a maior precipitação foi registrada no mês de março, com 157,72 mm (Quadro 6).

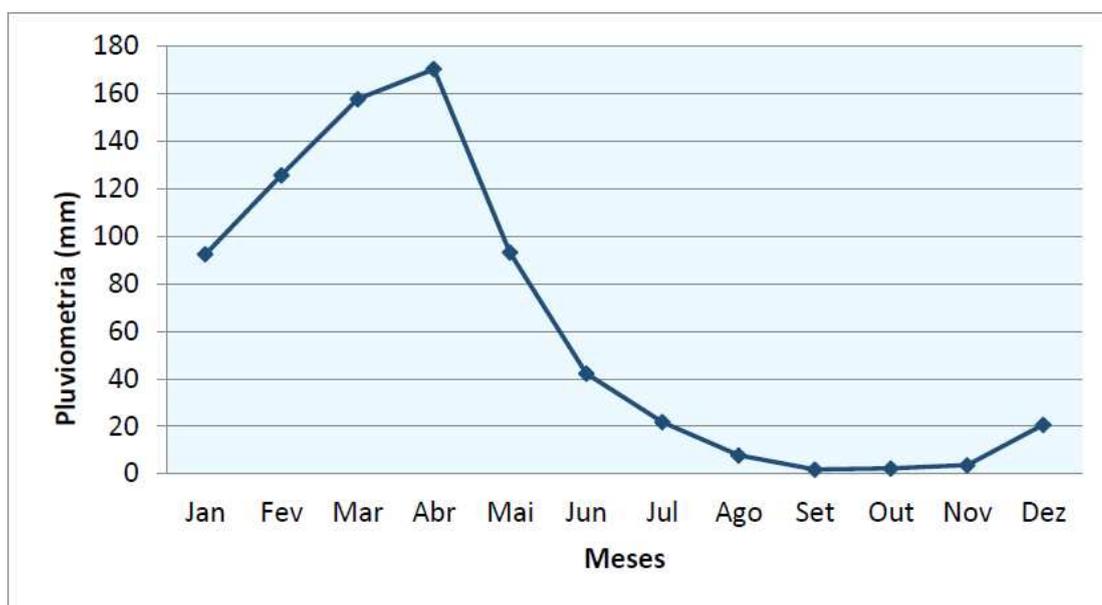
Quadro 6 - Média mensal da precipitação atmosférica do posto pluviométrico nº 418 (1988 à 2022)

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
101,99	116,1	213,07	199,34	109,04	42,35	7,25	6,82	1,04	0,37	0,08	15,81

Fonte: Funceme, 2023

Em nível sazonal, as maiores precipitações atmosféricas são observadas entre janeiro a maio, com média mensal de 127,83 mm e total acumulado de 639,17 mm, o que equivale a 86,48% da precipitação atmosférica anual, já no período de junho a dezembro as precipitações se tornam mais escassas, apresentando um total acumulado de apenas 99,93 mm (Figura 8).

Figura 8 - Média mensal da precipitação atmosférica do posto pluviométrico nº 418 (1988 à 2022)



Fonte: Elaborado a partir de Funceme, 2023

### 5.2.2 Temperatura

Para o posto pluviométrico nº 81 (Limoeiro do Norte), a temperatura média anual foi estimada em 27,65°C, com uma amplitude térmica de apenas 2,3°C ao longo do ano, sendo a menor temperatura registrada no mês de julho, com 26,4°C, enquanto a maior se refere a dezembro, com 28,7°C (Quadro 7).

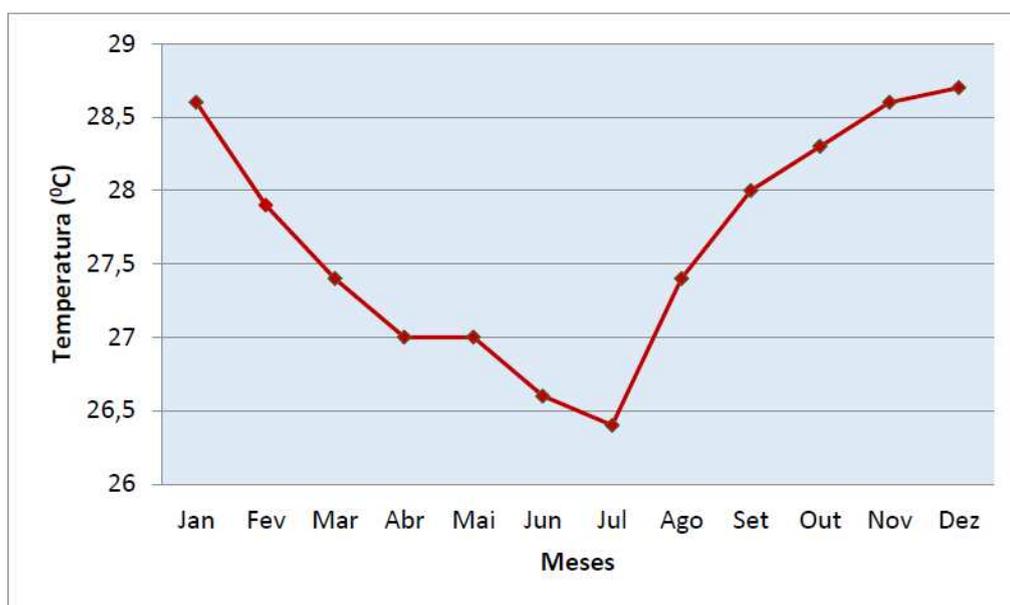
Quadro 7 - Temperatura média mensal do posto pluviométrico nº 311

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
28,6	27,9	27,4	27	27	26,6	26,4	27,4	28	28,3	28,6	28,7

Fonte: Celina, 2023

O período com as menores temperaturas ocorre entre março a agosto, com média mensal de 26,97°C, enquanto as maiores ocorrem entre setembro e fevereiro, com média mensal de 28,35°C (Figura 9).

Figura 9 - Temperatura média mensal do posto pluviométrico nº 81



Fonte: Elaborado a partir de Celina, 2023

Para o posto pluviométrico nº 194 (Bixopa), a temperatura média anual foi estimada em 27,37°C, com uma amplitude térmica de apenas 2,1°C ao longo do ano, sendo a menor temperatura registrada em julho, com 26,2°C, já a maior temperatura foi registrada nos meses de dezembro e janeiro, com 28,3°C (Quadro 8).

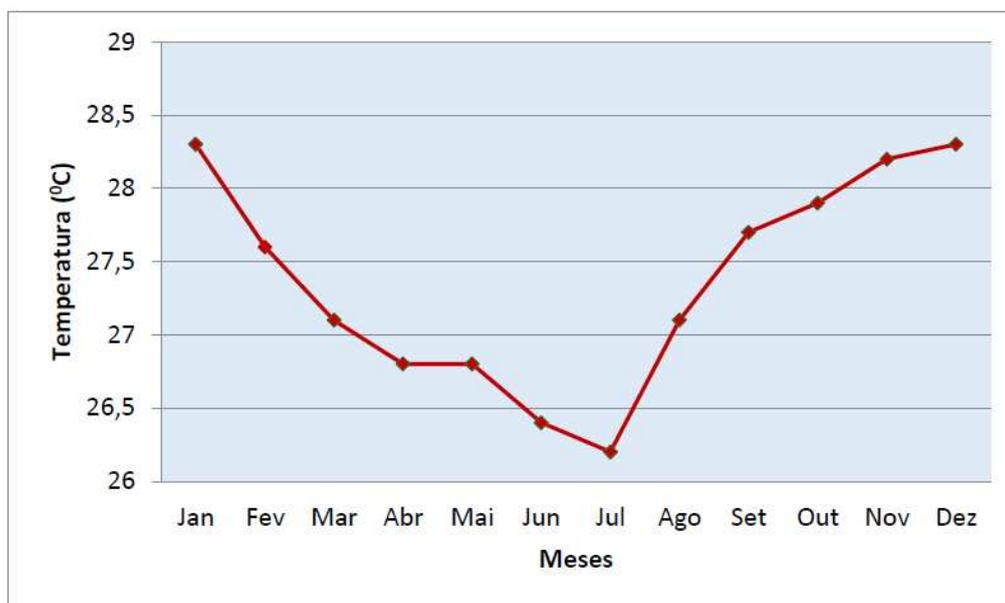
Quadro 8 - Temperatura média mensal do posto pluviométrico nº 194

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
28,3	27,6	27,1	26,8	26,8	26,4	26,2	27,1	27,7	29,7	28,2	28,3

Fonte: Celina, 2023

O período com as menores temperaturas, ocorre entre março a agosto, com médias mensais de 26,73°C, já as maiores temperaturas ocorrem entre setembro a fevereiro, com média mensal de 28°C (Figura 10).

Figura 10 - Temperatura média mensal do posto pluviométrico nº194



Fonte: Elaborado a partir de Celina, 2023

Para o posto pluviométrico nº 418 (Sítio Malhada), a temperatura média anual foi estimada em 27,65°C, com uma amplitude térmica de apenas 2,3°C ao longo do ano, sendo a menor temperatura registrada no mês de julho, com 26,4°C, enquanto a maior se refere a dezembro com 28,7°C (Quadro 9).

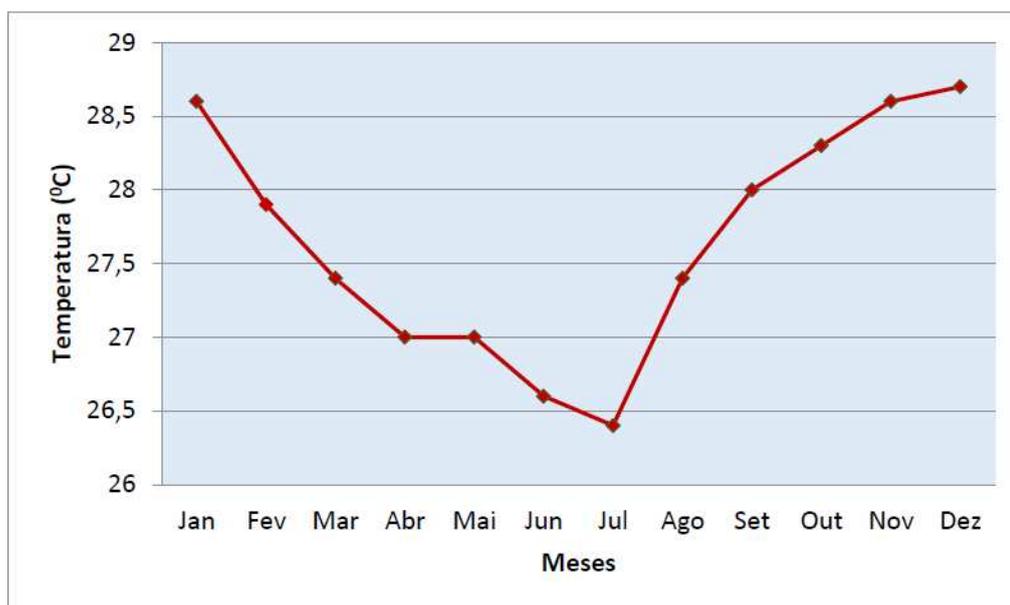
Quadro 9 - Temperatura média mensal do posto pluviométrico nº 418

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
28,6	27,9	27,4	27	27	26,6	26,4	27,4	28	28,3	28,6	28,7

Fonte: Celina, 2023

O período com as menores temperaturas ocorre entre março a agosto, com média mensal de 26,97°C, enquanto as maiores ocorreram entre os meses de setembro a fevereiro, com média mensal de 28,35°C (Figura 11).

Figura 11 - Temperatura média mensal do posto pluviométrico nº 418



Fonte: Elaborado a partir de Celina, 2023

### 5.2.3 Cálculo do Balanço Hidroclimatológico

A elaboração do cálculo do balanço hidroclimatológico é de fundamental importância em estudos hidrogeológicos, pois em períodos chuvosos os agentes poluidores tendem a ser lixiviados e diluídos, tendo conseqüentemente, suas concentrações nas águas reduzidas, já em períodos de estiagem, a baixa precipitação atmosférica associada ao constante uso das águas e o contínuo aporte de agentes poluidores, tendem a elevar a concentração de contaminantes nas águas subterrâneas.

O balanço hídrico calculado para o posto pluviométrico nº81, localizado na cidade de Limoeiro do Norte, não forneceu um excedente de hídrico, impedindo que se fizesse estimativa da recarga potencial. Porém, vale ressaltar que, a ausência de excedente hídrico no balanço não significa que não ocorreu recarga subterrânea ao longo da série histórica, em média a recarga não existe, mas em anos individualizados dependendo das condições climáticas pode haver ou não excedente hídrico (Quadro 10).

Quadro 10 - Balanço Hídrico Limoeiro do Norte, Posto 81 (1974 - 2022)

Mês	PPT (mm)	T média (oC)	Im	K	ETP (mm)	PPT - ETP	C	ETR (mm)	le (mm)
Jan	90,68	28,6	13,680	1,08	192,20	-101,52	0	90,68	0
Fev	123,6	27,9	13,181	0,97	156,41	-32,81	0	123,60	0
Mar	175,4	27,4	12,828	1,05	157,55	17,85	17,85	157,55	0
Abr	157,1	27	12,548	0,99	140,10	17,00	34,85	140,10	0
Mai	91,8	27	12,548	1,01	142,93	-51,13	0	91,80	0
Jun	43,16	26,6	12,271	0,96	128,01	-84,85	0	43,16	0
Jul	18,97	26,4	12,133	1	129,40	-110,43	0	18,97	0
Ago	5,76	27,4	12,828	1,01	151,55	-145,79	0	5,76	0
Set	1,11	28	13,252	1	163,56	-162,45	0	1,11	0
Out	1,01	28,3	13,466	1,06	180,89	-179,88	0	1,01	0
Nov	3,57	28,6	13,680	1,05	186,87	-183,30	0	3,57	0
Dez	21,4	28,7	13,752	1,1	198,50	-177,10	0	21,4	0
<b>Total</b>	<b>733,56</b>	<b>-</b>	<b>156,17</b>	<b>-</b>	<b>1927,96</b>	<b>-</b>	<b>52,7</b>	<b>698,70</b>	<b>0,00</b>

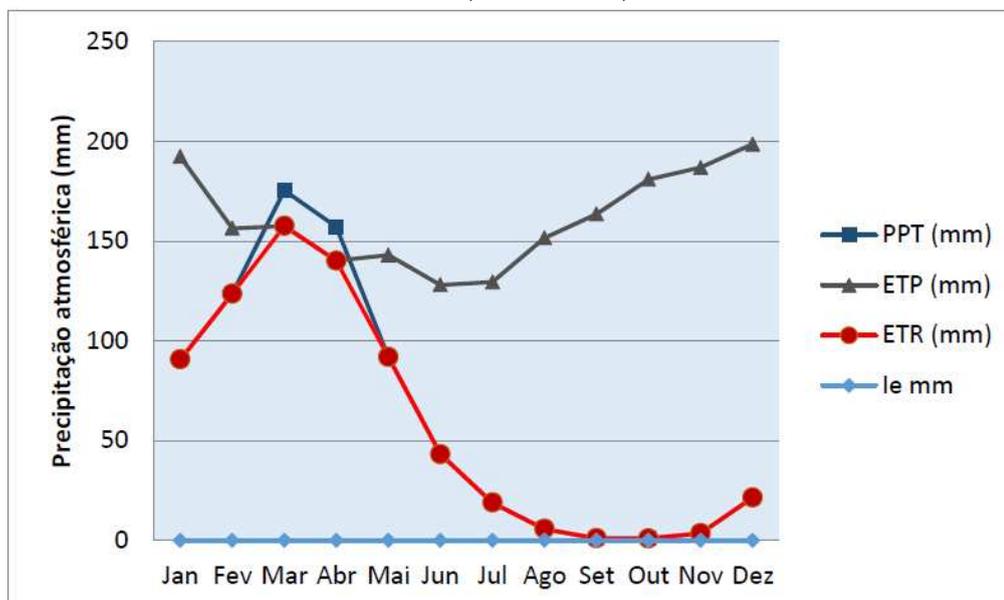
Fonte: Elaborado a partir de Funceme, 2023

Legenda: PPT = Precipitação; T = Temperatura; I = Índice térmico mensal; K = Fator de correção que depende da latitude do lugar; ETP = Evapotranspiração potencial; C = Capacidade de armazenamento; ETR = Evapotranspiração real e le = Infiltração estimada.

De acordo com o gráfico do balanço hidroclimatológico (Figura 12), observa-se que, apenas nos meses de março e abril, a precipitação atmosférica é superior a evapotranspiração real, pois neste período ocorrem os maiores índices pluviométricos, porém, o excedente hídrico é inferior a capacidade de armazenamento do solo (100 mm) impossibilitando dessa forma, a recarga do aquífero,

Nos meses de maio a fevereiro as precipitações atmosféricas são baixas, promovendo o aumento da evapotranspiração potencial em relação à evapotranspiração real que, nesse período, praticamente se iguala a precipitação atmosférica, resultando em uma situação em que toda a água precipitada é evaporada.

Figura 12 - Representação gráfica do balanço hidroclimatológico dos dados do posto pluviométrico nº81 (1974 à 2022)



Fonte: Elaborado a partir de Funceme, 2023

Legenda: PPT = Precipitação; ETP = Evapotranspiração potencial ETR = Evapotranspiração e le = Infiltração estimada

De acordo com o balanço hidroclimatológico calculado para o posto pluviométrico nº194 instalado na localidade de Bixopa, anualmente ocorre uma infiltração média estimada em 24,43 mm/ano, sendo que a infiltração ocorre apenas de abril (Quadro 11).

Segundo com o gráfico do balanço hidroclimatológico (Figura 13), observa-se que, entre março e abril, a precipitação atmosférica é superior a evapotranspiração real, pois neste período ocorrem os maiores índices pluviométricos, porém, o excedente hídrico com capacidade de recarregar o aquífero, só ocorreu no mês de abril, no mês de março o excedente hídrico ficou retido pela capacidade armazenamento do solo.

Quadro 11 - Balanço Hídrico Bixopa, Posto 194 (1999 - 2022)

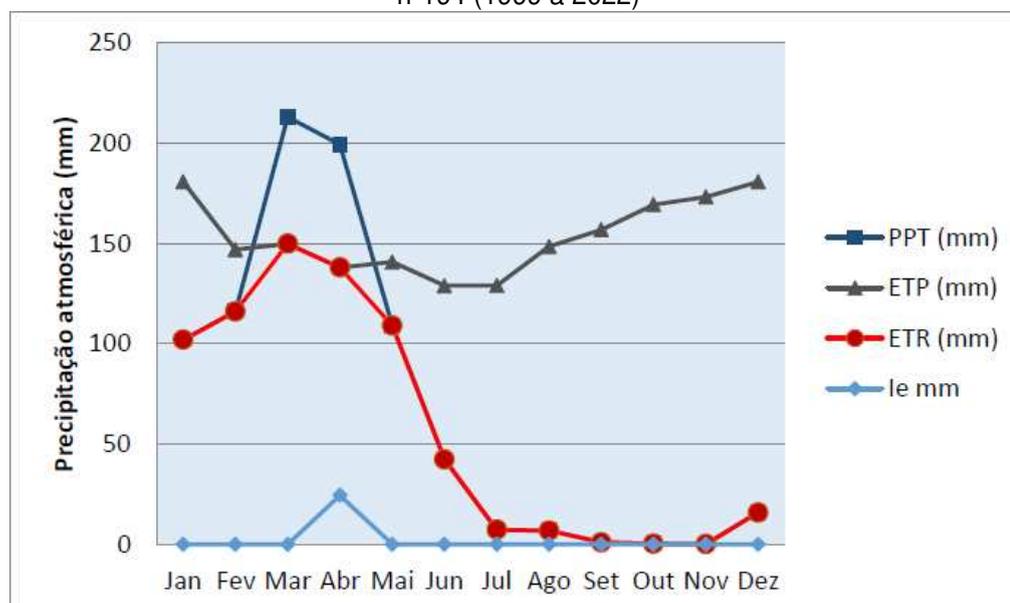
Mês	PPT (mm)	T média (oC)	Im	K	ETP (mm)	PPT - ETP	C	ETR (mm)	le (mm)
Jan	101,99	28,3	13,466	1,06	180,74	-78,75	0	101,99	0
Fev	116,1	27,6	12,969	0,95	147,00	-30,90	0	116,10	0
Mar	213,07	27,1	12,618	1,04	149,92	63,15	63,15	149,92	0
Abr	199,34	26,8	12,409	1	138,06	61,28	100	138,06	24,43
Mai	109,04	26,8	12,409	1,02	140,82	-31,78	68,22	109,04	0
Jun	42,35	26,4	12,133	0,99	128,94	-86,59	0	42,35	0
Jul	7,25	26,2	11,995	1,02	128,99	-121,74	0	7,25	0
Ago	6,82	27,1	12,618	1,03	148,47	-141,65	0	6,82	0
Set	1,04	27,7	13,040	1	156,92	-155,88	0	1,04	0
Out	0,37	27,9	13,181	1,05	169,42	-169,05	0	0,37	0
Nov	0,08	28,2	13,394	1,03	173,23	-173,15	0	0,08	0
Dez	15,81	28,3	13,466	1,06	180,74	-164,93	0	15,81	0
<b>Total</b>	<b>813,26</b>	<b>-</b>	<b>153,70</b>	<b>-</b>	<b>1843,26</b>	<b>-</b>	<b>231,37</b>	<b>688,83</b>	<b>24,43</b>

Fonte: Elaborado a partir de Funceme, 2023

Legenda: PPT = Precipitação; T = Temperatura; I = Índice térmico mensal; K = Fator de correção que depende da latitude.

Entre os meses de maio a fevereiro as precipitações atmosféricas são baixas, promovendo o aumento da evapotranspiração potencial em relação à evapotranspiração real que, nesse período, praticamente se iguala a precipitação atmosférica, resultando em uma situação em que toda a água precipitada é evaporada.

Figura 13 - Representação gráfica do balanço hidroclimatológico dos dados do posto pluviométrico nº194 (1999 à 2022)



Fonte: Elaborado a partir de Funceme, 2023

Legenda: PPT = Precipitação; ETP = Evapotranspiração potencial, ETR = Evapotranspiração; le = Infiltração estimada

O balanço hídrico calculado para o posto pluviométrico nº418, instalado na localidade de Sítio Malhada, não forneceu um excedente de hídrico, impedindo que se fizesse estimativa da recarga potencial. Porém, vale ressaltar que, a ausência de excedente hídrico no balanço não significa que não ocorreu recarga subterrânea ao longo da série histórica, em média a recarga não existe, mas em anos individualizados dependendo das condições climáticas pode haver ou não excedente hídrico (Quadro 12).

Quadro 12 - Balanço Hídrico Sítio Malhada, Posto 418 (1988 - 2022)

Mês	PPT (mm)	T média (oC)	Im	K	ETP (mm)	PPT - ETP	C	ETR (mm)	le (mm)
Jan	92,34	28,6	13,680	1,08	192,20	-99,86	0	92,34	0
Fev	125,66	27,9	13,181	0,97	156,41	-30,75	0	125,66	0
Mar	157,72	27,4	12,828	1,05	157,55	0,17	0,17	157,55	0
Abr	170,3	27	12,548	0,99	140,10	30,20	30,37	140,10	0
Mai	93,15	27	12,548	1,01	142,93	-49,78	0	93,15	0
Jun	42,19	26,6	12,271	0,96	128,01	-85,82	0	42,19	0
Jul	21,76	26,4	12,133	1	129,40	-107,64	0	21,76	0
Ago	7,76	27,4	12,828	1,01	151,55	-143,79	0	7,76	0
Set	1,76	28	13,252	1	163,56	-161,80	0	1,76	0
Out	2,23	28,3	13,466	1,06	180,89	-178,66	0	2,23	0
Nov	3,62	28,6	13,680	1,05	186,87	-183,25	0	3,62	0
Dez	20,61	28,7	13,752	1,1	198,50	-177,89	0	20,61	0
<b>Total</b>	<b>739,1</b>	<b>-</b>	<b>156,17</b>	<b>-</b>	<b>1927,96</b>	<b>-</b>	<b>30,54</b>	<b>708,72</b>	<b>0,00</b>

Fonte: Elaborado a partir de Funceme, 2023

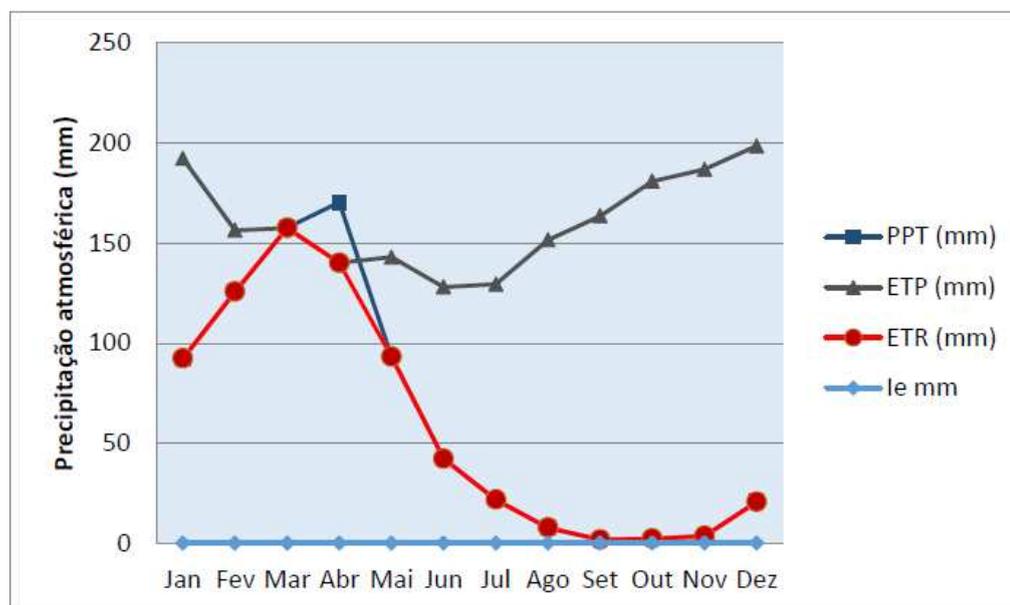
Legenda: PPT = Precipitação; T = Temperatura; I = Índice térmico mensal; K = Fator de correção que depende da latitude do lugar; ETP = Evapotranspiração potencial; C = Capacidade de armazenamento; ETR = Evapotranspiração real e le = Infiltração estimada.

De acordo com o gráfico do balanço hidroclimatológico (Figura 14), observa-se que, apenas no mês de abril, a precipitação atmosférica é superior a evapotranspiração real, pois neste período ocorrem os maiores índices pluviométricos, porém, o excedente hídrico é inferior a capacidade de armazenamento do solo (100 mm) impossibilitando dessa forma, a recarga do aquífero,

Nos meses de maio a março as precipitações atmosféricas são baixas, promovendo o aumento da evapotranspiração potencial em relação à evapotranspiração real que, nesse período, praticamente se iguala a precipitação

atmosférica, resultando em uma situação em que toda a água precipitada é evaporada.

Figura 14- Representação gráfica do balanço hidroclimatológico com dados do posto pluviométrico nº418 (1988 à 2022)



Fonte: Elaborado a partir de Funceme, 2023

Legenda: PPT = Precipitação; ETP = Evapotranspiração potencial ETR = Evapotranspiração e le = Infiltração estimada

#### 5.2.4 Polígonos de Thiessen

A metodologia de distribuição de precipitação segundo os Polígonos de Thiessen permite aplicação sem maiores complicações ao realizar a formação de polígonos regulares equipotenciais com relação a distribuição geográfica e a pluviometria. No entanto, a informação pluviométrica requer para sua execução somente a distribuição espacial não uniforme das estações meteorológicas (PIZARRO, RAMIRES, FLORES, 2003).

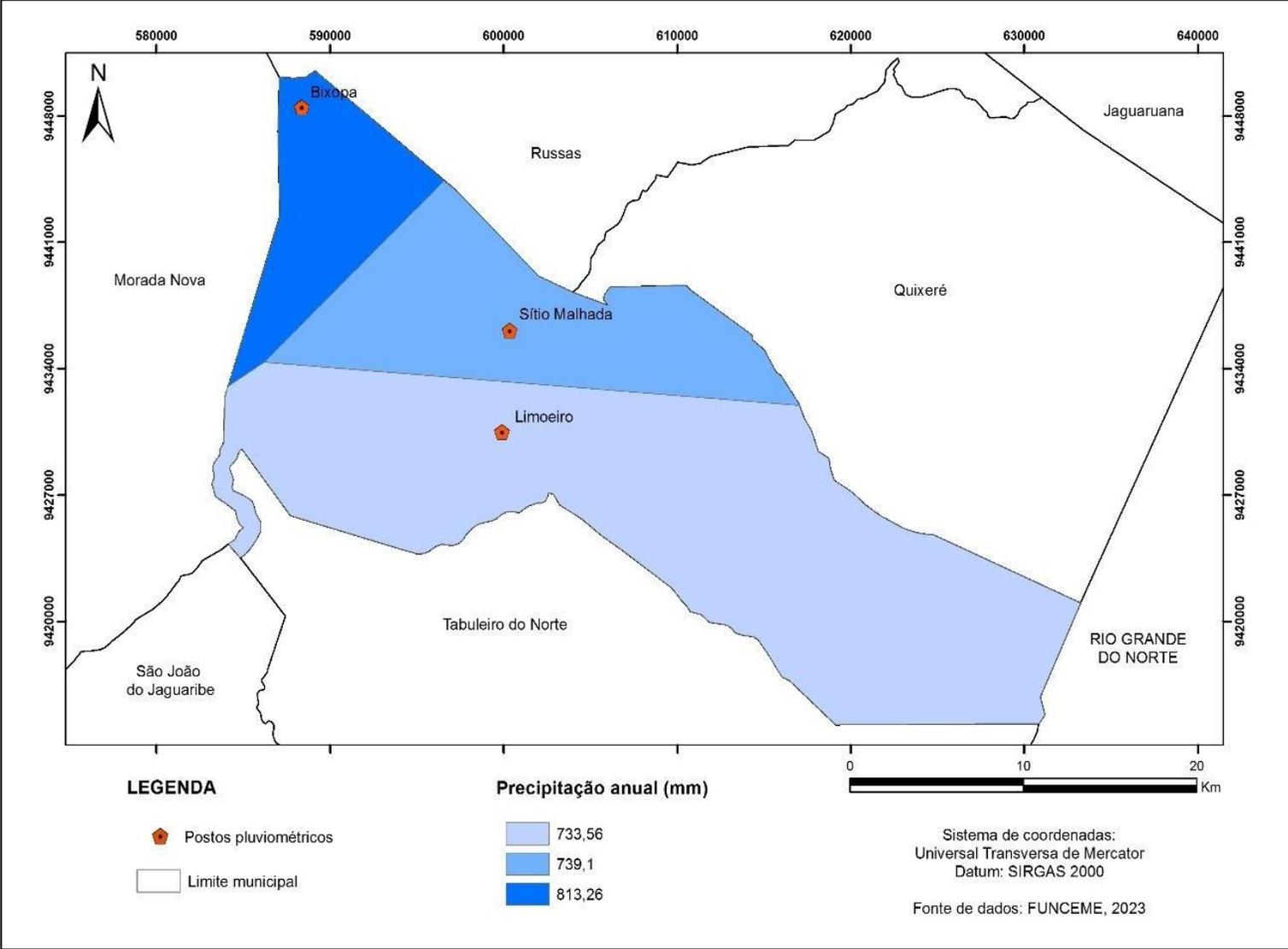
A distribuição da pluviometria foi caracterizada a partir de 3 postos pluviométricos localizados na área (Quadro 13). Os dados utilizados foram dispostos por meio dos Polígonos de Thiessen para melhor representar espacialmente esse processo. Os polígonos foram, aqui, produzidos por meio do software Qgis como ferramenta de análise espacial (Figura 15).

Quadro 13 - Dados utilizados para a distribuição da precipitação de Limoeiro do Norte - Ceará

POSTO PLUVIOMÉTRICO	LONGITUDE	LATITUDE	PRECIPITAÇÃO (mm/ano)
nº 81 - Limoeiro	599922	9430475	733,56
nº 194 - Bixopa	588373	9448458	813,26
nº 418 - Sítio Malhada	600358	9436091	739,1

Fonte: Elaborado a partir de Funceme, 2023

Figura 15 - Áreas de influências que cada posto pluviométrico exerce em Limoeiro do Norte, de acordo com os Polígonos de Thiessen.



Analisando a Figura 15, podemos observar que as maiores precipitações atmosféricas ocorrem na região nordeste do município, região esta onde se encontra instalado o posto pluviométrico N° 194 na localidade de Bixopá.

Levando em consideração a área de influência que cada posto exerce na área, podemos observar que com relação a precipitação atmosférica, o município de Limoeiro do Norte possui média anual de 744,64 mm/ano (Quadro 14).

Quadro 14- Média anual da precipitação atmosférica em Limoeiro do Norte - Ceará, levando em consideração o raio de influência dos postos pluviométricos pelos Polígonos de Thiessen

POSTO PLUVIOMÉTRICO	ÁREA DE INFLUÊNCIA (km <sup>2</sup> )	ÁREA DE INFLUÊNCIA (%)	PRECIPITAÇÃO MÉDIA (mm/ano)	PRECIPITAÇÃO MÉDIA PONDERADA (mm/ano)
81 - Limoeiro	475,8	63,91	733,56	468,82
194 - Bixopá	91,2	12,25	813,26	99,62
18 - Sítio Malhada	177,5	23,84	739,1	176,20
<b>TOTAL</b>				<b>744,64</b>

Fonte: Elaborado a partir de Funceme, 2023

Em relação a temperatura, levando em consideração a área de influência que cada posto exerce na área, o município de Limoeiro do Norte apresenta uma temperatura média anual de 26,93°C (Quadro 15).

Quadro 15 - Média anual da temperatura de Limoeiro do Norte levando em consideração o raio de influência dos postos pluviométricos

POSTO PLUVIOMÉTRICO	ÁREA DE INFLUÊNCIA (km <sup>2</sup> )	ÁREA DE INFLUÊNCIA (%)	TEMPERATURA MÉDIA ANUAL (°C)	TEMPERATURA MÉDIA PONDERADA (°C anual)
81 - Limoeiro	475,8	63,91	27,66	17,68
194 - Bixopá	91,2	12,25	27,37	3,35
8 - Sítio Malhada	177,5	23,84	27,66	6,59
<b>TOTAL</b>				<b>27,62</b>

Fonte: Elaborado a partir de Celina, 2022

Em relação a parcela de infiltração estimada, levando em consideração a área de influência que cada posto pluviométrico exerce na área, o município de Limoeiro

do Norte possui uma taxa de infiltração média anual de apenas 2,99 mm (Quadro 16). O motivo pelo qual o valor da infiltração estimada ser tão baixo, está relacionado as baixas precipitações atmosféricas registradas pelos postos pluviométricos instalados na área de pesquisa, pois de acordo com o balanço hidroclimatológico, apenas o posto pluviométrico 418, instalado na localidade de Bixopá apresentou excedente hídrico, os demais postos (Limoeiro do Norte e Sítio Malhada) não apresentaram excedente hídrico, ocasionando assim, um baixo índice de infiltração estimado quando levado em conta todo o território do município de Limoeiro do Norte.

Quadro 16 - Média anual da infiltração estimada no município de Limoeiro do Norte - Ceará, levando em consideração o raio de influência dos postos pluviométricos

POSTO PLUVIOMÉTRICO	ÁREA DE INFLUÊNCIA (km <sup>2</sup> )	ÁREA DE INFLUÊNCIA (%)	le MÉDIA ANUAL (mm)	le MÉDIA PONDERADA (mm/ano)
81 - Limoeiro	475,8	63,91	0,0	0
194 - Bixopá	91,2	12,25	24,43	2,99
8 - Sítio Malhada	177,5	23,84	0,0	0
<b>TOTAL</b>				<b>2,99</b>

Fonte: Elaborado a partir de Funceme, 2023

## 6 DIMENSÃO HISTÓRICA DO USO DA TERRA

Ao longo da história, a relação entre o homem e a terra foi caracterizada fundamentalmente pelo nexos de sua luta pela sobrevivência. De acordo com Mazoyer & Roudart (2010), por volta de 12.000 a.c., mais precisamente no final do período Paleolítico, as sociedades humanas haviam conseguido produzir instrumentos mais elaborados e especializados, graças aos quais tinham desenvolvido modos de predação (caça, pesca, colheita) diferenciadas, adaptados aos mais diversos meios.

Este avanço nas estratégias de sobrevivência e meios de obtenção de alimento acentuou-se consideravelmente por volta de 10.000 a.c. no neolítico, último período da Pré-história, também conhecido como (idade da pedra polida), tornando-se muito mais significativa em virtude do decréscimo da participação da caça e coleta de alimentos, para o início da agricultura. Este período, chamado de “Revolução

Agrícola”, estabeleceu uma nova ordem na relação entre homem e natureza, a partir do cultivo de plantas e da domesticação de animais.

A transição do Paleolítico para o Neolítico não se deu de maneira súbita, ao contrário, o processo de desenvolvimento destas novas técnicas aquisição de alimento e habitação ocorreu de modo gradativo e inserido num contexto de complexas mudanças sociais, materiais e culturais, advindas como resposta adaptativa às mudanças climáticas ocorridos naquela período, no caso específico, a última glaciação. Destarte, a capacidade de produzir o próprio alimento suscitou ao homem, um maior controle sobre o meio ambiente e, por conseguinte, adaptação à vida sedentária.

Diferentemente da vida nômade, a vida sedentária exigia um novo modelo baseado em habitações fixas e formatação de pequenos povoados, que, concomitantemente á domesticação de animais e a comercialização dos excedentes agrícolas, passavam a incorporar a estruturação das primeiras civilizações.

Segundo Tauger (2011), existem registros arqueológicos que demonstram a ocorrência de assentamentos humanos em diversos locais do litoral oriental do Mediterrâneo, desde o sul da Turquia, passando pela área do Levante (atual Israel, Líbano e Síria) até a Alta Mesopotâmia, que teriam utilizado o trigo e o centeio e domesticado ovelhas, cabras, porcos e, em menor medida, gado, por volta de 9.000 a.C. - 8.000 a.C.

Nas Américas, uma primeira área de origem da agricultura neolítica teria se constituído progressivamente no sul do México entre 9.000 e 4.000 anos antes da presente Era (MAZOYER; ROUDART, 2010). A partir deste período, de acordo com Tauger (2011), os primeiros americanos passaram a produzir duas culturas básicas, o milho originário da região central do México e a batata oriunda da região andina (Peru e Equador), as quais se espalharam amplamente pela América Central, América do Sul e América do Norte.

A agricultura na idade média foi caracterizada por uma série de mudanças profundas, tanto na evolução das técnicas de cultivo, quanto na reorganização política/social e seus reflexos nas relações campesinas. De acordo com Mason (1962: p.103), estas novas técnicas não se restringiam apenas ao uso do novo arado munido de roda, tracionado por cavalos e com capacidade de realizar subsolagem, longe disso, imponentes obras hidráulicas com específicos tipos de cortes de canais e desvios de rios, possibilitaram a ampliação de terrenos irrigados nas novas terras

incorporadas à fronteira agrícola.

Decorrentes da implementação destas novas técnicas, diferentes experiências relativas ao trato dos pesados solos europeus também puderam ser testadas, levando a obtenção dos primeiros incrementos produtivos. Algumas destas experiências como a rotação de culturas, seleção de cultivares, reciclagem de nutrientes e outras práticas, passaram a fazer parte da conduta agrícola daquelas populações e, com o passar do tempo, foram vagarosamente sendo propagadas por todo o velho continente, como exemplos de sustentabilidade agrícola de base familiar.

Segundo Baiardi (1997), estas técnicas de produção agrícola, além de possibilitarem um excedente que viria a permitir a retomada da vida nas cidades com características essencialmente urbanas, também motivaram o surgimento um modelo que incorporou, pela primeira vez na história, a dimensão da sustentabilidade como atributo da racionalidade, após a Revolução Agrícola.

De acordo com Tauger (2011), a agricultura nos séculos XIX e XX integrou processos mais amplos de formação da economia capitalista europeia, bem como, incluiu-se nos movimentos de ascensão do domínio político econômico da Europa e, em segundo momento, dos Estados Unidos. No século XIX, essas mudanças incluíram a emancipação da grande maioria dos fazendeiros e trabalhadores servis na Américas e na Europa. Eles também incluíram ao desenvolvimento da agricultura, sistemas orientados para a produção mercantil, com base nos modelos produtivos Ingleses e Holandeses, os quais, encontraram sua máxima expressão na agricultura dos Estados Unidos e na Argentina.

Esse controle envolveu reiteradas tentativas europeias de adaptação da agricultura tradicional aos métodos europeus e, a inserção destas regiões na economia mundial emergente, centrada na Europa. Um dos principais resultados deste processo foi irônico: a mesma civilização que aboliu a escravidão e as relações servis, criou condições que levaram um grande número de agricultores a situação de endividamento e opressão, limitando-os quase tanto quanto, os antigos sistemas servis.

A modernização da agricultura no século XX foi decisivamente marcada por sua centralidade enquanto estratégia social e de governo, adotada em todo o mundo e decorrente de dois grandes processos históricos no setor rural: as crises econômicas e políticas do início do século e a competição pelo desenvolvimento econômico.

O fato é que, nunca antes na história, tantos grupos dentro e fora dos governos

fizeram esforços consistentes em busca da melhoria da agricultura da qualidade de vidas dos agricultores. No entanto, nunca antes tantos produtores abandonaram a agricultura para viver e trabalhar nas cidades, assegurando em benefício dos mais favorecidos o "*status quo*".

Em virtude do advento de diversas crises políticas e econômicas do século XX, esforços proporcionais por parte de governantes, empresas e organizações públicas foram defenidas tendo por objetivo principal a resolução do problema de abastecimento de alimentos nos grandes centros urbanos. Em muitos casos, estes esforços foram além do pragmatismo e se consubstanciaram em reformas mais profundas e, em alguns casos, em ações revolucionárias. Este ambiente histórico, nunca antes tão estudado e compreendido, contribuiu em grande parte para a evolução das políticas de poio ao setor rural.

Entre 1940 e 2000, a agricultura mundial vivenciou dois períodos de transição até a implantação do sistema agroalimentar mundial moderno; a segunda Guerra Mundial e o período Pós-Guerra, onde os Estados Unidos passaram a dominar a agricultura mundial e moldar o sistema alimentar global.

A partir da década de 1970, muitos países se tornaram potências agrícolas e passaram a dividir o mercado com os EUA, fato este que culminou em uma desestabilização do mercado mundial de produtos agrícolas. Em resposta, várias corporações transnacionais usaram suas riquezas, poder de mercado e tecnologia, para fins de controle do consumo mundial de alimentos.

No contexto da transformação dos regimes alimentares mundiais, cinco processos moldaram a vida agrária. Estes incluíram a ascensão e declínio dos sistemas agrários comunistas; a Revolução Verde que trouxe o aumento da produção agrícola a muitos países em desenvolvimento; a industrialização da agricultura e o declínio dos agricultores no mundo desenvolvido; o surgimento da África como uma região de crise agrária, e as repercussões dos avanços tecnológicos no campo.

Para o século XXI, tem-se, ainda, muitos desafios a serem superados, como a dependência de combustíveis fósseis como fonte de energia para diversas etapas da produção de alimentos, as mudanças climáticas e a forte escalada do uso de fertilizantes e agrotóxicos. Mesmo considerando a grande evolução tecnológica da agricultura contemporânea, ironicamente, as relações campestinas baseadas em um padrão de subordinação, ainda permanecem, diferindo dos tempos pretéritos, apenas nas novas formas de subordinação.

## 7 MONOCULTURA E O DESENVOLVIMENTO DO ESTADO BRASILEIRO

Desde a chegada dos primeiros colonizadores ao Brasil em 1.500, a vocação agrícola brasileira já era evidenciada, quando da carta escrita por Pero Vaz de Caminha ao Rei Dom Manuel, comentando sobre a nova terra. Em um dos trechos mais conhecidos, "*em se plantando tudo dá*", demonstra claro entusiasmo do comando da esquadra lusitana com relação ao potencial produtivo do Brasil. Deste modo, podemos dizer que a história da agricultura brasileira, está intimamente ligada a própria história do desenvolvimento do país e, por conseguinte, aos interesses das sucessivas classes dominantes nesta terra.

Já sob o domínio português, as terras indígenas brasileiras passaram pelo período de intenso extrativismo, sendo o pau-brasil, o primeiro produto desta exploração. Após a escassez deste produto e diante de uma vasta diversidade natural explorável economicamente, a atividade extrativista migrou para outras frentes, concentrando-se na exploração de minérios e outros tipos de subprodutos florestais.

Junto ao processo de extrativismo no Brasil colonial, em meados de 1.530 tem-se registros do início do primeiro cultivo agrícola em larga escala, a cana-de-açúcar no Nordeste brasileiro. Baseado em um modelo de monocultura escravista, em pouco tempo, o açúcar tornou-se o principal produto de exportação e centro da economia.

Após o declínio da atividade açucareira no século XVII, o Sudeste passa a ser o novo centro produtivo nacional, tendo no café, seu principal produto de pauta e foco da economia.

A transferência da Corte portuguesa para ao Brasil em 1808 foi decisiva para a propagação da nova cultura, conquanto, naquele momento, fincava-se em terras brasileiras a nova sede do Império lusitano, trazendo consigo, incentivos para a cultura do café por interesse do próprio Príncipe Regente, que, ciente das condições propícias para o seu plantio, mandou trazer sementes de Moçambique (MARTINS, 2012).

Por volta de 1880, o Brasil já respondia pela metade de toda a produção de café no mundo, fato este, que provocou mudanças na economia local, havendo deslocando do eixo econômico para a região centro-sul e, anos mais tarde, o surgimento crise da cafeicultura em razão da queda do preço do produto em 1894, levando à redução da compra e a produção descontrolada no período de 1896 a 1897 (FIGUEIRA, 2007).

Segundo Bianchi (2012, pg 93), a crise do café no Brasil teve início entre os anos de 1902 a 1906, onde, sucessivas crises como: baixo preço do café na balança internacional, I Guerra Mundial e a crise da política “Café com Leite”, formaram o contexto de agravamento do setor, chegando ao seu ápice em 1929, quando da quebra da bolsa de valores de Nova Iorque.

Na década de 1930, o setor agropecuário brasileiro continua em expansão; todavia, à taxas decrescentes, em virtude do início do deslocamento do eixo produtivo da agricultura, para o setor industrial. Mesmo considerando neste período, o crescimento da agricultura menor que o da indústria, não podemos desconsiderar a sua importância no crescente abastecimento do mercado interno e na geração de divisas para o equilíbrio da balança comercial. Desta forma, a agricultura teve papel fundamental no subsídio das importações de insumos e maquinarias necessárias ao processo de industrialização.

No período entre 1930 a 1964, a agricultura continuou em expansão através da ampliação de suas fronteiras a partir da ocupação de novas áreas, desta feita, nas regiões Centro-Oeste, Sul e Centro Sul do Nordeste. Mesmo considerando que não houve mudança na pauta produtiva dos principais produtos agrícolas, houve uma reorganização dos espaços produtivos, mediante maior especialização regional em determinados tipos de produtos.

A expansão das fronteiras agrícolas se orienta na direção da monocultura de arroz e feijão nas regiões de fronteira e do Nordeste, enquanto a região Centro-Sul passa a produzir cada vez mais produtos de exportação ou produtos para o mercado interno que exigem maior capitalização ou proximidade do mercado (SORJ, 2008).

Nas últimas décadas, a expansão da agricultura brasileira manteve o mesmo padrão fundiário, de elevada concentração de terras em posse de um pequeno grupo, cujos interesses se alinham às orientações e expectativas do mercado mundial.

De acordo com Sorj (2008), o padrão de expansão agrícola brasileira conjuga de forma original a expansão da pequena produção, e, portanto um caminho distributivo, que permanentemente é quebrado pelo latifúndio que volta a afirmar um caminho concentracionista de organização fundiária.

## 8 AGROTÓXICOS

Este item procura, ao discorrer sobre o tema, pontuar sobre aspectos técnicos necessários ao assunto, esclarecendo pontos e definições particulares a química dos agrotóxicos.

### 8.1 Agrotóxicos: conceito e classificação

Agrotóxicos, defensivos agrícolas, pesticidas, medicamentos, remédios, fármacos e venenos são denominações cotidianamente utilizadas como sinônimos de dois produtos químicos, os fármacos e os agrotóxicos (MENDONÇA et al, 2008).

De acordo com o Decreto nº 4.074 de janeiro de 2002 - “Decreto dos Agrotóxicos” - que regulamenta a Lei 7.802/89, agrotóxicos e afins são definidos como:

*Produtos e agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas, nativas ou plantadas, e de outros ecossistemas e de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos, bem como as substâncias e produtos empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores de crescimento (BRASIL, 2002).*

Os agrotóxicos podem ser classificados sob diversas formas: quanto ao modo de ação do ingrediente ativo no organismo alvo ou à natureza da praga a ser combatida, quanto aos efeitos que causa à saúde humana - “toxicidade”, periculosidade no ambiente, estrutura química, etc.

Quanto ao modo de ação do ingrediente ativo no organismo alvo ou à natureza da praga a ser combatida, os agrotóxicos são classificados como inseticidas, fungicidas, herbicidas, rodenticidas e/ou raticidas, acaricidas, nematocidas, fumigantes, moluscicidas etc (ANDREI, 2005; LARINI, 1999).

Os inseticidas destinam-se ao combate de insetos, larvas e formigas e, podem ser divididos em quatro grupos químicos principais: Organofosforados, Carbonatos, Organoclorados e Piretróides. Os Organofosforados são ésteres fosfóricos que atuam como inibidores das enzimas colineserases e constituem uma classe importante de inseticidas usados atualmente no combate a diversos tipos de pragas na agricultura.

Os Carbamatos são compostos derivados do ácido carbâmico (monoamida do

ácido carbâmico), que possuem elevada instabilidade em temperaturas ambientes e são reconhecidamente eficientes quanto à ação praguicida, principalmente inseticida.

Os Organoclorados são inseticidas compostos à base de carbono, hidrogênio e radicais de cloro, que possuem elevada toxicidade e baixa biossolubilidade em tecidos lipídicos, tendo, seu uso nos últimos anos, sido progressivamente restringido.

Os Piretróides são compostos químicos sintéticos com estruturas equivalentes à piretrina, que apresentam baixa toxicidade, baixo impacto ambiental e configuram entre os inseticidas mais utilizados na agricultura.

Os Fungicidas são substâncias químicas amplamente utilizadas na agricultura para o manejo e controle de doenças fúngicas em plantas, através da inibição específica do patógeno (fungo). Os principais grupos representantes são os etileno-bis-ditiocarbonatos, ou apenas ditiocarbonatos, os organoestânicos, os hexaclorobenzenos e as dicarboximidas.

Os Herbicidas são agentes biológicos ou substâncias químicas com maior índice de crescimento de uso na agricultura, capazes de matar ou suprimir o crescimento de espécies específicas de plantas (ervas daninhas). Estão divididas em quatro principais grupos químicos: as glicinas substituídas, os derivados de ácido fenóxiacético, os dinitrofenóis e os pentaclorofenóis.

Quanto a toxicidade para o ser humano, os agrotóxicos podem ser classificados em cinco categorias de acordo com a nova classificação publicada pela ANVISA em 2018, a qual se baseia no índice de DL50, de cada substância. O Índice de Dose Letal (DL50) se refere à dose capaz de matar 50% da população de animais em testes laboratoriais por aplicação do produto químico por via dérmica e oral, expressa em miligramas por quilograma de peso vivo (FILGUEIRA, 2008). As categorias variam de I a V, e são combinadas com as faixas de classificação toxicológicas em cores correspondentes, conforme a Figura 16.

Figura 16 - Classificação dos agrotóxicos de acordo com a sua toxicidade.

Classe	Toxicidade	Cor	Pictograma e advertência
I	Extremamente tóxico		 PERIGO
II	Altamente tóxico		 PERIGO
III	Moderadamente tóxico		 PERIGO
IV	Pouco tóxico		 CUIDADO
V	Improvável causar dano agudo		Sem símbolo CUIDADO
	Não Classificado		Sem símbolo Sem advertência

Fonte: INCA (2019), com adaptações.

A avaliação do potencial de periculosidade ambiental de um determinado agrotóxico, baseia-se nas características químicas de cada produto, bem como, através dos parâmetros de mobilidade e destino ambiental. Desta forma, os agrotóxicos podem variar de acordo com a capacidade de persistência ou mobilidade no solo, na água e no ar, podendo, ainda, provocar processos de bioacumulação e contaminação de águas superficiais e subterrâneas, mediante escoamentos e lixiviação.

A classificação de periculosidade pode variar da classe I à classe IV. Para o meio ambiente, a classificação ocorre da seguinte forma: 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.

## 8.2 Produção e comercialização de agrotóxicos

O mercado mundial de agrotóxicos movimentou US\$ 51,2 bilhões em 2010 e o brasileiro US\$ 7,3 bilhões. As seis maiores empresas - Basf, Bayer, Dow, Dupont, Monsanto e Syngenta - controlam hoje 66% do mercado mundial. No Brasil, as dez maiores empresas foram responsáveis por 75% da venda nacional de agrotóxicos na última safra. Os gigantes do setor estão comprando as empresas menores, tanto de agrotóxicos, quanto de sementes, formando monopólios e oligopólios (JÚNIA, 2012) (Figura 17).

De acordo com Moraes (2019), essas empresas controlam a grande maioria do enorme mercado nacional e global de pesticidas. Ainda de acordo com o autor, em 2017, as dez maiores responderam por cerca de 80% do total comercializado no Brasil, enquanto as quinze maiores responderam por cerca de 96% (Tabela 1). Além disso, a concentração se tornou maior em razão do processo de fusões e aquisições no setor ocorrido em período, facilitando a mobilização. Esses produtos químicos desempenham elevado papel de controle nos sistemas agrícolas dependentes de combustíveis fósseis que se espalharam pelo mundo durante o século 20 e, criaram problemas ecológicos complexos ao mesmo tempo em que aumentavam os rendimentos das grandes trades - inclusive impulsionando as mudanças climáticas.

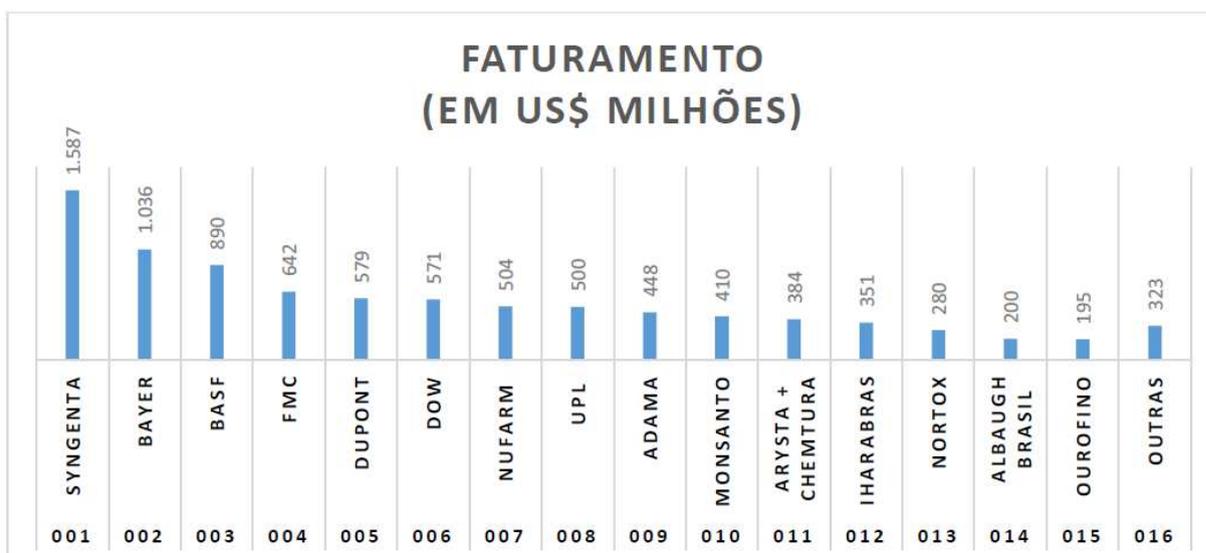
Tabela 1 - Faturamento x empresas de agrotóxicos no mundo

Item	Empresa	Faturamento (Em US\$ milhões)	Percentual (%)
001	Syngenta	1.587	17,83%
002	Bayer	1.036	11,68%
003	Basf	890	10,05%
004	FMC	642	7,24%
005	DuPont	579	6,50%
006	Dow	571	6,40%
007	Nufarm	504	5,70%
008	UPL	500	5,60%
009	Adama	448	5,00%
010	Monsanto	410	4,60%

Item	Empresa	Faturamento (Em US\$ milhões)	Percentual (%)
011	Arysta + Chemtura	384	4,32%
012	Iharabras	351	3,94%
013	Nortox	280	3,13%
014	Albaugh Brasil	200	2,20%
015	Ourofino	195	2,21%
016	Outras	323	3,60%
<b>Total</b>		<b>8.900</b>	<b>100,00%</b>

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do *World Trade Organization*, 2016

Figura 17 - Vendas de Agrotóxicos no Brasil, por empresa (2017)



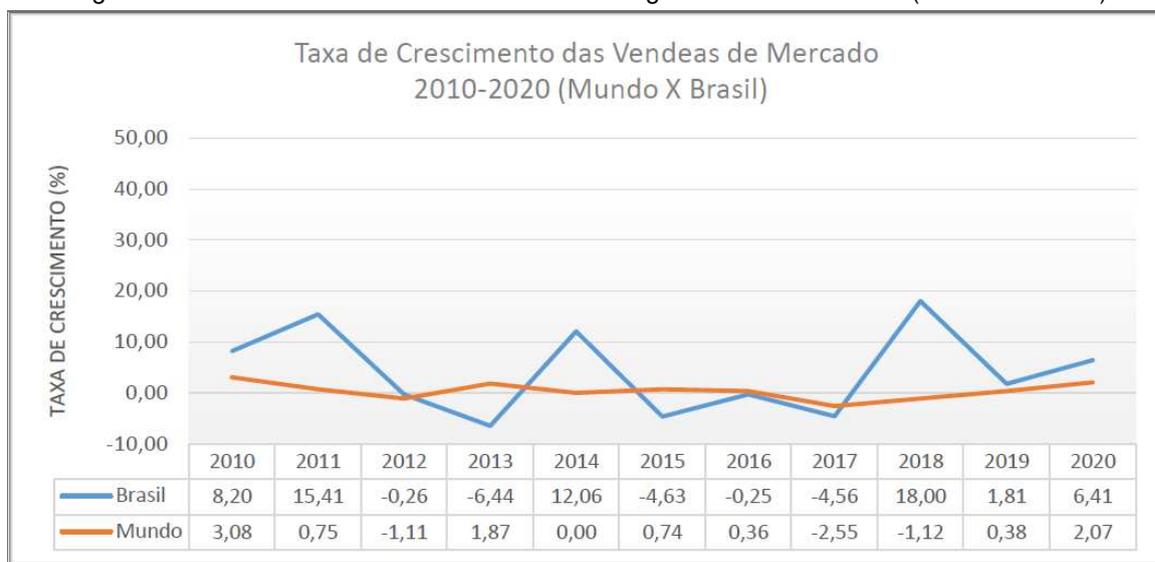
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do *World Trade Organization* (2016)

A dinâmica de produção agrícola brasileira desde os anos 70 foi seguida pelo aumento do uso de agroquímicos, classificando o Brasil como liderança mundial tanto no uso e nas importações de pesticidas (FAO, 2020). O uso destes produtos no Brasil tem como direcionamento principal as lavouras de soja, algodão e milho e, de acordo com dados do MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, no ano de 2019 houve a liberação recorde de 474 novos registros de agrotóxicos em âmbito nacional.

Com relação às taxas de crescimento de vendas de agrotóxicos no mundo e no Brasil, comparativamente, observa-se na Figura 18 o crescimento em maior escala no Brasil.

Considerando a série histórica 2010-2020, nota-se uma estabilização das vendas mundiais de agrotóxicos com leve declínio em 2017 e sutil retomada de 2018 a 2020. Já com relação ao Brasil verificamos oscilações nos índices de crescimento de vendas, com ciclos de elevação que duram em média 02 anos (2010-2012; 2013-2015; 2017-2019). Enquanto os dados mundiais apontam para estabilidade com suave indicativo de queda, no Brasil estes números revelam um aumento de 51,35%.

Figura 18 - Taxa de crescimento de vendas de agrotóxicos 2010-2020 (Mundo X Brasil)

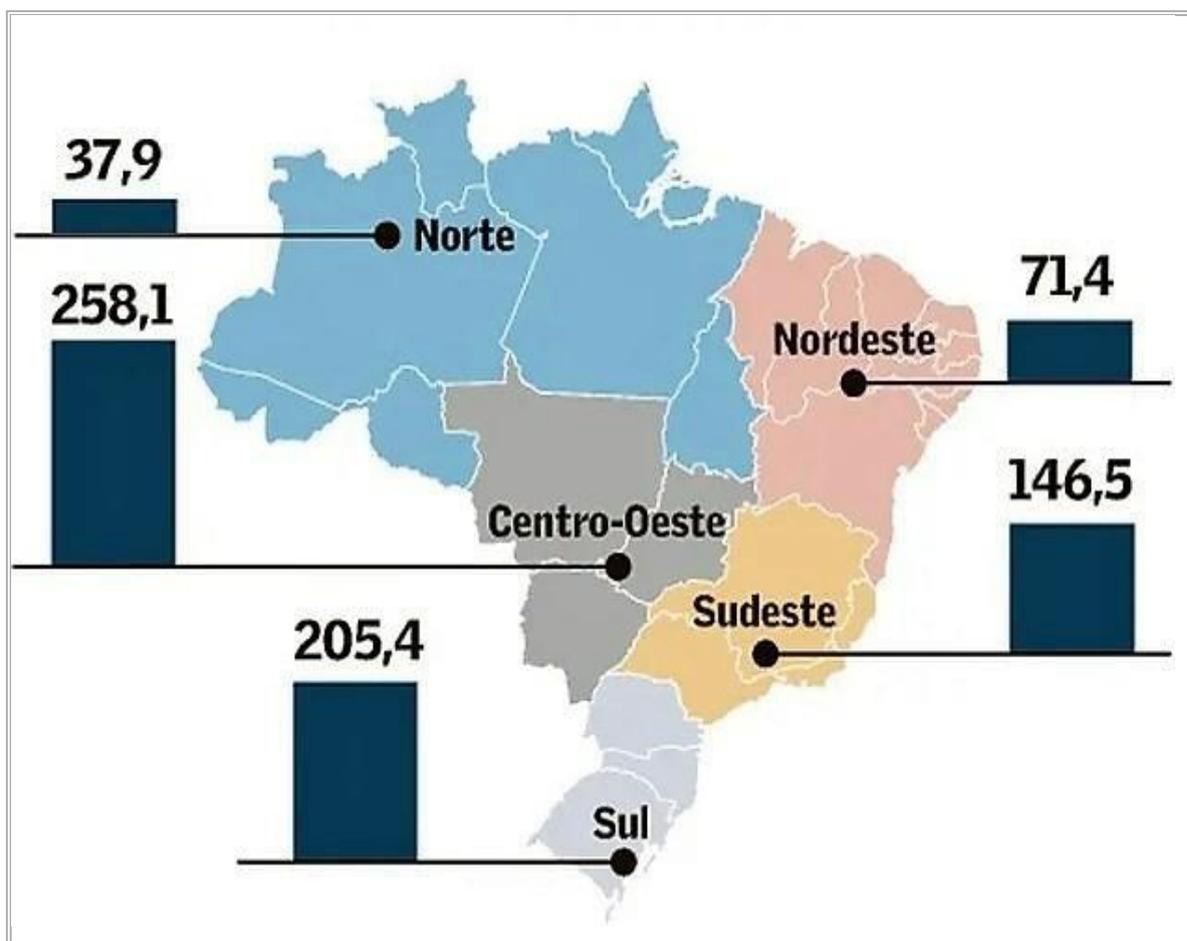


Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da FAO - *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (2022)

No âmbito regional brasileiro, os índices de consumo destes produtos tiveram forte variação decorrente das particularidades produtivas de cada um. Na região Centro- Oeste houve um consumo da ordem de 258.192,86 toneladas de agrotóxicos no ano de 2021, sendo, portanto, considerada a região com maior consumo de agrotóxicos no Brasil. Já na região Norte, tem-se os menores índices de consumo (37.971,61 toneladas) como registrado na Figura 19.

Segundo Freitas (2019), a região Centro-Oeste tem como destaque as atividades do agronegócio, que conglobera agroindústria e a produção agropecuária, se destacando na produção alimentícia. No Mato Grosso, por exemplo, as cultivares que se destacam são: a soja, o arroz, o milho, o algodão, a cana-de-açúcar; no Mato Grosso do Sul, a soja, o trigo, a cana-de-açúcar, o milho, o arroz; em Goiás, algodão, soja, milho, arroz e a cana-de-açúcar.

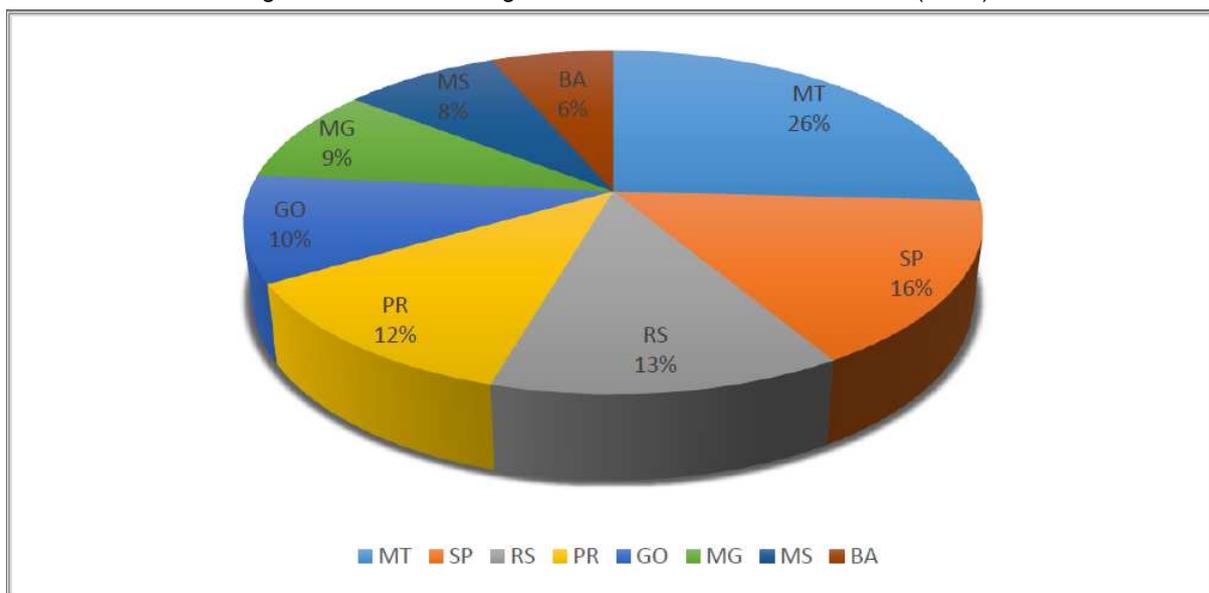
Figura 19 - Consumo de agrotóxicos por região em 2021



Fonte: IBAMA 2022 - Relatório de Consumo por Região

O consumo de agrotóxicos por Unidade da Federação também reflete a tendência regional, conforme apresentado no ranking dos estados com maior índice de uso de Agrotóxicos: Mato Grosso (26%), São Paulo (26%), Rio Grande do Sul (13%), Paraná (12%), Goiás (10%), Minas Gerais (9%), Mato Grosso do Sul (8%) e Bahia (6%) (Figura 20).

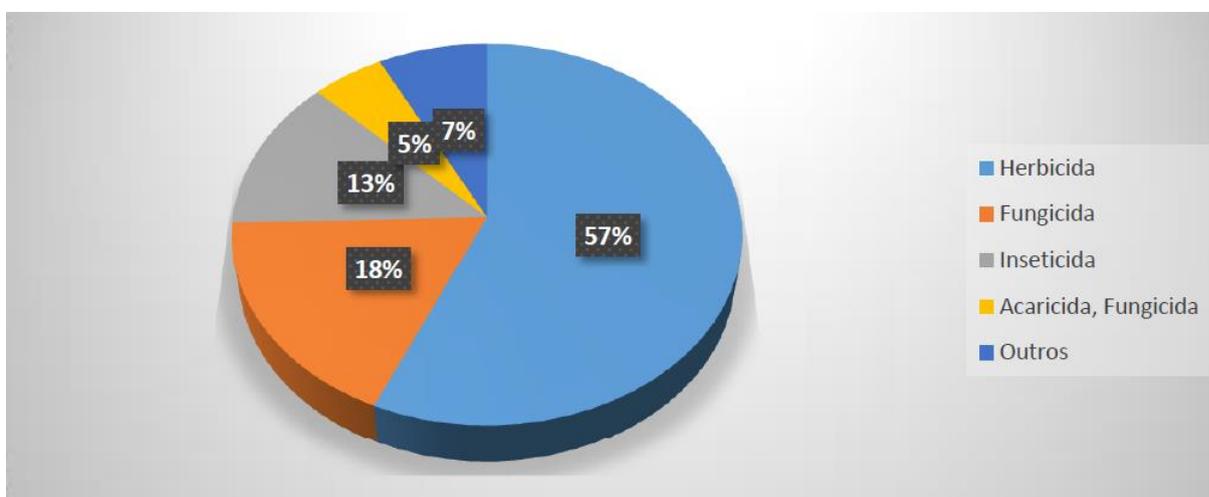
Figura 20 - Usos de agrotóxicos nos estados brasileiros (2021)



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do IBAMA 2022 - Relatório de Uso de Agrotóxicos por Estado

Com relação à distribuição dos tipos de agrotóxicos mais utilizados no Brasil, temos na Figura 21. Observa-se no que os estados nos quais mais houve consumo de agrotóxicos são justamente aqueles conhecidos por serem “celeiros” dos produtos do agronegócio. Mato Grosso lidera a produção de soja e o consumo de agrotóxicos, São Paulo lidera a produção brasileira de cana e ocupa o segundo lugar em consumo de agrotóxicos e, finalmente, Rio Grande do Sul que ocupa o terceiro lugar em produção de soja, é o terceiro estado em consumo de agrotóxicos.

Figura 21 - Uso de agrotóxicos por tipos no Brasil (2021)

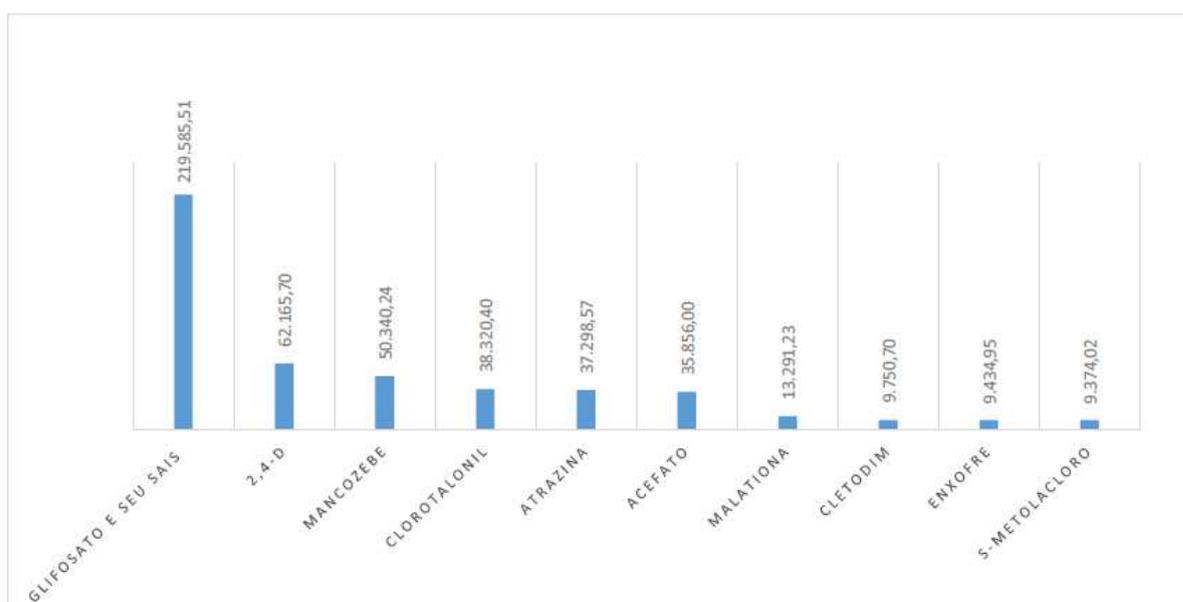


Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do IBAMA (2022)

Constata-se que dentre os tipos de agrotóxicos mais utilizados no Brasil, os herbicidas respondem por praticamente 57% do total, seguido dos Fungicida (18%) e Inseticidas (13%). No Paraná, no ano de 2017, o uso de herbicidas correspondeu a 60,58% dos agrotóxicos utilizados (SIAGRO, 2019). As culturas que mais utilizam esses produtos são: soja (52,2%), cana-de-açúcar (11,7%), milho (10,6%) e algodão (6,7%) (SINDIVEG, 2018).

De acordo com os dados do IBAMA (BRASIL, 2021), os ingredientes ativos com ação herbicida que lideram a lista dos agrotóxicos mais comercializados, tiveram, em 2021, uma quantidade comercializada da ordem de 234 mil toneladas (Figura 22). Dentre os herbicidas, o ingrediente ativo mais comercializado é o glifosato, cujo montante comercializado em 2021 ultrapassou 219 mil toneladas, respondendo por 86% dos herbicidas.

Figura 22 - Ingredientes ativos mais vendidos (toneladas) no Brasil em 2021



No estado do Ceará, segundo dados do IBAMA, no ano de 2021, dentre os dez princípios ativos de agrotóxicos mais consumidos o 2,4-D aparece na primeira posição, correspondendo a 328,51 kg vendidos nos comércios do estado, conforme a Figura 23. O 2,4-d é utilizado para o controle das plantas infestantes nas culturas de arroz, café, milho, cana-de-açúcar, soja e trigo.

Figura 23 - Ranking dos ingredientes ativos mais vendidos no Ceará em 2021



### 8.3 Toxicidade e classificação dos agrotóxicos estudados

A toxicidade é a capacidade de uma substância exercer um efeito nocivo sobre um indivíduo ou sobre a biocenose, estando dependente de diversos fatores como propriedades químicas e físicas do ambiente e da substância, concentração, duração e frequência da exposição e relação com o ciclo de vida dos organismos (RONCO; BAÉZ; GRANADOS, 2004).

A Portaria nº 03, de 16 de janeiro de 1992, do Ministério da Saúde - Secretaria de Vigilância Sanitária (BRASIL, 1992), estabeleceu em seu escopo, critérios para a classificação toxicológica dos ingredientes ativos dos agrotóxicos e de suas formulações comerciais, baseados nos agravos à saúde, decorrentes da exposição humana a esses agentes. De acordo com a portaria, fica o Ministério da Saúde, encarregado de emitir parecer quanto aos produtos técnicos, ingredientes ativos e produtos formulados, nas classes toxicológicas expostas no Quadro 17.

A classificação é baseada nos valores de DL50, que corresponde a dosagem letal do agrotóxico em 50% dos animais utilizados naquela concentração (FARIA *et al*, 2007). Por determinação legal, todos os produtos devem apresentar nos rótulos, uma faixa colorida, indicativa de sua classe toxicológica.

Quadro 17 - Classes toxicológicas

Categoria	Reclassificação toxicológica	Faixa	Nº produtos
1	Extremamente tóxico	Vermelha	43
2	Altamente tóxico	Vermelha	79
3	Moderadamente tóxico	Amarela	136
4	Pouco tóxico	Azul	599
5	Improvável de causar dano agudo	Azul	899
Não classificado	Não classificado	Verde	168

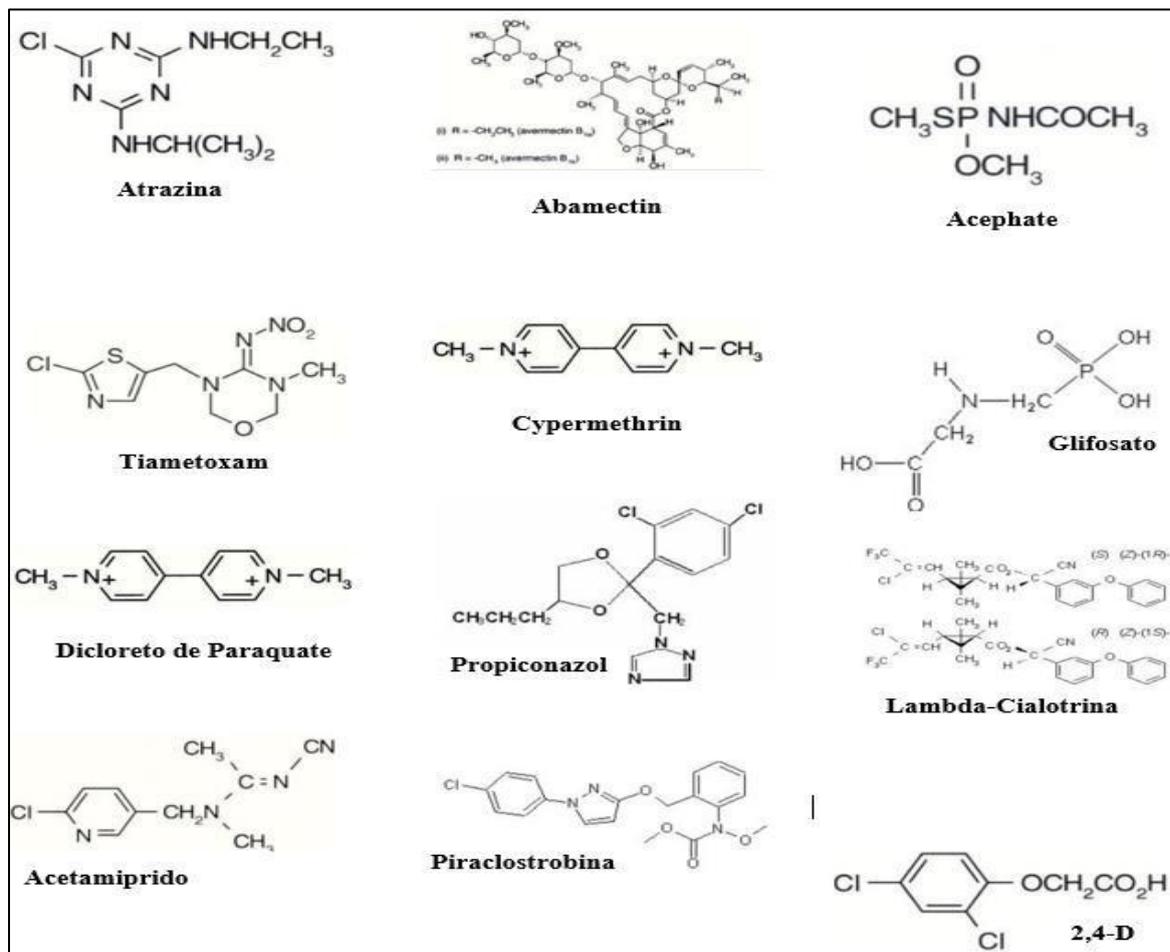
Fonte: BRASIL, 1992

#### 8.4 Estrutura química dos agrotóxicos

Do ponto de vista da estrutura química ou da origem, os agrotóxicos podem ser classificados em orgânicos e inorgânicos. Os pesticidas orgânicos podem ainda se dividir entre os de origem vegetal e os organo-sintéticos, onde, os primeiros são formados à base de nicotina, piretrina, sabadina e rotenonade, possuindo baixa toxicidade e de curta permanência no ambiente (Figura 24). Os pesticidas organoclorados são compostos com propriedades físico-químicas semelhantes, lipofílicos, à base de carbono com radicais de cloro e altamente resistentes aos mecanismos de decomposição dos sistemas biológicos (SAVOY, 2011).

Os pesticidas inorgânicos e organometálicos são em sua maioria extremamente tóxicos para os seres humanos e mamíferos. Envenenamento em massa tem ocorrido como resultado do uso de alguns fungicidas baseados em mercúrio. Pesticidas à base de arsênio, não são biodegradáveis, uma vez liberado no ambiente, eles permanecem indefinidamente na água e em organismos vivos, solos ou sedimentos, podendo entrar na cadeia alimentar (BAIRD & CANN, 2011).

Figura 24 - Estrutura química dos pesticidas mais usados no município de Limoeiro do Norte - Ceará



Fonte: ANVISA, 2014

A Tabela 2 mostra a relação de pesticida, bem como, suas classificações quanto ao modo de ação do ingrediente ativo no organismo alvo ou à natureza da praga a ser combatida, quanto aos efeitos que causa à saúde humana “toxicidade”, periculosidade no ambiente.

Tabela 2 - Relação dos pesticidas mais utilizados na agricultura de Limoeiro do Norte - Ceará

Item	Agrotóxico	Princípio ativo	Classificação toxicológica	Classificação ambiental	Classe	Grupo
01	<b>triazina 900 WG Alamos</b>	Atrazina	V - Improvável de Causar Dano Agudo	II - Produto Muito Perigoso ao Meio Ambiente	Herbicida	Triazina
02	<b>Abamectin</b>	Abamectin	IV - Pouco Tóxico	III - Produto Perigoso ao Meio Ambiente	Acaricida Inseticida	Avermectina
03	<b>Acephate</b>	Acephate	III - Medianamente Tóxico	II - Produto Muito Perigoso ao Meio Ambiente	Acaricida Inseticida	Organofosforado
04	<b>Tiametoxam</b>	Tiametoxam	II - Medianamente Tóxico	III - Produto Perigoso ao Meio Ambiente	Inseticida	Neonicotinóide
05	<b>Cypermethrin</b>	Cypermethrin	V - Improvável de Causar Dano Agudo	II - Produto Muito Perigoso ao Meio Ambiente	Inseticida Formicida	Piretróide
06	<b>Glifosato</b>	Glifosato	V - Improvável de Causar Dano Agudo	III - Produto Perigoso ao Meio Ambiente	Herbicida	Glicina substituída
07	<b>Dicloreto de paraquate</b>	Dicloreto de paraquate	I - Extremamente tóxico	II - Produto Muito Perigoso ao Meio Ambiente	Herbicida	Bipiridílio
08	<b>Propiconazol</b>	Propiconazol	V - Improvável de Causar Dano Agudo	II - Produto Muito Perigoso ao Meio Ambiente	Fungicida	Triazol
09	<b>Lambda-cialotrina</b>	Lambda-cialotrina	IV - Pouco Tóxico	II - Produto Muito Perigoso ao Meio Ambiente	Inseticida	Piretróide
10	<b>Metomil</b>	Methomy	I - Moderadamente Tóxico	II - Produto Muito Perigoso ao Meio Ambiente	Inseticida	lcarbamato de oxima
11	<b>Mancozebe</b>	Mancozebe	V - Improvável de Causar Dano Agudo	II - Produto Muito Perigoso ao Meio Ambiente	Fungicida	Alquilemos (ditiocarbamato)
12	<b>Carbossulfano</b>	Carbossulfano	II - Altamente tóxico	II - Produto Muito Perigoso ao Meio Ambiente	Acaricida caricida	Metilcarbamato de benzofuranila
13	<b>acetamiprido</b>	acetamiprido	IV - Pouco Tóxico	II - Produto Muito Perigoso ao Meio Ambiente	Inseticida	Neonicotinóide
14	<b>piraclostrobina</b>	piraclostrobina	IV - Pouco Tóxico	II - Produto Muito Perigoso ao Meio Ambiente	Fungicida	Estrobilurina
15	<b>2,4-D-trietanolamina + icloram-trietanolamina</b>	2,4-D--trietanolamina + picloram- trietanolamina	V - Improvável de Causar Dano Agudo	III - Produto Perigoso ao Meio Ambiente	Herbicida	ido ariloxialcanóico

Fonte: Federação dos Produtores do Projeto Irrigado Jaguaribe-Apodi (FAPIJA) e AGROFIT - Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários

## 8.5 Dinâmica dos agrotóxicos no solo

A agricultura moderna altamente dependente do uso de agroquímicos, nas últimas décadas passou a despertar fundamental interesse social, em virtude do seu elevado potencial de contaminação dos recursos naturais e da qualidade da água.

Para um melhor entendimento dos processos que regem a mobilidade e o direcionamento desses pesticidas no ambiente, faz-se imprescindível o conhecimento dos mecanismos envolvidos na interação desses produtos com o solo, destarte, utilizar esse conhecimento em prol da minimização dos impactos negativos causados ao meio ambiente, com especial atenção aos recursos hídricos (Figura 25).

A identificação de princípios ativos de agrotóxicos, em termos ambientais, representa um grande desafio, pois quando utilizados em cultivos, podem atingir direta ou indiretamente os corpos d'água, que conservam presença da vida aquática e demais cadeias alimentares correlatas. Quando comparadas às águas superficiais, as águas subterrâneas encontram-se mais protegidos dos fatores de contaminação, todavia, esse risco não pode ser desconsiderado, conquanto, processos como o de lixiviação, onde a água da chuva ou de irrigação percolam o solo arrastando consigo substâncias dissolvidas, podem ter como destino os aquíferos.

De maneira geral, a retenção de agrotóxicos no solo é caracterizada pelos processos de sorção e dessorção, que tendem a limitar a taxa de biodegradação, a lixiviação e outros processos relacionados à dissipação desses compostos no ambiente (SCHMIDT & SCORZA JÚNIOR, 2015).

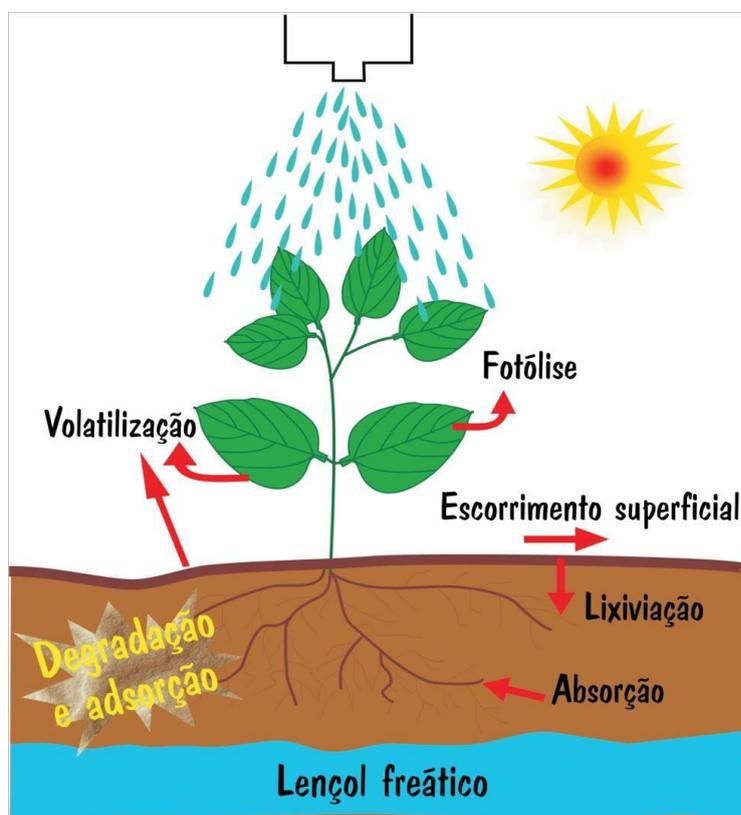
Segundo Ribeiro & Vieira (2010), uma vez aplicados no ambiente edáfico, os agrotóxicos passam a se comportar de modo complexo determinado pela dinâmica dos processos de partição entre suas fases: a fase aquosa e a biota, a fase aquosa e o sedimento, e o sedimento e a biota residente. O efeito e a magnitude decorrentes do uso de agrotóxicos no ambiente dependem basicamente dos processos de retenção, transferência, transporte e transformações que ocorrem em cada compartimento do sistema solo-água-planta-atmosfera.

O transporte destes compostos pode ocorrer através da volatilização, lixiviação e escoamento superficial. Na lixiviação os Agrotóxicos presentes no solo e solúveis em água, são transportados através do perfil do solo pela ação da água de percolação, podendo levar a contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

No processo de volatilização dos pesticidas, a pressão de vapor e a temperatura agem de modo diretamente proporcional, desta forma, sobre condições tropicais esses compostos demonstram um gradiente ascendente de volatilização, enquanto que nas zonas de temperatura mais amena, o comportamento torna-se inverso. Outro fator importante a ser considerado é o tamanho das partículas de spray, resultantes da pulverização dos Agrotóxicos nas áreas de cultivo, onde, gotículas menores sob a influência do vento, temperatura e umidade atingem o solo em volume e velocidade inferiores quando comparadas às gotículas maiores.

O escoamento superficial favorece a contaminação das águas superficiais, com o agrotóxico sendo carregado adsorvido às partículas do solo erodido ou em solução (SPADOTTO, 2002), e pode ocorrer pela erosão laminar de encostas e/ou por extravasamento de água das lavouras de arroz irrigadas por inundação, ou seja, com a manutenção de uma lâmina de irrigação sobre o solo, há maior risco do transporte de moléculas tanto dissolvidas na água de enxurrada, quanto adsorvidas às partículas coloidais em suspensão (WATANABE et al, 2007).

Figura 25 - Principais processos que governam o destino de pesticidas no solo



Fonte: Martini (2010).

## 8.6 Propriedades físico-químicas dos agrotóxicos

Para a avaliação e prognóstico quanto a movimentação e potencial de contaminação de um princípio ativo no ambiente as propriedades físico-químicas essenciais são: Solubilidade em água (S.A); Pressão de vapor; Coeficiente de partição octanol-água (Kow); constante de adsorção ao carbono orgânico (Koc); Tempo de meia vida no solo e na água (DT<sub>50</sub>); constante de Henry (KH) (QUEIROZ *et al*, 2023).

**A solubilidade em água (SW)** é uma das características mais importantes, pois ela indica, a tendência do composto ser removido do solo. Essa remoção pode se dar por escoamento superficial ou lixiviação. O valor de solubilidade nos mostra a probabilidade de um agrotóxico atingir os corpos d'água (MILHOME, 2009).

Segundo Milhome (2009) e Amaral (2011), valores elevados de solubilidade não implicam necessariamente ter maior mobilidade no solo, não obstante, para que esta sentença seja assertiva, os valores de coeficiente de partição octanol/água (Kow), também precisam ser analisados.

O coeficiente de partição Kow é definido como a razão das concentrações de equilíbrio de uma substância, na sua forma neutra, dissolvida num sistema de duas fases, Pando, C. R. F. (2018). Esse coeficiente indica a natureza lipofílica da molécula, ou seja, a afinidade por fases orgânicas, desta forma, pode-se inferir sobre a acumulação dos agrotóxicos em ambientes aquáticos e terrestres.

**A Pressão de Vapor (Pv)**, de um pesticida é definida como sendo a pressão exercida pelo pesticida em equilíbrio dinâmico, entre seus estados gasoso e líquido. Em geral, pode indicar a tendência de transporte do pesticida para a atmosfera. A pressão de vapor de um herbicida é importante para avaliar sua distribuição ou transferência no ambiente, sendo a principal propriedade a ser usada no cálculo de sua volatilização, podendo, desta forma, prevê se o mesmo está entrando na atmosfera em concentrações significativas. A temperatura, a velocidade do vento e as condições do solo de um lugar em particular, assim como as características de adsorção e a solubilidade na água do composto, afetarão a taxa de volatilidade (OLIVEIRA & BRIGHENT, 2011).

**A Constante de Adsorção ao Carbono Orgânico - Koc** é o coeficiente que gera estimativa da tendência de partição do herbicida da fase líquida para a matéria orgânica do solo, ou seja, é o reflexo da tendência de adsorção do herbicida pelo carbono orgânico do solo. Quanto mais hidrofóbica uma molécula, maior sua

tendência de partição da água para a fase orgânica. Quando a ligação hidrofóbica é a principal responsável pela adsorção de determinada molécula orgânica, os valores de Koc serão bem constantes entre os diferentes solos. O Koc tem sido constantemente correlacionado com outra propriedade química dos herbicidas, denominada coeficiente de partição octanol-água (Kow). Considera-se que a afinidade pelo octanol serve como um indicativo do grau de lipofilicidade e, portanto, também da afinidade com a MO do solo (SCHWARZENBACH *et al*, 1992).

**Tempo de Meia Vida (DT<sub>50</sub>)** em água e em solo: é o tempo necessário para que a concentração inicial do agrotóxico na água ou no solo decaia em 50% por meio de processos físico-químicos e biológicos de degradação, (ASSUNÇÃO *et al*, 2020). Para análise da dinâmica dos Agrotóxicos no meio ambiente, fora utilizada a faixa de classificação para o DT<sub>50</sub> em água, recomendada pela IUPAC - *International Union of Pure and Applied Chemistry* (2019). De acordo com esta classificação temos: valores menores que um dia - rápida degradação; valores entre um e 14 dias - degradação moderadamente rápida; valores entre 14 e 30 dias - degradação lenta; e valores superiores a 30 dias - degradação estável. Para DT<sub>50</sub> em solo foi adotada a seguinte classificação (New Zealand, 2018; National Pesticide Information Center, 2019; International Union of Pure and Applied Chemistry, 2019): valores menores ou iguais a 30 dias - DT<sub>50</sub> baixo; valores entre 30 e 100 dias - DT<sub>50</sub> médio; e valores acima ou iguais a 100 dias - DT<sub>50</sub> alto.

A **Constante da Lei de Henry (KH)**, também chamada de coeficiente de partição ambiental ar-água, juntamente com a pressão de vapor (PV) mostra a tendência do pesticida a volatilizar ou permanecer na fase aquosa. Para algumas moléculas, dependendo do valor da pressão de vapor e/ou valor da solubilidade em água, o KH dificilmente pode ser medido. O mecanismo de volatilização é expressivo para compostos cujos valores da constante de Henry adimensional (KH') é superior a  $10^{-4}$  (Stenstrom *et al.*, 1989). Além disso, esse mecanismo pode ser influenciado pelo Kow, pois elevados valores desse coeficiente favorecem a retenção dos agrotóxicos nas frações sólidas e orgânicas da água e do solo em detrimento do processo de volatilização, sendo esse efeito observado por meio da relação entre o KH' e o Kow. Segundo Rogers (1996), valores da relação KH'/Kow menores que  $10^{-9}$  indicam um baixo potencial de volatilização do composto. Os valores maiores do que  $10^{-9}$  indicam alto potencial de volatilização.

## **8.7 Novo marco regulatório de classificação dos agrotóxicos no Brasil e o sistema de controle de mercado**

Em razão da periculosidade inerente ao produto, instrumentos legais sobre registro, uso, manuseio, descarte dos agrotóxicos são indispensáveis, pois a segurança quanto aos riscos depende da qualidade do sistema, que deve garantir uma estrutura de controle e vigilância, principalmente diante da grande quantidade de produtos liberados para comércio no território brasileiro. No que se refere a questão do registro de agrotóxicos, por exemplo, deve-se regular todo o procedimento de análise da substância nociva a ser inserida na agricultura nacional, por meio de atuação eficiente dos órgãos competentes.

Com a cautela que requer a questão, o registro de agrotóxicos no país é complexo, a envolver três órgãos federais distintos e ligados ao Poder Executivo. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), responsável por avaliar a eficiência e o potencial de uso na agricultura, por meio de um dossiê agrônômico. O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), autarquia federal ligada ao Ministério do Meio Ambiente, o qual realiza um dossiê ambiental, no qual é avaliado o potencial poluidor do produto. E, por último, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), agência reguladora vinculada ao Ministério da Saúde, que produz um dossiê toxicológico a avaliar quão tóxico o produto é para a população e em quais condições o seu uso é seguro.

Em razão da toxicidade do produto, medidas preventivas devem perpassar todo o procedimento de registro do produto. Por esse motivo, antes que o Ministério da Agricultura conclua o procedimento, o IBAMA e a ANVISA devem oportunizar estudos técnicos para embasar a decisão de liberação do produto. Por outro lado, se deve considerar os inúmeros direitos envolvidos, entre os quais: o direito à saúde, bem estar, a segurança alimentar, o direito à informação, a proteção do meio ambiente, que devem ser ponderados frente ao livre exercício da liberdade econômica.

A ANVISA, órgão responsável por avaliar e classificar a toxicidade dos produtos expostos à comercialização, aprovou em 23 de Julho de 2019, por intermédio de sua diretoria colegiada, novo marco regulatório para agrotóxicos a fim de adequar-se aos padrões do Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (GHS), o qual foi lançado em 1992, durante a ECO 92, e no Brasil, endossada pela Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas

(ONU), no sentido de fortalecer os esforços internacionais relativos à gestão ambientalmente segura de produtos químicos (MAPA, 2019).

## **9 USO DE AGROTÓXICOS NO BRASIL E SITUAÇÃO INTERNACIONAL**

A utilização de agrotóxicos no Brasil teve considerável incremento, principalmente a partir do início dos anos 1990, decorrente de mudanças substanciais na dimensão da produção agrícola e na extensão das áreas cultivadas. O quantitativo de importação e consumo dessas substâncias esteve em patamares relativamente próximo aos dos demais países do Mercosul, todavia, superior à outros países gigantes na produção agrícola.

O histórico de consumo de agrotóxicos no período de 1990 a 2018 evidencia que o Brasil esteve entre os países que mais ampliaram o seu consumo, dentre as maiores economias mundiais e países componentes do Bloco Mercosul. O uso massivo de agrotóxicos no Brasil está fundamentado na necessidade de manutenção de um agronegócio, cujos pilares são o latifúndio e a monocultura, voltada para o mercado internacional de produtos primários. Essa dependência de insumos químicos é fruto do transplante de técnicas a partir da Revolução Verde e se mantém até os dias atuais por meio de políticas neocoloniais (BARBIERI, 2021).

É pacificada a ideia de que a monocultura e a indústria produtora de agroquímicos caminham lado a lado, como parte de um modelo produtivo mundial com benesses às grandes corporações em detrimento à Agricultura Familiar, responsável pela real produção de alimentos. Diante dessa dependência, lapida-se o cenário brasileiro de produção primária para exportação, onde a partir do ano de 2016, a soja figurou na primeira posição no ranking dos principais produtos exportados pelo Brasil, o que demonstra que houve um aumento no cultivo deste produto (BOMBARDI, 2017). Neste sentido, a ampliação de terras para exploração da monocultura como estratégia de atendimento ao mercado internacional obedece a lógica de incremento de insumos químicos, todavia, com perdas substanciais na produção de alimentos a serem consumidos pela população local.

Dentre as culturas que mais utilizam agrotóxicos no Brasil estão as culturas de soja, milho, cana e algodão. Somente a soja corresponde à metade de todo o agrotóxico vendido no Brasil, escancarando o binômio agrotóxicos e produtos

primários para exportação/*commodities*, sendo que este dado também aponta para o regime de latifúndio e monocultura que impera no agronegócio brasileiro (BOMBARDI, 2016). Ainda de acordo com o autor, para este modelo de monocultura, o grupo dos herbicidas, cuja finalidade é exercer um controle das plantas consideradas ervas daninha, é o que detém maior fatia de consumo.

A partir da década de 90, o Brasil vivenciou elevado incremento na produção de agrotóxicos, resultante de mudanças profundas na produção agrícola e no acréscimo de áreas cultivadas. A Tabela 3 apresenta valores absolutos da quantidade de agrotóxicos utilizados no período 1990-2020, onde foram elencadas as dez maiores economias do mundo: países representantes do BRICKS, países do NAFTA e demais países do Mercosul. De acordo com os dados apresentados, observamos que o Brasil se situou entre os que tiveram maior incremento no consumo quer comparado com países do MERCOSUL ou gigantes na produção agrícola mundial.

Em 2020, os Estados Unidos foram o maior país consumidor de agrotóxicos do mundo, com 407,8 mil toneladas métricas. O Brasil ficou em segundo lugar, com 377,2 mil toneladas consumidas. Em todo o mundo, o consumo de pesticidas foi de 2,66 milhões de toneladas naquele ano. Entre 1990 e 2010, o consumo global de pesticidas agrícolas aumentou mais de 50%, no entanto, o consumo desde então permaneceu em crescimento relativamente estável até 2015, com 2,71 milhões de toneladas, caindo ligeiramente para 2,66 milhões de toneladas em 2020.

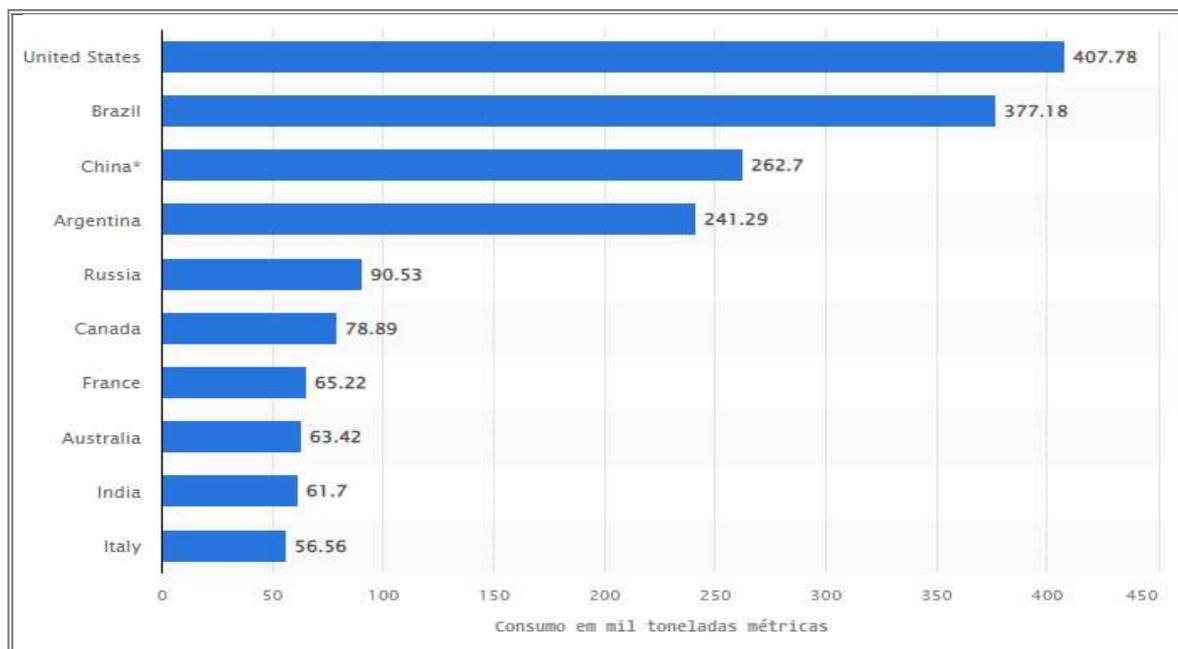
Em prosseguimento a análise dos dados da Tabela 3, observa-se que em 1990 os Estados Unidos consumiam cerca de oito vezes o volume utilizado de agrotóxicos pelo Brasil; não obstante, em 2015 a diferença de consumo entre ambos era de apenas 3%. Vale ressaltar que para o mesmo período em análise, enquanto o consumo destes produtos decaía em países desenvolvidos da Europa, em países sul-americanos com destaque para o Brasil, o consumo andava em sentido inverso, considerando ainda, que o número que levou o Brasil a esta posição, não computa os produtos ilegais e contrabandeados, que ainda são utilizados em território nacional (Figura 26).

Tabela 3 - Histórico de consumos de agrotóxicos das maiores economias mundiais e representantes de Blocos Econômicos (1990- 2020).

<b>PAÍSES</b>	<b>2020 (Ton)</b>	<b>2015 (Ton)</b>	<b>2010 (Ton)</b>	<b>2005 (Ton)</b>	<b>2000 (Ton)</b>	<b>1995 (Ton)</b>	<b>1990 (Ton)</b>
PARAGUAI	20.164,00	18.908,00	21.113,00	15.627,00	3.507,00	10.640,00	3.380,00
BRASIL	377.176,00	395.646,00	342.580,00	232.232,00	140.423,00	92.967,00	49.695,00
ARGENTINA	241.294,18	203.807,00	235.739,10	138.669,00	84.189,00	37.842,00	26.156,00
URUGUAI	16.446,00	14.067,00	14.981,00	9.232,00	3.650,00	2.413,00	1.762,00
AFRICA DO SUL	26.857,00	26.857,00	26.857,00	26.857,00	26.857,00	18.025,00	16.582,00
CHINA	273.375,00	345.983,00	339.782,00	284.885,00	250.607,00	215.215,00	154.560,00
ÍNDIA	61.701,00	56.720,00	28.707,00	35.342,00	44.957,00	61.257,00	75.000,00
CANADÁ	78.893,00	75.318,00	61.050,00	36.382,00	39.718,00	32.234,00	29.568,00
EUA	407.779,20	407.779,00	374.818,20	388.275,00	430.005,00	423.201,00	400.975,00
MÉXICO	41.681,00	48.292,00	52.000,00	30.000,00	27.000,00	27.000,00	27.000,00
JAPÃO	51.970,00	54.171,00	55.576,00	63.829,00	79.821,00	79.821,00	79.821,00
ALEMANHA	48.002,00	48.131,00	40.832,00	36.386,00	35.273,00	30.090,00	31.289,00
FRANÇA	65.216,43	66.896,00	61.903,00	78.265,00	97.878,00	84.011,00	97.701,00
ITÁLIA	56.556,00	63.322,00	71.613,00	84.647,00	79.447,00	84.153,00	100.596,00
REINO UNIDO	14.293,00	18.475,00	16.770,00	31.415,00	33.031,00	33.743,00	29.517,00
<b>MUNDO</b>	<b>2.661.125,00</b>	<b>2.716.449,00</b>	<b>2.602.517,00</b>	<b>2.280.625,00</b>	<b>2.048.000,00</b>	<b>1.832.379,00</b>	<b>1.685.494,00</b>

Fonte: FAO - *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (2022)

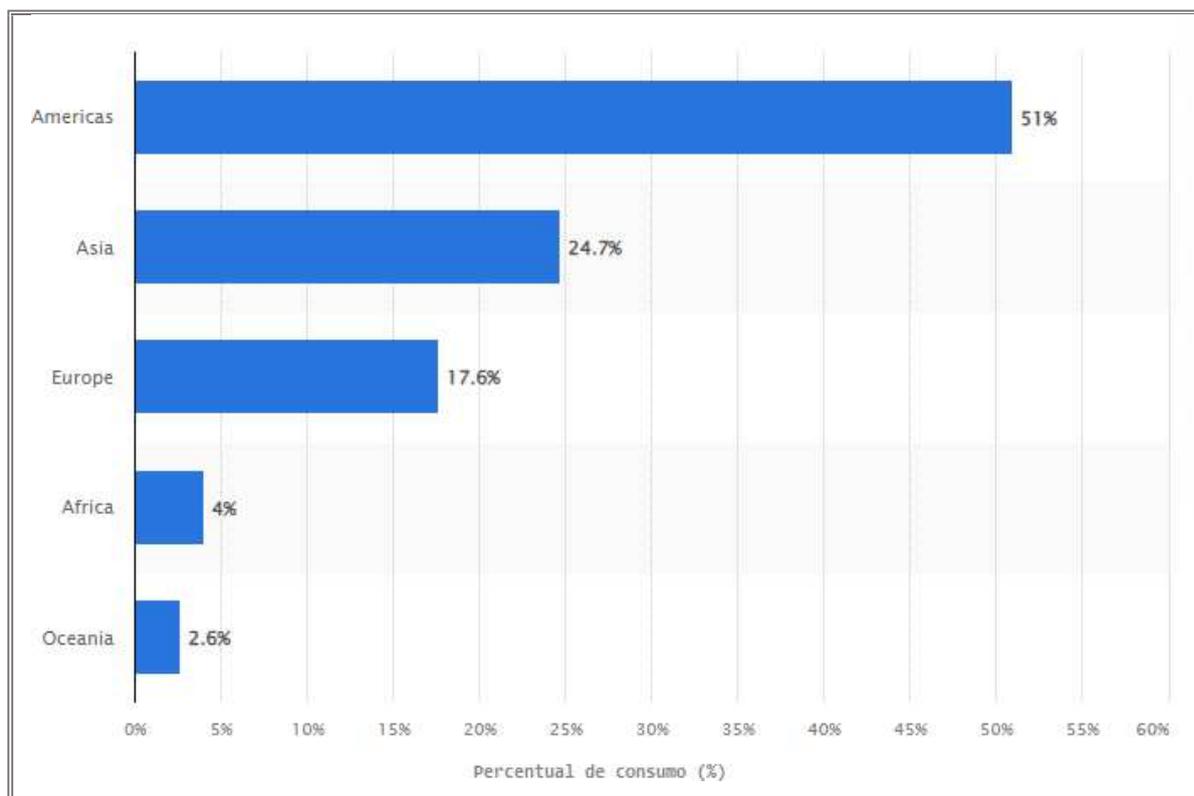
Figura 26 - Países líderes no consumo agrícola de pesticidas no mundo (2020)



Fonte: FAO - *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (2022)

Em 2020, as Américas representaram mais da metade do consumo mundial de pesticidas agrícolas. Ásia e Europa seguiram, com participações de 24,7 e 17,6 por cento, respectivamente. Enquanto isso, o consumo de pesticidas na África e na Oceania, somados, representa menos de 7% do total mundial. Naquele ano, mais de 2,6 milhões de toneladas métricas de pesticidas foram consumidas em todo o mundo (Figura 27).

Figura 27 - Distribuição do consumo de pesticidas no mundo em 2020, por região.



Fonte: FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2022)

Ano após ano, as vendas de pesticidas exportados globalmente aumentaram 4,7% em comparação com US\$ 42 bilhões em 2020, onde, os 10 maiores exportadores de pesticidas para os mercados globais são: Rússia, China, Canadá, Marrocos, Estados Unidos, Arábia Saudita, Holanda, Oman, Bélgica e Catar. Em 2021, a Rússia foi o principal exportador mundial de fertilizantes agrícolas, com um valor de exportação de aproximadamente 12,5 bilhões de dólares americanos. Seguem-se a China e o Canadá, com cerca de 11,5 e 6,6 mil milhões de dólares norte-americanos, respetivamente.

Na União Europeia (EU), muitos pesticidas são proibidos ou restritos devido aos seus impactos negativos, conforme descrito no Regulamento (CE) n.º 1107/2009 e no Regulamento (CE) n.º 396/2005 (Comissão Europeia, 2019). No entanto, as empresas de pesticidas sediadas na UE exportam grandes quantidades de pesticidas proibidos para uso no bloco para países em desenvolvimento, onde as regulamentações sobre seu uso são menos rígidas.

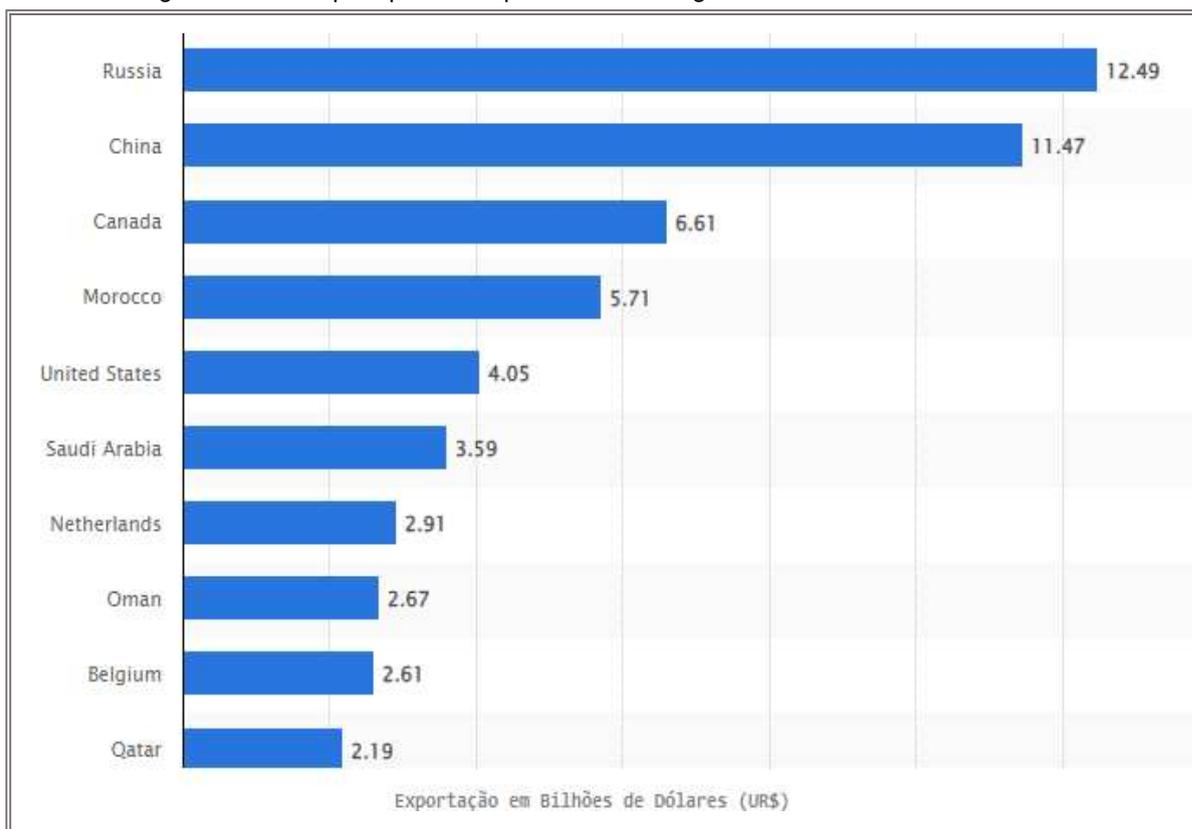
Fabricantes sediados na UE planejavam exportar 81.615 toneladas de pesticidas proibidos para uso no bloco em 2018. Mais da metade, 42.636 toneladas,

iriam para países em desenvolvimento, segundo investigação de ONGs que obtiveram dados da Agência Europeia de Produtos Químicos e reguladores na Bélgica, França, Reino Unido e Alemanha ([unearthed.greenpeace.org](http://unearthed.greenpeace.org), 2020). Os vinte principais destinos foram Brasil, México, Indonésia, Malásia, Colômbia, Ucrânia, Peru, África do Sul, Federação Russa, Marrocos, Índia, Chile, Honduras, Vietnã, Equador, Egito, Tailândia, Cuba, Turquia e Guatemala.

Em resposta à investigação publicada pela ([unearthed.greenpeace.org](http://unearthed.greenpeace.org), 2020), Baskut Tuncak, relator especial da ONU sobre tóxicos em julho do mesmo ano, através da plataforma ([www.ohchr.org](http://www.ohchr.org)) relatou que a exportação de produtos químicos proibidos para países mais pobres como uma forma de “exploração” que transferiu as consequências desses produtos para a saúde e o meio ambiente para “os mais vulneráveis”, particularmente “comunidades de ascendência africana e outras pessoas de cor”.

Segundo Pelaez *et al* (2016), o mercado mundial de agrotóxicos é extremamente concentrado. Estima-se que 13 empresas multinacionais foram responsáveis por 90% das vendas mundiais em 2014. As três maiores empresas são de origem europeia - Syngenta, Bayer e Basf –, seguidas por três empresas de origem norte-americana - Dow, Dupont e Monsanto. As demais lideram um nicho de mercado, voltado à produção de agrotóxicos com patente vencida, em que os preços são a forma de concorrência predominante (PELAEZ *et al*, 2015) (Figura 28).

Figura 28- Principais países exportadores de agrotóxicos no mundo em 2021

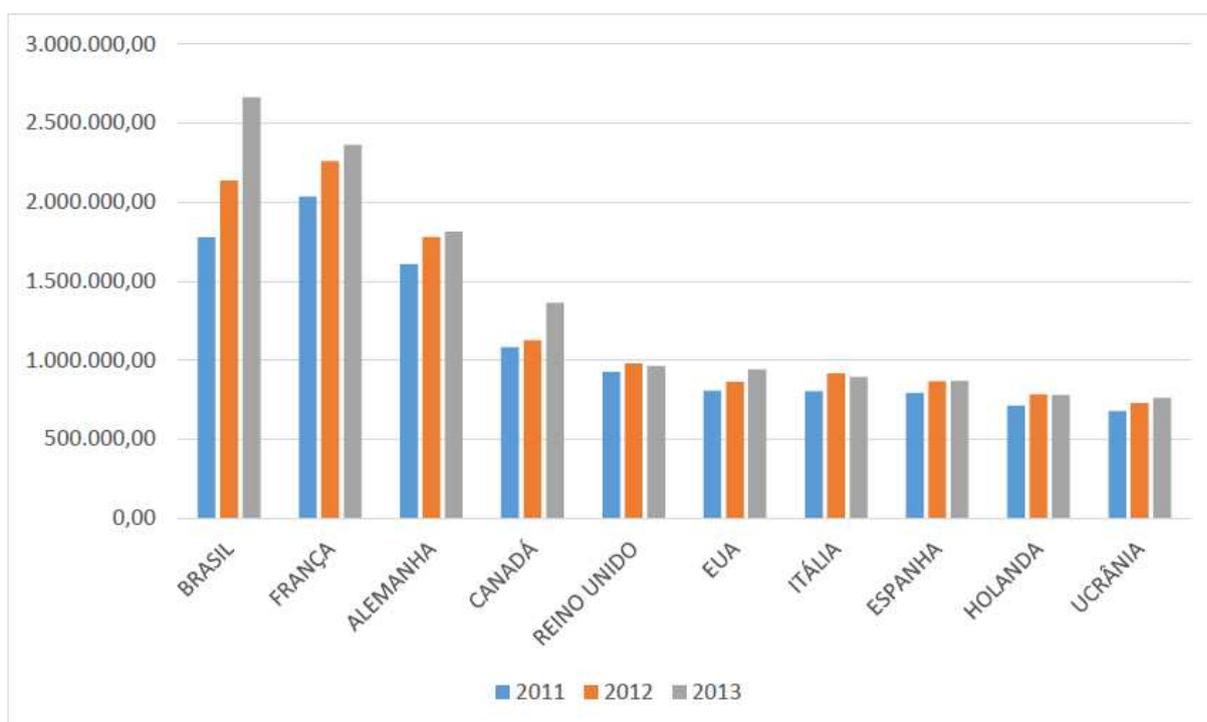


Fonte: FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2022)

Com relação à dinâmica de importação destes produtos ao redor do mundo, destacamos os dez maiores importadores de pesticidas: Brasil, França, Alemanha, Canadá, EUA, Reino Unido, Estados Unidos, Itália, Espanha, Holanda e Ucrânia, onde, o valor das importações dos cinco primeiros, equivale a 31,7% do total das importações mundiais no período de 2000–2013, com destaque para o Brasil, que passou a ser o maior importador mundial a partir de 2012.

Quando se observa a evolução das importações em peso, o Brasil superou a França em 2013. Os Estados Unidos substituíram a Itália na sexta colocação do grupo dos sete primeiros países, tornando-se a partir de 2020 o quarto maior importador mundial (Figura 29).

Figura 29 - Principais países importadores de agrotóxicos (Ton/ano) no mundo em 2021



Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados da FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2022)

A União Europeia é um importante parceiro comercial do Mercosul. Os dois blocos comerciais chegaram a um acordo sobre um livre comércio em 2019, todavia, antes de entrar em vigor, irá requerer a aprovação do Parlamento Europeu e dos parlamentos nacionais dos 27 Estados-Membros da UE e dos países do Mercosul. A espinha dorsal das novas regras é a redução imediata ou gradual de tarifas de importação entre os países europeus e sul-americanos — em muitos casos baixando os tributos a zero (AGÊNCIA SENADO, 2019). As preocupações com os impactos ambientais e sociais estavam entre as questões controversas que levaram a mais de 20 anos de negociações comerciais entre ambas as partes.

Caso o acordo comercial UE-Mercosul seja ratificado, as tarifas sobre agroquímicos serão reduzidas em até 90%, provavelmente levando a um aumento na exportação de pesticidas perigosos da UE para os países do Mercosul. A partir das tratativas é esperado que através do acordo, haja um impulsionamento das exportações de safras e produtos derivados, incluindo soja, cana-de-açúcar e etanol derivado da cana-de-açúcar - que dependem fortemente de pesticidas. O acordo também deve aumentar as exportações de produtos à base de carne, como aves,

que dependem de ração animal à base de soja, levando ainda mais ao uso de pesticidas.

Considerando que o Brasil é o maior exportador mundial de soja, carne bovina, frango e cana-de-açúcar, além de ser o segundo maior exportador mundial de grãos. Esse papel no mercado global como exportador de commodities e biocombustíveis, a partir deste acordo deverá ser intensificado, levando consigo a um aumento direto do uso de agrotóxicos, desmatamento, destruição da biodiversidade e violação dos direitos indígenas.

## **10 INCENTIVOS FISCAIS E A EXPANSÃO DAS INDÚSTRIAS DE AGROTÓXICOS NO BRASIL**

Sob a égide da necessidade de combate à fome e desenvolvimento econômico, o processo de modernização da agricultura brasileira resultou na expansão de grandes áreas de monocultura dependentes do uso de agrotóxicos. Neste cenário, de acordo com o Dossiê ABRASCO (CARNEIRO et al, 2015), o Brasil desde 2009 lidera o ranking mundial de maiores consumidores destes produtos, tendo, somente nos últimos 10 anos crescido 190% no mercado interno, conquanto, a média de crescimento do mercado mundial foi de 93%, para o mesmo período.

Na medida em que o consumo no Brasil se expande, ampliam-se os interesses tanto de produtores rurais como de produtores de pesticidas em evitar que regulações se tornem mais restritas. Esta tendência é reforçada pelo fato de que o consumo tem diminuído em vários países desenvolvidos, aumentando a importância relativa do mercado brasileiro (MORAES, 2019).

Segundo Carneiro *et al* (2015), a estrutura produtiva de agrotóxicos no Brasil conta com 130 empresas, das quais 96 são apenas para comercialização; 53% não têm a menor capacidade produtiva, são apenas importadoras, com escritórios no Brasil, mobilizando a venda de 833.000 toneladas de 936 produtos. Deste modo, há de se compreender que estas empresas representantes do capital mundial, busquem dificultar a implementação de medidas de regulação do uso de agrotóxicos no território nacional, através de estruturas político-econômicas, que elas mesmas ajudaram a construir.

Num contexto de interesses econômicos internacionais, defensores do uso de

agrotóxicos e ambientalistas travam de modo análogo, uma disputa de narrativas com vistas a sobreposição de um em detrimento do outro. Se de um lado há a defesa do uso de pesticidas baseados na segurança tecnológica, eficiência da produção e necessidade de abastecimento mundial, do outro lado, há o contraditório, baseado na proteção do meio ambiente, na segurança e saúde das populações, bem como, na responsabilidade social sobre o uso coletivo da terra.

Em meio a esta disputa, a política de omissão ante a fiscalização e regulamentação do uso de agrotóxicos, somado à política de renúncia fiscal brasileira, através de isenções ou reduções de carga tributária incidente sobre os agrotóxicos, tende a favorecer o modelo posto e, portanto, a permanência do *status quo*.

Alguns exemplos destas políticas, como: a Lei nº 10.925, art. 1º, inciso II, que trata da redução a zero das alíquotas da contribuição para o PIS e da COFINS incidentes na importação; o Decreto 6.759/2009, art.136, inciso II, alínea “h”, que trata da isenção de Imposto sobre Importação; o Decreto 8.950/2016, que versa sobre a isenção do Imposto sobre produtos industrializados; isenção de ICMS e outros, encontram alinhamento e respaldo nas três esferas de governo (federal, estadual e municipal).

Outras formas de atuação do Estado quando da proteção dos interesses do setor produtivo de agrotóxicos podem, também, se dar de modo indireto. Nesta perspectiva, observamos a existência de Registro Definitivo, conquanto, não há previsão legal para a verificações temporárias e liberação dos mesmos.

De acordo com Carneiro (2015), *“o custo pago para registro no Brasil é baixíssimo. Enquanto para a Anvisa são pagos R\$ 1.800,00, nos EUA são pagos 600 mil dólares por registro”*. Ademais, a agência de proteção ambiental americana, conta com 854 técnicos para a regularização de registros de agrotóxicos, enquanto, que no Brasil, tem-se apenas 21 técnicos aptos a realizar avaliação toxicológica (ANVISA; UFPR, 2012). Segundo Novaes (2019), se aplicadas as alíquotas regulares de ICMS, IPI,

PIS e COFINS, ao valor total dos impostos devidos pelas indústrias de Agrotóxicos no Brasil, o débito chegaria a mais de R\$ 8 bilhões e 300 milhões, podendo chegar a R\$ 10 bilhões, caso fosse também considerada a cobrança do Imposto de Importação.

Diante deste panorama, é factível a observância do alinhamento e proximidade entre setores do governo, representantes do agronegócio e produtores de insumos,

não obstante, pode-se observar ainda, a postura do Estado em prover benefícios e proteção às indústrias de agrotóxicos.

Outros modelos de produção mais sustentáveis e saudáveis, alinhados com a pauta ambiental, cuidados com a saúde coletiva e na defesa do acesso democrático à terra, são possíveis, a partir da ruptura dos sustentáculos econômicos que privilegiam o uso de agrotóxicos e, cujas benesses, tanto impactam no orçamento público, que acabam por inviabilizar a escolha de novos horizontes e novas possibilidades para o campo.

## **11 USO INTENSIVO DE AGROTÓXICOS NOS PERÍMETROS IRRIGADOS DO BAIXO - JAGUARIBE, CEARÁ**

A região do Baixo Jaguaribe é uma das microrregiões do estado do Ceará, pertencente à Mesorregião do Jaguaribe. Possui um total de dez municípios, dentre eles: Limoeiro do Norte, Quixeré, Palhano, Alto Santo, Ibicuitinga, Morada Nova, Russas, São João do Jaguaribe, Tabuleiro do Norte e Jaguaruana. Essa região vem recebendo investimentos públicos e privados, devido às potencialidades naturais que apresenta e por estar interligada aos principais centros consumidores nordestinos (CHAVES; ARAÚJO, 2009)

A cidade de Limoeiro do Norte, situada na Região Nordeste, no estado do Ceará, localizado na Mesorregião do Jaguaribe, na Microrregião do Baixo Jaguaribe, no Vale do Jaguaribe (IBGE, 2010), em virtude de possuir parte de seu território inserido na Chapada do Apodi, considerada uma das terras mais férteis do Brasil, tem experimentado forte difusão do agronegócio e, por conseguinte, intensificado o uso de agrotóxicos em suas áreas de cultivo. Estudos realizados por Santos et al (2013) e Bombardi (2011), citam que nos últimos anos o uso de agrotóxicos no município de Limoeiro do Norte, tem se intensificado, tornando a população susceptível à contaminação.

De acordo com os dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2017), o município de Limoeiro do Norte possui 1.888 estabelecimento agropecuários, destes, 818 estabelecimentos declararam fazer uso periódico de agrotóxicos, isso equivale a 30,2% do total de estabelecimentos.

No Quadro 18 podemos observar as principais lojas de venda de agrotóxicos

em Limoeiro do Norte e seu ano de instalação no referido município.

Quadro 18 - Limoeiro do Norte (CE): empresas de comércio de agrotóxicos. 1994 a 2015

Item	Empresas	Ano de Instalação	Produtos Vendidos
001	Terra Fértil	1994	Insumos químicos e biológicos
002	Agrovale	1994	Insumos químicos e biológicos
003	GROCEARÁ - W W Produtos Agropecuários Ltda	2002	Insumos químicos e mecânicos
004	Tema Agrícola	2006	Insumos químicos e biológicos
005	Natufértil Comércio e Produtos - Agricultura Orgânica	2006	Insumos químicos
006	Cidagro	2009	Insumos químicos e mecânicos
007	SCTEC. Tecnologia Agrícola Ltda	2010	Insumos químicos, biológicos e minerais
008	Cultivar Agrícola	2015	Insumos químicos e biológicos

Fonte: Chaves (2016); site Empresas do Brasil; Trabalho de campo realizado pelo autor

O cálculo para estimar o uso de agrotóxico no município, se baseou na multiplicação dos indicadores (quantidade média de agrotóxicos utilizados por hectare de determinada cultura agrícola), pelos hectares plantados das 20 culturas agrícolas mais expressivas para o município. Posteriormente, realizou-se a soma da quantidade de litros de agrotóxicos obtidos de todas as culturas agrícolas, obtendo a estimativa total do uso de agrotóxico na área estudada.

O valor total estimado de Agrotóxico utilizado no ano de 2021 no município de Limoeiro do Norte está apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Dados de produção, área plantada e média de uso de agrotóxicos em Limoeiro do Norte, Ceará

Item	Produto	Tipo de Produção	Área Plantada (ha)	Média de uso de agrotóxicos (L/ha)	Total de Litros
001	Arroz	Lavoura Temporária	658	10,00	6.580,0
002	Feijão	Lavoura Temporária	5.900	5,00	29.500,0
003	Mandioca	Lavoura Temporária	134		0,0
004	Melancia	Lavoura Temporária	100	3,00	300,0
005	Melão	Lavoura Temporária	1.000	3,00	3.000,0
006	Milho	Lavoura Temporária	2.500	7,40	18.500,0
007	Tomate	Lavoura Temporária	7	20,00	140,0
008	Banana	Lavoura Permanente	2.180	10,00	21.800,0
010	Coco da Bahia	Lavoura Permanente	147		0,0
011	Goiaba	Lavoura Permanente	114		0,0
012	Limão	Lavoura Permanente	167		0,0
013	Mamão	Lavoura Permanente	93	10,00	930,0
014	Manga	Lavoura Permanente	21	3,00	63,0
015	Arroz em casca	Cereais, leguminosas e oleaginosas	1.200	10,00	12.000,0
016	Feijão	Cereais, leguminosas e oleaginosas	1.383	5,00	6.915,0
017	Mamona	Cereais, leguminosas e oleaginosas	263		0,0
018	Milho	Cereais, leguminosas e oleaginosas	1.728	7,40	12.787,2
019	Soja	Cereais, leguminosas e oleaginosas	800	17,70	14.160,0
020	Sorgo Granífero	Cereais, leguminosas e oleaginosas	767	10,00	7.670,0
			19.162		134.345

Fonte: Chaves (2016); site Empresas do Brasil; Trabalho de campo realizado pelo autor

## 12 O USO DE AGROTÓXICOS NA AGRICULTURA E OS IMPACTOS AMBIENTAIS E NA SAÚDE

O uso intensivo de agrotóxicos como estratégia global de desenvolvimento da agricultura remonta o período pós Segunda Grande Guerra, quando as substâncias tóxicas que eram utilizadas como armas químicas durante os conflitos encontraram na agricultura um novo mercado para os seus produtos. Desta forma, indústrias bélicas redirecionaram estes venenos para a eliminação de pragas nas lavouras, nascendo o que hoje chamamos hoje de agrotóxicos.

Neste contexto, Carson (1962), traz à tona importantes questionamentos acerca da correta aplicabilidade do termo “defensivos” aos produtos que extinguem a vida. Para a autora, os agrotóxicos não deveriam ser chamados de inseticidas ou defensivos, a nomenclatura correta seria biocidas, uma vez que, ao serem utilizados, extinguem toda e qualquer forma de vida.

No Brasil, o uso dos agrotóxicos se iniciou a partir dos anos sessenta, durante a ditadura militar, acompanhando o processo mundial de modernização da agricultura, chamado de Revolução Verde. Nesta conjuntura, o governo brasileiro implementou uma série de medidas de apoio à nova estratégia produtiva mundial, dentre elas, a criação de empresas públicas de pesquisa agropecuária (EMATER e EMBRATER) e a reestruturação do papel financiador do Banco do Brasil, evidenciando assim, a importância do Estado para a concretização da Revolução Verde no país.

Diversos foram os impactos observados a partir da implementação do processo de modernização da agricultura brasileira. Com relação à questão ambiental, pode-se destacar o uso acentuado e crescente de agrotóxicos nas lavouras, considerando, que na medida em que se utilizam tais insumos para eliminação das pragas, as mesmas se tornam mais resistentes, demandando aplicação de doses cada vez mais elevadas de agrotóxicos.

Vale ressaltar o potencial toxicológico destes componentes, onde seu uso sistemático pode comprometer as estruturas de equilíbrio ambiental a partir da contaminação de solos, rios, animais, enfim de todo ecossistema.

Pignati et al (2017) relatam que *“a produção e consumo de agrotóxicos no Brasil cresceu substancialmente a partir do início dos anos 1990, em proporção relativamente próxima à dos demais países do Mercosul, mas superior à de outros grandes produtores”*. De acordo com relatório da FAO (2011), no período

compreendido entre 1991 a 2015, o Brasil cresceu cerca de sete vezes o consumo de agrotóxicos, enquanto, que os EUA no mesmo período, o crescimento foi de apenas 3%. Ainda de acordo com o estudo da FAO, o Brasil em termos absolutos, desde 2009 é o maior consumidor de agrotóxicos no Mundo, seguido pelos Estados Unidos, China, Japão e França, os quais ficam, respectivamente, nas posições seguintes.

No Ceará, de acordo com relatório do Ministério da Saúde (2016), a relação da quantidade de agrotóxicos comercializados por área plantada, teve um incremento de até três vezes no período de 2012 a 2013, saltando de 7kg/ha para 19,75kg/ha, respectivamente.

Segundo dados do IBAMA (BRASIL, 2010), os herbicidas respondem por aproximadamente 60% do total de agrotóxicos utilizados no Brasil, tendo em 2009, uma quantidade comercializada da ordem de 127 mil toneladas. Dentre os herbicidas, o ingrediente ativo mais comercializado é o glifosato, cujo montante comercializado no mesmo ano, ultrapassou 90 mil toneladas.

De acordo com Bombardi (2017), esta dimensão no consumo de agrotóxicos tem levado o país àquilo que poderíamos chamar de uma epidemia silenciosa e violenta envolvendo camponeses, trabalhadores rurais, seus familiares e, também, a população urbana em geral, sobretudo aquela que habita áreas próximas às grandes produções agrícolas.

Conforme dados do SINITOX, no período entre 2015 a 2017 foram registradas 1.521 notificações de intoxicações por uso de agrotóxicos na região Nordeste. Estima-se, ainda, que "no Brasil, para cada evento de intoxicação por uso de agrotóxico notificado, existam outros 50 não notificados" (RABELO et al, 2011).

Neste cenário, observamos que o uso de agrotóxicos com a evolução dos anos no Brasil tem se transformado em um efetivo problema de saúde público, fato pelo qual tem demandado das autoridades do governo, uma maior reflexão acerca dos normativos que preconizam e regulam sua utilização, bem como, dos pesquisadores, elevados esforços na realização de pesquisas que busquem compreender com maior clareza toda cadeia de utilização destes químicos, bem como, os impactos negativos na saúde humana e meio ambiente.

## 13 VULNERABILIDADE AQUÍFERA À POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A vulnerabilidade aquífera representa uma condição física que irá denotar o quanto é susceptível a contaminação das águas subterrâneas.

### 13.1 Método de Screening da EPA e do Índice de GUS

Para avaliação do potencial de contaminação das águas subterrâneas compreendidas na área de abrangência deste estudo, foram realizadas comparações entre os métodos de Screening da Agência de proteção ambiental Norte-americana (*Environmental Protection Agency - EPA*) e do índice de GUS (*Groundwater Ubiquity Score*). Os critérios dos modelos propostos baseiam-se em algumas das propriedades físico-químicas dos agrotóxicos, como (constante da lei de Henry (KH),  $K_{oc}$ , solubilidade em água (S) e  $DT_{50}$  no solo).

A Tabela 5 mostra os valores calculados e resultados das análises para o Índice de GUS, bem como, dos resultados do potencial de contaminação de águas subterrâneas utilizando o método *Screening/EPA*. Segundo o *Screening/EPA*, a partir da análise das propriedades físico-químicas dos agrotóxicos, aqueles princípios ativos que se enquadrem na maioria dos critérios supracitados ( $> 3$ ) indica um maior potencial de risco de transporte e, conseqüentemente, foram considerados de alto potencial contaminante das águas subterrâneas. Ao atender apenas 03 critérios foram considerados com o potencial de contaminação intermediário, e abaixo de 03 critérios, não foram considerados contaminantes (MILHOME *et al*, 2009).

De acordo com a análise da Tabela 5 para a metodologia de EPA, constata-se que 13 dos 29 agrotóxicos estudados caracterizam-se como Contaminantes em Potencial (CP), com destaques para o 2,4D, atrazina, imidacloprido e nicosulfuron, que positivaram em 05 dos 06 critérios analisados. Vale ressaltar que o 2,4 D é o 2º agrotóxico mais utilizado no Brasil, e de acordo com relatório da (ANVISA, 2014), a exposição ao uso de herbicidas à base de 2,4-D representa perigos à saúde, podendo causar desregulação endócrina, perturbações nas funções reprodutivas, alterações genéticas (efeito genotóxico), efeitos cancerígenos e o desenvolvimento da doença neurodegenerativa de Parkinson.

Tabela 5 - Comparação entre o método de Screening da EPA e Índice de GUS para avaliação do potencial de contaminação de águas subterrâneas por pesticidas utilizados em agricultura irrigada de Limoeiro do Norte, Ceará

AGROTÓXICOS	S (mg.L- 1)	Koc (mL.g- 1)	KH (Pa. m3 mol- 1)	Esp	DT50 Solo (d)	DT50 Hidr (d)	Análise EPA	Critérios de GUS		Risco em água Subterrâneo
								Índice de GUS	Análise GUS	
ABAMECTINA	○	○	●	○	●	●	IN	0,37	LN	NC
ACEFATO	●	●	●	○	○	○	IN	1,76	LN	NC
ATRAZINA	●	●	●	●	●	○	CP	3,75	PL	CP
AZOXISTROBINA	○	●	●	○	●	●	CP	2,53	FT	CP
BIFENTRINA	○	○	○	○	●	●	NC	-1,94	LN	NC
CARBOSULFANO	○	○	○	○	○	○	NC	0,03	LN	NC
CARTAPE	●	I	I	I	○	I	I	(-)	I	I
CIPERMETRINA	○	○	○	○	●	●	NC	-1,66	LN	NC
CIPROCONAZOL	○	●	●	○	○	●	CP	3,86	PL	CP
CLETODIM	●	●	●	●	○	●	CP	1,14	LN	IN
CLOROTALONIL	○	○	○	○	●	●	NC	1,44	LN	NC
CLORPIRÍFOS	○	○	○	○	●	○	NC	0,15	LN	NC
DIFENOCONAZOL	○	○	●	●	●	●	CP	1,19	LN	IN
2,4D	●	●	●	●	○	●	CP	2,25	FT	CP
ESPINOSADE	●	○	●	○	○	●	IN	(-0,62)	LN	NC
FENITROTIONA	○	●	●	○	○	●	IN	0,64	LN	NC
GLIFOSATO	●	○	●	●	○	●	CP	(-0,36)	LN	IN
IMIDACLOPRIDO	●	●	●	○	●	●	CP	3,76	PL	CP

Tabela 6 - Comparação entre o método de Screening da EPA e Índice de GUS para avaliação do potencial de contaminação de águas subterrâneas por pesticidas utilizados em agricultura irrigada de Limoeiro do Norte, Ceará - Continuação

AGROTÓXICOS	S (mg.L- 1)	Koc (mL.g- 1)	KH (Pa. m3 mol- 1)	Esp	DT50 Solo (d)	DT50 Hidr (d)	Análise EPA	Critérios de GUS		Risco em água Subterrâneo
								Índice de GUS	Análise GUS	
LAMBDA CIALOTRINA	○	○	○	○	●	○	NC	(-1,67)	LN	NC
LUFENURON	○	○	○	○	○	●	NC	(-0,75)	LN	NC
MALATION	●	○	●	●	○	●	NC	(-0,44)	LN	NC
MANCOZEB	○	○	●	○	○	○	NC	(-1,00)	LN	NC
MESOTRIONA	●	●	●	●	○	●	CP	1,47	LN	IN
METOMIL	●	●	●	○	○	○	IN	2,20	FT	IN
NICOSULFURON	●	●	●	●	●	○	CP	3,79	PL	CP
PARAQUATE	●	○	●	○	●	●	CP	(-6,95)	LN	IN
PROPICONAZOL	●	○	●	●	●	○	CP	2,25	FT	CP
TIAMETOXAN	●	●	●	○	●	I	CP	3,66	PL	CP
TRIFLOXISTROBINA	○	○	●	○	○	○	NC	0,53	LN	NC

#### SÍMBOLOS E SIGLAS

● : atende ao critério EPA; ○ : não atende ao critério EPA;

CP: contaminante em potencial; IN: intermediário potencial de contaminação; NC: não contaminante; I: inconclusivo (dado não disponível);

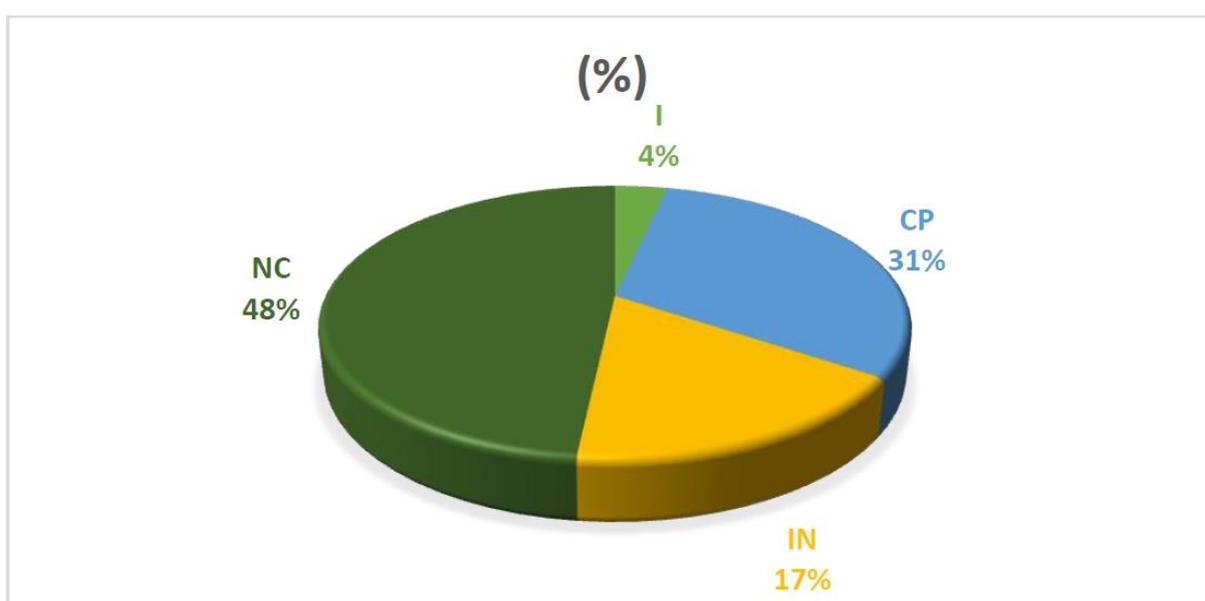
PL: provável lixiviação; FT: faixa de transição; LN: lixiviação nula

Os valores calculados para a metodologia de GUS, condizentes com a categoria provável lixiviação (PL), demonstraram que apenas 05 dos 29 agrotóxicos estudados têm elevada capacidade de lixiviação (atrazina, imidacloprido, nicosulfuron e tiametoxan).

Os resultados da combinação das duas metodologias (EPA e GUS), apontam que 09 agrotóxicos perfazem condições de enquadramento como Contaminantes Potenciais (atrazina; azoxistrobina; ciproconazol; difenoconazol; 2,4D; imidacloprido; nicosulfuron; propiconazol e tiametoxan). Para fins de atenção maior ao prognóstico de contaminação de águas subterrâneas a partir dos compostos estudados, 04 agrotóxicos merecem especial cuidado por conciliarem as características de Contaminante Potencial e Provável Lixiviação (atrazina, imidacloprido, nicosulfuron e tiametoxan).

A Figura 30 é o compilado dos resultados gerais obtidos para o potencial de contaminação em águas subterrâneas, a partir dos compostos estudados na área de abrangência de Limoeiro do Norte. Neste compilado, observamos que 48% dos agrotóxicos aplicados na região caracterizam-se como não contaminantes e, portanto, não apresentam risco potencial de contaminação em águas subterrâneas. Outros valores como 31%, 17,0% e 4%, equivalem às categorias, Contaminante em Potencial Intermediário, Contaminante Potencial e Inconclusivo, respectivamente.

Figura 30- Resultado geral por categoria, do potencial de contaminação dos agrotóxicos nas águas subterrâneas de Limoeiro do Norte - Ceará.



Legenda: NC - Não contaminante; CP - Contaminante potencial; IN - Inconclusivo

### 13.2 Avaliação da vulnerabilidade aquífera à poluição antrópica pelo método GOD

Segundo a metodologia proposta para o GOD, o índice de vulnerabilidade calculado para a área de pesquisa variou de Moderada passando a Alta e chegando a Extrema (0,48 a 0,9) com predomínio da Alta Vulnerabilidade (Figura 31).

A Tabela 7 apresenta as classes e os valores atribuídos para os parâmetros do índice de vulnerabilidade GOD.

Tabela 7 - Classes e pesos atribuídos de acordo com o índice de vulnerabilidade GOD

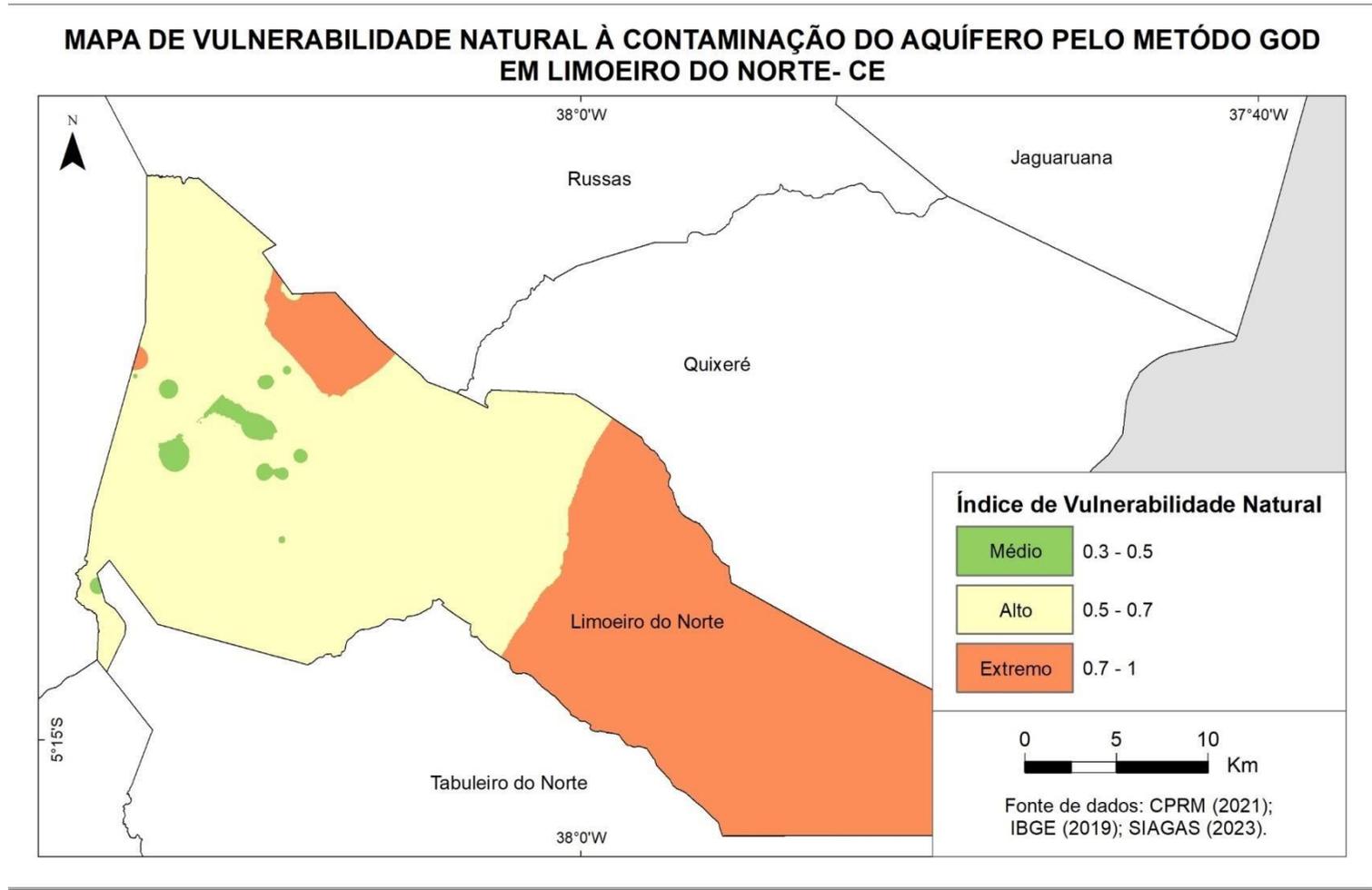
<b>Parâmetro G - Confinamento da água subterrânea</b>	<b>Valor</b>
Não confinado (Coberto)	0,6
Não Confinado	1,0
<b>Parâmetro O - Litologia e consolidação da zona vadosa</b>	<b>Valor</b>
Rochas Cristalinas	0,6
Arenito Açú e Depósito Aluvionar	0,7
Calcário Jandaira	0,9
<b>Parâmetro D - Profundidade do nível estático</b>	<b>Valor</b>
Entre 5 e 20 metros	0,8
< 5 metros	0,9
Ambiente Cárstico	1,0

Na área de pesquisa, a vulnerabilidade moderada é a que menos ocorre no município, sendo observada em pequenos pontos isolados na porção oeste da área. Sua ocorrência está associada a áreas de ocorrência do ambiente cristalino, onde o nível estático encontra-se relativamente raso (de 5 a 20 metros) dando origem a um índice GOD de 0,48.

A vulnerabilidade alta, de maior ocorrência, predominando em praticamente toda a região oeste do município, está relacionada a ambientes de ocorrência dos depósitos aluvionares onde o nível estático é bem raso (<5 metros) e ambientes de ocorrência do arenito Açú, este com nível estático relativamente raso (de 5 a 20 metros) dando origem a um índice GOD variando de 0,56 a 0,63.

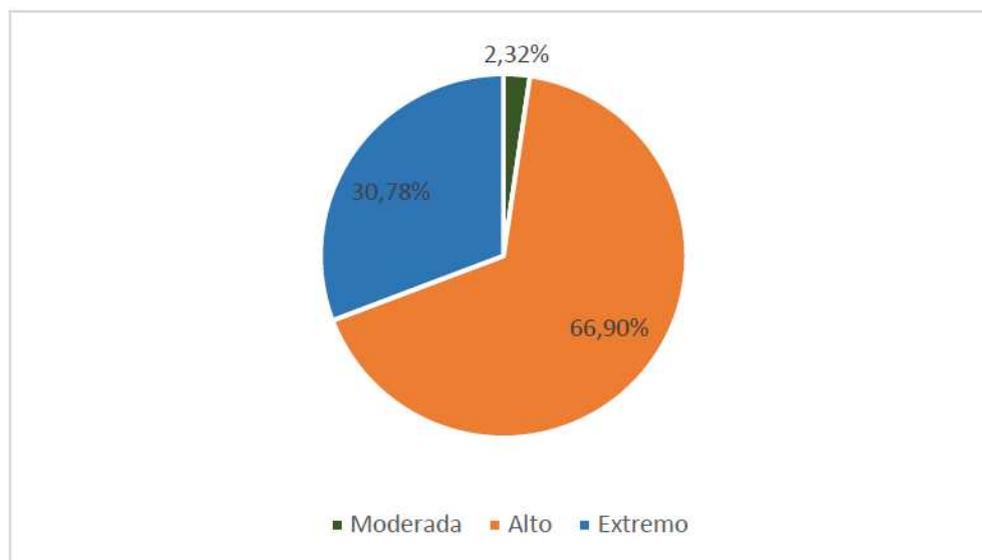
A vulnerabilidade extrema, sendo observada principalmente na região leste e em alguns pontos isolados a oeste do município, está relacionada aos ambientes cársticos onde, de acordo com a metodologia GOD, o índice "D" (nível estático) para este ambiente sempre será 1,0 independente da profundidade do nível estático, dando origem a um índice GOD de 0,9.

Figura 31 - Mapa de vulnerabilidade pelo método GOD do município de Limoeiro do Norte, Ceará



Levando em consideração a relação dos 562 poços cadastrados no SIAGAS/CPRM (2023) no município de Limoeiro do Norte com o índice de vulnerabilidade, observa-se que a maioria dos poços (66,90%) está inserida em áreas de Alta Vulnerabilidade (Figura 32).

Figura 32 - Relação entre quantidade de poços por intervalo de vulnerabilidade de acordo com a metodologia GOD



## 14 MÉTODOS DE ANÁLISES DE AGROTÓXICOS EM ÁGUA

Este item disserta sobre os métodos utilizados para análise de agrotóxicos em águas, envolvendo os padrões e solventes.

### 14.1 Padrões e Solventes

Foram utilizados padrões dos agrotóxicos acefato, atrazina, bifentrina, ciproconazol, clorpirifós, difenoconazol e malation, com pureza especificada na Tabela 8. Os solventes metanol, acetonitrila, acetona grau cromatográfico e água MILLI-Q foram usados para o preparo de soluções e extração das amostras. Os métodos cromatográficos utilizados para análise dos agrotóxicos

Tabela 8 - Padrões utilizados para análise de agrotóxicos em água.

Princípio ativo	Marca	Pureza (%)	CAS	Método de análise
Acefato	Sigma - Aldrich	99,5	30560-19-1	GC-MS
Atrazina	Sigma - Aldrich	99,1	1912-24-9	GC-MS
Bifentrina	Sigma - Aldrich			
Ciproconazol	Sigma - Aldrich	99,5	94361-06-5	GC-MS
Clorpirifós	Sigma - Aldrich	98,5	2921-88-2	GC-MS
Difenoconazol	Sigma - Aldrich	95,9	119446-68-3	GC-MS
Malation	Sigma - Aldrich			

#### 14.2 Análise de agrotóxicos por Cromatografia Gasosa Acoplada à Espectrometria de Massa (GC-MS)

Dentre os princípios ativos aplicados na região do Perímetro Irrigado Jaguaribe-Apodi, foram selecionados 9 tipos (Atrazina; Ciproconazol; Difenoconazol; azoxistrobina; 2,4D; imidacloprido, nicosulfuron, propiconazol, tiametoxan) que apresentaram alto potencial de contaminação em água subterrânea. Dentre estes, 6 agrotóxicos não reuniam condições técnicas para análise Cromatográfica Gasosa-GC-MS, (azoxistrobina; 2,4D, imidacloprido, nicosulfuron, propiconazol, tiametoxan), portanto, foram excluídos da nova etapa de desenvolvimento do estudo, dando espaço para outros 4 agrotóxicos (Acefato, Clorpirifós, Bifentrina, Malation), que, além de possuírem condições para análise Cromatográfica Gasosa, requeriam especial atenção pelo volume comercializado na região em análise.

A partir desta nova conformação de critérios, construímos novo conjunto de agrotóxicos, de acordo com a Tabela 9, para desenvolvimento de ensaio em laboratório referente a metodologia de detecção de agrotóxicos a partir de Cromatografia Gasosa (CG-MS).

Tabela 9 - Propriedades físico-químicas dos principais agrotóxicos utilizados em Limoeiro do Norte.

PRINCÍPIO ATIVO	S (mg L <sup>-1</sup> )	Log Kow	pKa	PV (mPa)	KH (Pa. m <sup>3</sup> mol <sup>-1</sup> )	DT50 Solo (d)	DT50 Hidr (d)	Koc (mL.g <sup>-1</sup> )	MM
Acefato	790.000	-0,89	8,35	2,30 X 10 <sup>-1</sup>	5,10 X 10 <sup>-8</sup>	3	50	302	183,17
Atrazina	35	2,7	1,7	3,90 X 10 <sup>-2</sup>	1,50 X 10 <sup>1</sup>	146	86	100	216,00
Bifentrina	0,001	93	NA	1,80 X 10 <sup>-2</sup>	7,74 X 10 <sup>-5</sup>	26	12	236.610	422,88
Ciproconazol	93	3.09	NA	2,60 X 10 <sup>-2</sup>	5,00 X 10 <sup>-5</sup>	142	Estável	(-)	292,00
Clorpirifós	1	4,7	NA	1,43 X 10 <sup>1</sup>	4,80 X 10 <sup>-1</sup>	50	25,5	8,15	351,00
Difenoconazol	15,0	4.36	1.07	3,33 X 10 <sup>-5</sup>	9,00 X 10 <sup>-7</sup>	120	Estável	3760	406,26
Malation	148	2.75	NA	3,10 X 10 <sup>1</sup>	1,00 X 10 <sup>-3</sup>	0,17	6,2	217	330,36

O método para análise qualitativa e quantitativa dos agrotóxicos acefato, atrazina, bifentrina, ciproconazol, clorpirifós, difenoconazol e malation em água foi otimizado utilizando o Cromatógrafo Gasoso acoplado à Espectrometria de Massas (GC-MS), Marca Shimadzu (modelo DSQII), do Laboratório de Análises de Traços - LAT (Figura 33).

Figura 33 - Cromatógrafo Gasoso acoplado à Espectrometria de Massas (GC-MS), Shimadzu, modelo QP2010 Plus, do LAT (Fonte: Acervo da pesquisa).



Fonte: Acervo da pesquisa.

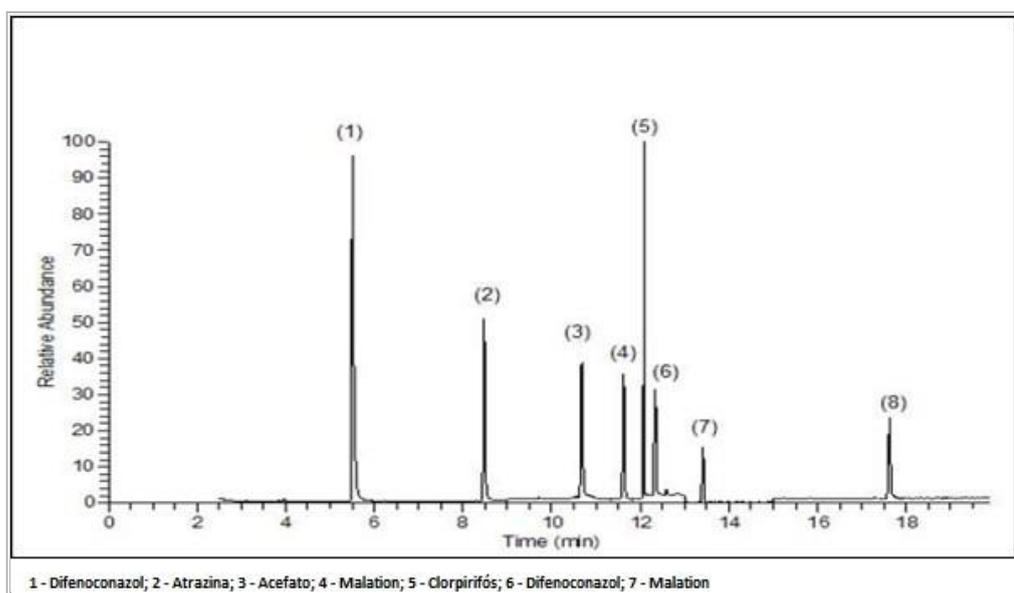
Para separação dos compostos foi utilizada a coluna RTX-5MS (5% difenil, 95% dimetilpolisiloxano) 15 m x 0,25 mm ID x 0,25 µm de filme. As temperaturas da fonte

de ionização e da interface foram 200°C e 270°C, respectivamente. A rampa de temperatura teve início a 100°C, aumentando para 150°C a uma taxa de 10°C/min, em seguida para 230°C a 5°C/min e até 280°C, a 30°C/min. Foi injetado 1 µL de amostra, no modo splitless(2 min), utilizando hélio como gás de arraste, fluxo 1 mL/min. Inicialmente o método foi determinado qualitativamente através de uma mistura 10 mg/L modo de varredura - SCAN. Para análise quantitativa foi utilizado método de monitoramento de íon selecionado - SIM (*Selected Ion Monitoring*), através da seleção das relações  $m/z$  mais abundantes, obtidos através dos cromatogramas do modo SCAN.

#### ✓ **Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massas (GC-MS)**

Foram, inicialmente, injetadas soluções individuais (10 mg/L) dos padrões dos agrotóxicos no modo SCAN (varredura) para determinação do tempo de retenção de cada composto e em seguida solução multielementar (10 mg/L) para avaliar a resolução dos picos. A rampa de temperatura utilizada mostrou-se eficiente na separação dos compostos. Método de análise por GC-MS usando modo SIM (Selected Íon Monitoring) foi obtido selecionando os íons quantitativos e qualitativos através dos espectros de massa de cada composto (Figura 34).

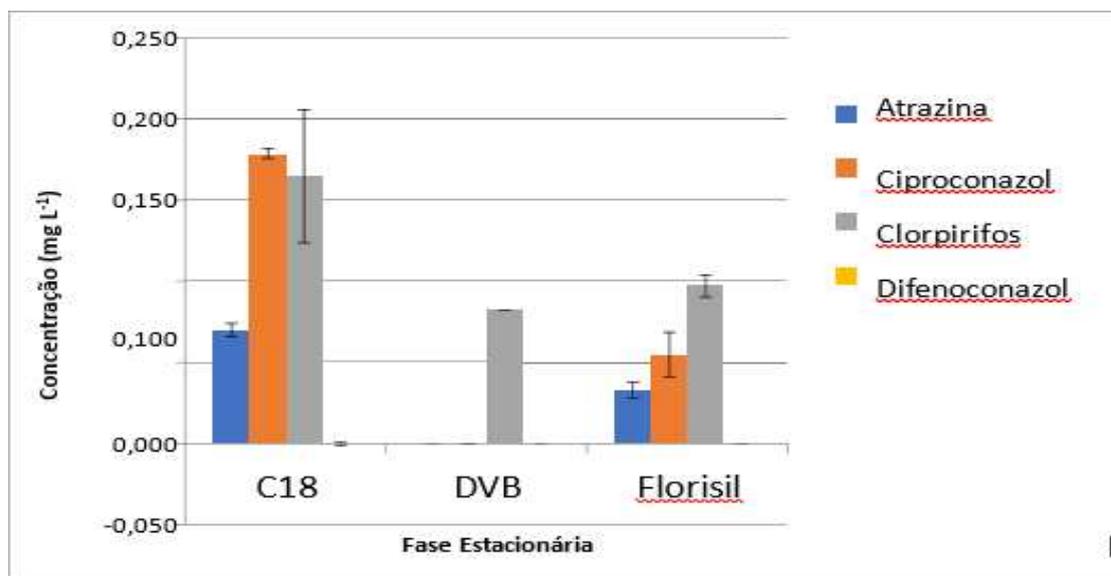
Figura 34 - Cromatograma dos agrotóxicos: (1) Difenaconazol, (2) Atrazina, (3) Acefato, (4) Malation, (5) Clorpirifós, (6) Difenaconazol, (7) Malation (Modo SIM, Conc: 10 µg/L; pH=7).



### ✓ Seleção do Tipo de Cartucho para Extração

Estudos para avaliar a percentagens de recuperação dos analitos foram realizados utilizando cartuchos, C18, DVB e florisil. Um volume de 100 mL de solução aquosa de concentração 1 µg/L dos agrotóxicos foram percoladas nos cartuchos previamente tratados, sendo posteriormente eluídas com 1 mL de metanol. No entanto os cartuchos DVB e florisil, apresentaram resultados insatisfatórios, nas condições estudadas, expressos pelas baixas percentagens de recuperação, não sendo possível quantificar os analitos de acordo com a Figura 35.

Figura 35 - Resultados das análises de teste de recuperação dos analitos com utilização de colunas.



A Tabela 10 mostra os resultados do estudo de recuperação em um nível de recuperação, utilizando cartuchos C18 e metanol como eluente. O volume do eluente (1 mL) mostrou ser suficiente para pré-concentração dos compostos, não sendo necessário a utilização de maiores volumes. Os resultados mostraram serem satisfatórios com percentuais de recuperação oscilando entre 76 a 116%. Segundo a ABNT NBR 14029.2005, a faixa de recuperação aceitável para o nível de concentração de 10 µg/L é de 60 a 115%.

A recuperação obtida para cada nível de concentração (Tabela 10) apresentou baixos valores do desvio padrão relativo (3-10%).

Tabela 10 - Resultados do percentual de recuperação de analitos

Variáveis	Atrazina	Malation	Clorpirifos	Ciproconazol	Bifentrina
<b>Conc. média (mg/L)</b>	0,19	0,65	0,13	0,14	0,04
<b>SD</b>	0,05	0,14	0,04	0,04	0,03
<b>CV</b>	0,25	0,21	0,29	0,28	0,6
<b>REC (%)</b>	0,0189	0,0648	0,0134	0,0143	0,0042

**Cv** - coeficiente de variação; **REC(%)** - Percentual de Recuperação; **S.D** - Desvio Padrão; **Conc. Média** - Concentração Média.

## 15 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O manejo de pragas e doenças dos cultivos agrícolas de Limoeiro do Norte - Ceará envolve a utilização de agrotóxicos durante todo o ano. A classe inseticida foi o grupo mais usado, com destaque para o pesticida Abamectina.

Considerando a combinação das duas metodologias (EPA e GUS), 04 agrotóxicos (atrazina, imidacloprido, nicosulfuron e tiametoxan) merecem especial cuidado por conciliarem as características de Contaminante Potencial (EPA) e Provável Lixiviação (GUS). Outra fração considerável de agrotóxicos utilizado na área de estudo, por indicarem algum potencial de contaminação variando entre intermediário a alto, também merece atenção pela possibilidade de alcançarem as coleções de águas subterrâneas, quando da concomitância entre a aplicação no solo e a precipitação hídrica.

Um volume estimado de 134.345 litros de diferentes tipos de agrotóxicos, com diferentes graus toxicológicos e efeitos diversos no organismo humano, utilizados no ano de 2021 em 19.162 hectares cultivados, com destaque para feijão, milho e banana mostra em termos quantitativos a enorme quantidade aplicada no solo de Limoeiro do Norte. Mesmo não se tendo, neste trabalho, o volume que é lixiviado e que migra para as águas armazenadas em subsuperfície, independente do volume, certamente que ninguém em sã consciência irá utilizar estas águas para uso próprio de consumo e uso doméstico (cozinhar, lavar, tomar banho). Además, no geral, ao se realizar uma análise físico- química para fins de água potável os parâmetros analisados na grande maioria dos laboratórios técnicos não contemplam pesticidas, organoclorados ou quaisquer princípios ativos existentes nos agrotóxicos, o que aumenta ainda mais a

preocupação do uso destas águas que estão à mercê destes potenciais poluentes.

A porosidade rochosa e a permeabilidade são fundamentais, em um primeiro momento, para o entendimento do grau de armazenamento e facilidade de migração da água potencialmente contaminada nos aquíferos de Limoeiro do Norte.

No caso do Aquífero Aluvial estes dois parâmetros são considerados como primários e clásticos proporcionados pelos poros, interconectados, dos componentes mineralógicos aluvionares. No caso do aquífero Jandaíra, cárstico, heterogêneo e anisotrópico, tais parâmetros, em se tratando da hidrogeologia, são secundários, proporcionados por faturamento, dissolução ou ambos, o que proporciona verdadeiros canais (sumidouros) pelos quais a água lixiviada do solo, onde foi aplicado o agrotóxico, pode migrar em grandes volumes e com grande velocidade recarregando os aquíferos que, posteriormente, serão explorados pelos diferentes tipos de poços, desde os rasos até os tubulares profundos.

Assim, o volume de agrotóxicos utilizados na região representa um risco que deixa de ser potencial para ser efetivo para as águas subterrâneas, bem precioso e fundamental para o desenvolvimento de qualquer comunidade.

Método de análise dos agrotóxicos Atrazina, Ciproconazol, Cloirpirifós e Propiconazole foram otimizados utilizando-se extração em fase sólida (SPE), onde constatou-se que, as melhores condições foram alcançadas quando da utilização de cartuchos C18 eluidos com metanol. Os resultados de recuperação variando entre 76-116% mostraram-se satisfatórios, conquanto, de acordo com a ABNT NBR 14029:2005, a faixa de recuperação aceitável para nível de concentração de 10ug/L é de 60-115%.

Após a análise de todos os itens pertinentes, bem como conclusões, procede-se as seguintes recomendações:

- Após a constatação da vulnerabilidade e risco potencial de contaminação das águas subterrâneas por uso de pesticidas no município de Limoeiro do Norte através da combinação de metodologias utilizadas nesse estudo, recomenda-se a realização de análises de resíduos de agrotóxicos em amostras de águas de poços tubulares e poços manuais (cacimbas), priorizando os pesticidas que apresentam maior potencial de lixiviação e as áreas que apresentam maior potencial de risco;
- Utilização da metodologia de extração por (SPE) nas condições propostas pelo estudo, para a detecção de agrotóxicos que demandam maior atenção na área de estudo;

- Concientização dos agricultores através de entrevistas, mídia digital e cartilhas temáticas sobre o risco, os agravos à saúde e os impactos ambientais, decorrentes da utilização inadequada de agrotóxicos;
- Que seja buscada a discussão técnica entre as diferentes comunidades municipais e as esferas governamentais responsáveis pelos recursos hídricos a fim de se manter o nível de conhecimentos e a divulgação das iniciativas vinculadas a temática água e saúde.

## REFERÊNCIAS

- ALLOUCHE, N. *et al.* **Uma abordagem de risco global para avaliar a vulnerabilidade das águas subterrâneas.** Modelagem Ambiental e Software, v. 88, 2017. p. 168-182.
- ANGELIM, L. A. A. **Unidades Litoestratigráficas.** In: Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte - Escala 1:500.000 - Recife: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2006. cap. 3, 39-41p.
- BAIARDI, A.; Mudanças Técnicas na Agricultura Medieval e o Processo de Transição para o Capitalismo. **Cadernos de Ciência e Tecnologia** (EMBRAPA), v. 14, n.3, p. 16-37, 1997.
- BARBIERI, I. B. *et al.* **O uso legal no Brasil dos agrotóxicos banidos e a justiça ecológica: as normas jurídicas como condicionante do processo de transição do banimento dos agrotóxicos altamente perigosos proibidos em seus países de origem por meio de instrumentos jurídicos internacionais de proteção.** 2021.
- BIANCHI, CAIO G. **Café e economia brasileira da ascensão à extinção do ciclo do café.** Jovens Pesquisadores-Mackenzie, v. 9, n. 1, 2012.
- BOHNE, Eberhard. **World Trade Organization.** Palgrave Macmillan, 2016.
- BOMBARDI, L. M. **Geografia do uso de agrotóxicos no Brasil e conexões com a União Europeia.** São Paulo, 2017.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto RADAM BRASIL:** Folhas SB 24/25. Jaguaribe/Natal. Levantamento de Recursos Minerais, v.23. Rio de Janeiro, 1981.748p.
- BRASIL. Ministério do Interior. SUDENE. Departamento de Recursos Naturais / França. Ministère des Affaires Economiques. Association pour L'Organisation des Missions de Cooperation Technique/ Grupo de Estudo do Vale do Jaguaribe. **Estudo geral de base do Vale do Jaguaribe: apresentação e síntese.** Recife, 1967. v.1.
- CARDOSO, C. A. M. **As obras de captação e os aspectos hidrogeológicos da Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, Estado do Ceará.** Curso de Mestrado em Geologia. Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006. 160p.
- CARLÃO, L. F. B.. **A escassez de água no mundo não é mais uma hipótese ou teoria: é o alerta para a mudança do modelo de desenvolvimento humano.** LEOPOLDIANUM, v. 44, n. 123, p. 11-11, 2018.
- CARNEIRO, F. F. *et al.* **Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde.** EPSJV/Expressão Popular, 2015.

CARSON, R. **Primavera Silenciosa**. Traduzido por Claudia Sant' Anna Martins. São Paulo: Gaia, 2010.

CASTANY, G. **Prospecção e Exploração de Águas Subterrâneas**. Editora Ômega S.A. Barcelona. Espanha. 1975. 738p.

COMTRADE. **Metadata & Reference: commodities list**. 2022. Disponível em: <http://comtrade.un.org/db/mr/rfCommoditiesList.aspx?px=H3&cc=3808>. Acesso em 12 dez. 2022.

CORCINO, C. O. *et al.* **Avaliação do efeito do uso de agrotóxicos sobre a saúde de trabalhadores rurais da fruticultura irrigada**. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 24, 2019. p. 3117-3128.

MELO, S. R. da S.; SILVA, L. M. R.; KHAN, A. S. **A fruticultura e o desenvolvimento local: o caso do núcleo produtivo de fruticultura irrigada de Limoeiro do Norte-Ceará**. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 35, n. 1, 2004. p. 39-57.

D'ALVA, O. A. **O extrativismo da carnaúba no Ceará**. 2004. [s.l.]. [s.n].

DE ASSUNÇÃO, T. de O. G. *et al.* **Novos agrotóxicos e o padrão de potabilidade da água: dinâmica ambiental e riscos à saúde**. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 17, n. 2020, 2020.

DE MORAES, R. F. **Agrotóxicos no Brasil: padrões de uso, política da regulação e prevenção da captura regulatória**. Texto para Discussão, 2019.

DE OLIVEIRA, M. F.; BRIGHENTI, A. M. **Comportamento dos herbicidas no ambiente**. 2011. [s.l.]. [s.n].

DO NASCIMENTO, E. B. *et al.* **A Cera de Carnaúba: Origem, Produção e Mercados**. 2013. In. VIII EEPA - Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial. 2019, Paraná. Anais. Disponível em: [http://www.fecilcam.br/anais/viii\\_eeпа/arquivos/12-03.pdf](http://www.fecilcam.br/anais/viii_eeпа/arquivos/12-03.pdf). Acesso em: 03 de out. de 2020

DOWLER, C. **Thousands of tonnes of banned pesticides shipped to poorer countries from Britis and European factories**. Unearthed. Disponível em: <https://unearthed.greenpeace.org/2020/09/10/banned-pesticides-eu-export-poor-countries/>. Acesso em 26 mar. 2023.

SANTOS, H. G. dos *et al.* **EMBRAPA - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

FEITOSA, F.A.C; BRANDÃO, R. L; BENVENUTI, S. M. P. **Diagnóstico do Município de Limoeiro do Norte - Programa de recenseamento de fontes de abastecimento por água subterrânea no Estado do Ceará**. 1998. [s.l.]. [s.n].

FENZL, N. **Processos geoquímicos que determinam a composição química das águas naturais**. In: Fenzl, N.; Ramos, J. F. (Org.). *Introdução à Hidrogeoquímica*. 1. ed. Belém: Universidade Federal do Pará, 1988. cap. 02. p. 33-46.

FIGUEIRA, D.G. **História**. 1ª ed. São Paulo: Ática, 2007.

MARTINS, A. L.. **História do café**. Editora Contexto, 2015. [s.l/].

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e 305 comercializações de hortaliças**. 412 p. Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Brasil, 2008.

FINKLER, N. R. *et al.* **Qualidade da água superficial por meio de análise do componente principal**. *Revista Ambiente & Água*, v. 10, 2015. p. 782-792  
<http://dx.doi.org/10.4136/ambiagua.1468>

FOLGADO, C. A. R. **Agrotóxicos: elemento de conflito socioambiental e o desmonte do sistema normativo regulatório**. 2017, pg. 83-94. Goiânia: Editora Kelps, 2017.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS (FUNCEME). **Postos Pluviométricos**. Disponível em:  
[http://www.funceme.br/index.php/areas/rede-de-monitoramento/postos-pluviométricos](http://www.funceme.br/index.php/areas/rede-de-monitoramento/postos-pluviometricos). Acesso em: 15 mar. 2023.

GOMES, C. S. **Impactos da expansão do agronegócio brasileiro na conservação dos recursos naturais**. *Cadernos do Leste*, v. 19, n. 19, 2019

GOMES, M. da C. R.; CAVALCANTE, I. N.. **Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água subterrânea**. *Águas subterrâneas*, v. 31, n. 1, 2017, p. 134-149.

HIRATA, R. *et al.* **A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento**. 2019. [s.l/]. [s.n/].

HORIKOSHI, A. S.; FISCH, G. **Balço hídrico atual e simulações para cenários climáticos futuros no município de Taubaté, SP, Brasil**. *Revista Ambiente & Água*, Taubaté, 2007. V 2, n. 2, p. 32-46.

INESP. **Caderno Regional da Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe/Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos**; Assembleia Legislativa do Estado do Ceará; Eudoro Walter de Santana (Coordenador). Fortaleza, 2009. Ceará. Coleção Cadernos Regionais do Pacto das Águas, volume 7, 111p.

INESP. **Caderno regional da Sub-bacia do Banabuiú/Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos**; Assembleia Legislativa do Estado do Ceará; Eudoro Walter de Santana (Coordenador). - Fortaleza, 2009. Coleção Cadernos Regionais do Pacto das Águas, v. 2 116p.

INESP. **Caderno regional da Sub-bacia do Médio Jaguaribe / Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos**; Assembleia Legislativa do Estado do Ceará; Eudoro Walter de Santana (Coordenador). - Fortaleza, 2009. Coleção Cadernos Regionais do Pacto das Águas, v. 6 102p.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). **Sistema de Informações Geossocioeconômicas do Ceará**. Disponível em: [http://ipecedata.ipece.ce.gov.br/ipece-data-web/module/perfil\\_municipal.xhtml](http://ipecedata.ipece.ce.gov.br/ipece-data-web/module/perfil_municipal.xhtml). Acesso em: 15 mar. 2023.

JÚNIA, R. **Agrotóxicos: um mercado bilionário e cada vez mais concentrado**. Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio, 2012.

KEGEL, W. **Contribuição ao estudo da Bacia Costeira do Rio Grande do Norte**. B. Div. Ged. Mineral, Rio de Janeiro, 1957, 170f, p1-52.

KÖPPEN, W. **Climatología con un estudio de 105 climas de la tierra**. México, Fondo de Cultura Económica, 1948. 478p.

KREIDER, W.L.; ANDERY, P.A. **Geologia da Costa do Nordeste**; relatório de 1949. Rio de Janeiro, Conselho Nacional do Petróleo, 1950. p. 36-90.

LABORATÓRIO DE CLIMATOLOGIA/UFC. **Celina: Planilha de cálculo, versão 1,0**. Departamento de Geografia, Centro de Ciências. Fortaleza, 2023.

LERNER, D.; ISSAI, A.; SIMMERS, I. **Groundwater Recharge: A guide to understanding and estimating natural recharge**. *International Association of hydrogeologist*. Hanover, vol. 8, 1990, 345p.

LIMA, M. B. S. *et al.* **Aspectos sociobiodiversos do novo marco regulatório para agrotóxicos**. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). 2020. [s.l].

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Anvisa vai reclassificar defensivos agrícolas que estão no mercado**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/anvisa-vai-reclassificar-todos-os-agrotoxicos-que-estao-no-mercado>. Acesso em: 27 de set. de 2020.

MARCEL MAZOYER & LAURENCE ROUDART. **História das agriculturas no mundo - do neolítico à crise contemporânea**. Tradução de Claudia F. Falluh Balduino Ferreira. Editora Unesp. 2010. 568p.

MARTINI, L. F. D. *et al.* **Transporte de agrotóxicos e uso de água em diferentes manejos de irrigação de arroz**. 2010. [s.l]. [s.n].

MATIAS, G. D. V.; SILVA, L. M. R. **Panorama da cultura do mamão no Estado do Ceará**. Simpósio de Inovações Tecnológicas e Gerenciais, v. 1, 2001. [s.l]. [s.n].

MATOS, A. K. V. de. **Revolução Verde, biotecnologia e tecnologias alternativas.** Cadernos da FUCAMP, v. 10, n. 12, 2010, p. 1-17. Disponível em: <http://www.fucamp.edu.br/editora/index.php/cadernos/article/download/134/120>>. Acesso em: 09 set. 2020.

MENDONÇA, R. T.; MARINHO, J. L. **Medicamentos e Agrotóxicos: um estudo comparativo.** EVS - Revista de Ciências Ambientais e Saúde, v. 35, n. 3, p. 465-479, 2008. [s.l].

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Relatório de Agrotóxicos na ótica do Sistema Único de Saúde.** Brasília: Ministério da Saúde, 2016. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/relatorio\\_nacional\\_vigilancia\\_populacoes\\_exp\\_ostas\\_agrotoxicos.pdf](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/relatorio_nacional_vigilancia_populacoes_exp_ostas_agrotoxicos.pdf). Acessado em: 12 set. 2020.

MONTEZUMA, T. de F. P. F. **A política de isenção fiscal de agrotóxicos no Brasil: discursos e interesses em disputa na ADI 5553.** Insurgência: revista de direitos e movimentos sociais, v. 5, n. 1, p. 562-577, 2019.

NISHIMOTO, R. **Global trends in the crop protection industry.** *Journal of pesticide science*, v. 44, n. 3, p. 141-147, 2019. [s.l].

NOVAES, Marcelo Carneiro. **Apresentação durante a Audiência Pública sobre Isenção Fiscal de Agrotóxicos.** Ministério Público Federal, Brasília, 27 de julho de 2019. Disponível em: <http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/dados-da-atuacao/eventos/audiencia-publica/audiencia-publica-isencao-fiscal-de-agrotoxicos/Marcelo.pdf>. Acesso em 13 set. 2020.

OHCHR. **States must stop exporting unwanted toxic chemicals to poorer countries, says UN expert.** Publicação on-line, 2020. Disponível em: <https://www.ohchr.org/en/press-releases/2020/07/states-must-stop-exporting-unwanted-toxic-chemicals-poorer-countries-says-un?LangID=E&NewsID=26063>. Acesso em 26 mar. 2023.

OLIVEIRA, A.I.; LEONARDO, O.H. **Geologia Geral.** 2 ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Serviço de Informações Agrícola. Ser. Didática, v.2. 1943. 813p.

PANDO, Cláudia Raquel Fernandes. **Estudos de Solubilidade e Coeficientes de Partição de Compostos de Relevância Ambiental.** 2018. Tese de Doutorado. Instituto Politécnico de Bragança (Portugal).

PELAEZ, V. *et al.* **A dinâmica do comércio internacional de agrotóxicos.** Revista de Política Agrícola, v. 25, n. 2, 2016. p. 39-52.

PELAEZ, V.; TERRA, F. H. B.; DA SILVA, L. R. **A regulamentação dos agrotóxicos no Brasil: entre o poder de mercado e a defesa da saúde e do meio ambiente.** Revista de Economia, v. 36, n. 1, 2010.

PES, J. H. F. **Sustentabilidade e os problemas jurídicos e políticos na tutela do Aquífero Guarani**. Anais do 2º, 2013. [s./].

PIGNATI, W. A. *et al.* **Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde**. Ciência & Saúde Coletiva, v. 22, p. 3281- 3293, 2017.

PONTES, A. G. V. *et al.* **Os perímetros irrigados como estratégia geopolítica para o desenvolvimento do semiárido e suas implicações à saúde, ao trabalho e ao ambiente**. Ciência & Saúde Coletiva, v. 18, p. 3213-3222, 2013. [s./].

QUEIROZ, L. A. P. *et al.* **Prognóstico do potencial da contaminação hídrica superficial e subterrânea dos principais agrotóxicos comercializados no Estado de Goiás**. Águas Subterrâneas, v. 37, n. 1, 2023.

REBELO, F. M. *et al.* **Intoxicação por agrotóxicos no Distrito Federal, Brasil, de 2004 a 2007- análise da notificação ao Centro de Informação e Assistência Toxicológica**. Ciência & Saúde Coletiva, v. 16, p. 3493-3502, 2011. [s./].

REBELO, R. M. *et al.* **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-Produtos agrotóxicos e afins comercializados em 2009 no Brasil: uma abordagem ambiental**. Brasília: IBAMA, 2010.

RIBEIRO, D. H. B.; VIEIRA, E. **Avaliação do potencial de impactos dos agrotóxicos no meio ambiente**. São Paulo: Centro de P & D de Proteção Ambiental, Instituto Biológico, 2010.

RONCO, A.; BAEZ, M. C. D.; GRANADOS, Y. P. **Capítulo 1. Conceptos Generales**. Mexico: IMTA, 2004. Cap. 1, p. 17-22

SANTOS, E. J.; COUTINHO, M. G. N.; COSTA, M. P. A.; RAMALHO R. **A Região de Dobramentos Nordeste e a Bacia do Parnaíba, incluindo o Cráton de São Luís e as Bacias Marginais**. In: Geologia do Brasil. DNPM. Brasília. 1984. Cap 4, 179-180p.

SAVOY, V. L. T. **Classificação dos agrotóxicos**. Instituto Biológico, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Proteção Ambiental, São Paulo, SP, Brasil, 2011. Disponível em:  
[http://www.biologico.sp.gov.br/uploads/docs/bio/v73\\_1/savoy\\_palestra.pdf](http://www.biologico.sp.gov.br/uploads/docs/bio/v73_1/savoy_palestra.pdf). Acesso em: 20 de nov. de 2020.

SCHMIDT, T. D.; SALTON, J. C.; SCORZA JÚNIOR, R. P. **Sorção e dessorção de tiametoxam e atrazina em solo sob diferentes sistemas de manejo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 19, 2015. p. 613-618. [s./].

SCHWARZENBACH, R. P.; GSCHWEND, P. M.; IMBODEN, Dieter M. **Environmental organic chemistry**. John Wiley & Sons, 2016. [s./].

SILVA, L. S. **Avaliação Qualitativa e Situação das Obras de Captação das Águas Subterrâneas na Porção Centro-Norte de Município de Quixeré, Estado do Ceará.** Monografia (Graduação em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011. 75 f.

SINITOX - Sistema Nacional de Informações Tóxico-Farmacológicas. [sinitox@icict.fiocruz.br](mailto:sinitox@icict.fiocruz.br). Acesso em 13 set. 2020.

SNA - Sociedade Nacional de Agricultura. **Brasil: 70% dos alimentos que vão à mesa dos brasileiros são da agricultura.** Disponível em: <https://www.sna.agr.br/brasil-70-dos-alimentos-que-vao-a-mesa-dos-brasileiros-sao-da-agricultura-familiar/>. Acesso em: 25 de set. de 2020.

SORJ, B. **Estado e classes sociais na agricultura brasileira.** Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais, 2008.

SOUZA, C. R. de *et al.* **Instituições prevaletentes, tradição e persistência no extrativismo da cera de carnaúba em Limoeiro do Norte - CE.** 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

TAUGER, MARK B. ***Agriculture in world history.*** Routledge, 2020.

THIESSEN, A. H. ***Precipitation averages for large areas.*** *Monthly Weather Review*, 1911 v. 39, n.7, p1082-1089.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. ***The water balance.*** *Publications in Climatology.* New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104p. [s.l].

TOLEDO, D. S. P. de *et al.* **Limites ao poder econômico e agricultura: a regulação e a regulamentação do mercado de agrotóxicos no Brasil.** 2012. Dissertação de Mestrado, Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2012.

UNIÁGUA - Universidade da Água. **Água no Planeta.** Disponível em: [www.uniagua.org.br/aguaplaneta.html](http://www.uniagua.org.br/aguaplaneta.html). Acesso em: 12 fev. 2023.

UNICEF; ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. ***Progress on sanitation and drinking water: 2015 update and MDG Assessment.*** Genebra: World Health Organization Press, 2015. [s.l].

VASCONCELOS, N. S. *et al.* **Qualidade das águas subterrâneas de área irrigada da comunidade de Pau Branco em Mossoró (RN).** *Holos*, v. 1, 2013.

VASCONCELOS, S. M. S. **Estimativa da Recarga Subterrânea a partir do Balanço Hídrico - Exemplo de Fortaleza, (CE).** *Revista de Geologia*, Fortaleza, 1994. V.7., p. 27 - 34.

VIEIRA, S. **Acordo Mercosul-UE deve baratear produtos, mas forçar eficiência e produtividade.** Agência Senado, v. 10, 2019. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/infomaterias/2019/08/acordo-mercosul-eu-deve-baratear-produtos-mas-forcar-eficiencia-e-produtividade>. Acesso em 26 mar. 2023.

WORLD HEALTH ORGANIZATION *et al.* ***International code of conduct on the distribution and use of pesticides: Guidelines for the Registration of Pesticides.*** World Health Organization, 2011.