

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

**ORIGENS DO NITRATO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E FERRAMENTAS PARA A GESTÃO
DA CONTAMINAÇÃO**

Andréia de Pádua Mendonça Ribeiro

São Paulo
2020

ANDRÉIA DE PÁDUA MENDONÇA RIBEIRO

Origens do Nitrato nas águas subterrâneas e ferramentas para a gestão da contaminação

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do título de Especialista em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields.

Orientador: Prof. Fábio Netto Moreno

São Paulo

2020

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-publicação

RIBEIRO, Andréia de Pádua Mendonça

Origens do nitrato nas águas subterrâneas e ferramentas para a gestão da contaminação / A. P. M. RIBEIRO -- São Paulo, 2020.

55 p.

Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.

1.Águas subterrâneas 2.Nitratos 3.Contaminação do solo I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Química II.t.

RESUMO

RIBEIRO, Andréia de Pádua Mendonça. **Origens do Nitrato nas águas subterrâneas e ferramentas para a gestão da contaminação.** 2020. 55 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

Este trabalho teve como objetivo elencar aspectos pertinentes à origem e à gestão de águas subterrâneas contaminadas por nitrato. O estudo mostrou que a contaminação por nitrato é mundialmente reconhecida e monitorada, acometendo principalmente os grandes centros urbanos ou espaços destinados a atividades agropecuárias. As atividades antrópicas se mostraram imperiosas para o aumento da concentração de nitrato nos aquíferos ao longo dos anos, reflexo do aumento populacional e uso de fertilizantes nitrogenados. O excesso de nitrato nas águas está associado às doenças do “bebê azul”, câncer na tireoide e aumento nas taxas de aborto, além de ser extremamente tóxica aos peixes. Tais problemas evidenciam a necessidade de maior conhecimento sobre o poluente e da manutenção da qualidade dos aquíferos, uma vez que o tratamento de águas contaminadas é oneroso, e muitas vezes, inviável.

Palavras-chave: Águas subterrâneas. Nitratos. Contaminação do solo.

ABSTRACT

RIBEIRO, Andréia de Pádua Mendonça. **Origins of Nitrate in groundwater and tools for the management of contamination.** 2020. 55f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

This work aimed to list aspects relevant to the origin and management of groundwater contaminated by nitrate. The study showed that nitrate contamination is globally recognized and monitored, affecting mainly large urban centers or spaces intended for agricultural activities. Human activities have proved to be imperative for the increase of nitrate concentration in aquifers over the years, reflecting the population increase and the use of nitrogen fertilizers. The excess of nitrate in the water is associated with “baby blue” diseases, thyroid cancer and increased abortion rates, in addition to being extremely toxic to fish. Such problems highlight the need for greater knowledge about the pollutant and the maintenance of the quality of aquifers, since the treatment of contaminated water is costly and, in most cases, unfeasible.

Keywords: Groundwater. Nitrates. Ground contamination.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Consumo de água por setores nas regiões do Brasil.....	13
Figura 2 – Consumo de água no Brasil por setores de atividades.	13
Figura 3 – Mapa dos recursos hídricos subterrâneos do mundo.....	15
Figura 4 – Classificação dos aquíferos de acordo com o tipo de porosidade.....	17
Figura 5 – Áreas de recarga do aquífero.....	19
Figura 6 – Ciclo do nitrogênio na natureza.....	33
Figura 7 – Poluição por Nitrogênio Inorgânico (Nitrito + Nitrato) em bacias pelo mundo ...	37
Figura 8 – Aquíferos do Estado de São Paulo e pontos de monitoramento de qualidade ..	39
Figura 9 – Histórico do IPAS por aquíferos de 2015 a 2018.	40
Figura 10 – Histórico das concentrações de Nitrato no SAB de 2001 a 2018.....	44
Figura 11 – Concentrações de nitrato nas amostras do primeiro ensaio.....	47
Figura 12 – Concentrações de nitrato nas amostras do terceiro ensaio.....	47

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPAS	Indicador de Potabilidade das Águas Subterrâneas
ONU	Organização das Nações Unidas
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
SAB	Sistema Aquífero Bauru
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SIGRH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

LISTA DE SÍMBOLOS

Ca	Cálcio
Mg	Magnésio
K	Potássio
Mg	Miligrama
L	Litro
pH	Potencial Hidrogeniônico
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVO.....	11
3. METODOLOGIA.....	12
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
4.1. DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO BRASIL E NO MUNDO	12
4.2. HIDROGEOLOGIA	15
4.3. PRINCIPAIS IMPACTOS SOBRE AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	20
4.4. FONTES POTENCIAIS DE POLUIÇÃO.....	22
4.5. LEGISLAÇÃO SOBRE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	25
4.6. QUALIDADE DOS AQUÍFEROS	28
4.7. CICLO DO NITROGÊNIO.....	33
4.8. CONTAMINAÇÃO POR NITRATO	35
4.9. PREVENÇÃO E CONTROLE DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	44
4.10. TECNOLOGIAS DE REMOÇÃO E DE REMEDIAÇÃO DO NITRATO.....	45
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
REFERÊNCIAS.....	50

1. INTRODUÇÃO

A utilização da água subterrânea é uma alternativa para suprir a demanda de abastecimento de populações pois, muitas vezes, necessita apenas de simples desinfecção (CETESB, 2020). Segundo a Agência Nacional de Águas - ANA 2020, a água doce representa 2,5% do total, onde 1% encontra-se nos rios, 30% são águas subterrâneas e 69% é de difícil acesso, localizado nas geleiras. Devido a possibilidade de problemas futuros no abastecimento, a preservação dessas reservas se tornou uma grande preocupação.

Apesar da proteção natural dos aquíferos, o aumento da demanda, o uso indiscriminado das águas subterrâneas e a complexidade da composição dos resíduos e efluentes tem causado a contaminação do solo e das águas subterrâneas. As principais fontes de contaminação dos aquíferos são os lixões, os aterros sanitários e de resíduos de atividades industriais, o despejo de esgotos domésticos sem tratamento e o uso incorreto de agrotóxicos (MMA/MEC/IDEC, 2005).

O nitrato é a forma mais oxidada do nitrogênio, sendo formado durante os estágios finais da decomposição biológica, apresentando elevada mobilidade no perfil do solo e, portanto, maior potencial de alterar a qualidade da água subterrânea (BIGUELINI; GUMY, 2012).

Dentre deste contexto, a contaminação das águas subterrâneas por nitrato tem se tornado cada vez mais comum e, quando presente em concentrações acima dos valores de potabilidade (10 mg/L, Portaria de Consolidação nº 5/2017, do Ministério da Saúde), pode ser danoso à saúde humana, o que pode demandar a necessidade de implementação de sistema de tratamento terciário das águas, ou medidas de intervenção, tais como a remediação ou a restrição ao consumo da água subterrânea, dependendo do nível de contaminação e da extensão da área contaminada.

Das diversas formas de nitrogênio presentes no solo, a amônia e em especial o nitrato podem ser causas da perda de qualidade da água. A presença de amônia na água subterrânea indica que a contaminação pode ser recente, não tendo transcorrido tempo suficiente para sua oxidação (BIGUELINI; GUMY, 2012)

O presente estudo consiste de uma revisão bibliográfica que aborda os principais aspectos relacionados à origem e a gestão de águas subterrâneas

contaminadas por nitrato incluindo as principais fontes de contaminação por nitrato nas águas subterrâneas, o monitoramento desta substância nos aquíferos do Estado de São Paulo, os instrumentos legais de prevenção e controle de qualidade da água subterrânea e as técnicas para o seu tratamento e remediação.

2. OBJETIVO

O objetivo desta monografia foi elencar aspectos dos principais aspectos pertinentes à origem e à gestão de águas subterrâneas contaminadas por nitrato.

São objetivos específicos:

- citar a distribuição das águas subterrâneas no Brasil e no mundo;
- introduzir conceitos importantes sobre hidrogeologia;
- discorrer sobre os principais impactos sobre as águas subterrâneas;
- relacionar fontes potenciais de poluição;
- relatar sobre a legislação sobre águas subterrâneas;
- falar sobre a qualidade dos aquíferos;
- relatar o ciclo do nitrogênio;
- escrever sobre a contaminação por nitrato;
- comentar sobre a prevenção e controle da qualidade das águas subterrâneas;
- citar as tecnologias de remoção e de remediação do nitrato;
- apresentar estudo de caso sobre remediação de aquíferos contaminados por nitrato.

3. METODOLOGIA

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica, entre os meses de junho a novembro de 2020, baseada em análise da literatura e busca de informações a partir de artigos científicos e livros, utilizando plataformas de busca como Google Acadêmico, Scielo. Foram usadas as palavras chave “águas subterrâneas”, “contaminação”, “nitrato”. Além disso, foram utilizados relatórios técnicos, dissertações, manuais técnicos, documentos normativos e a legislação nacional. Todas as referências utilizadas foram listadas ao final deste trabalho.

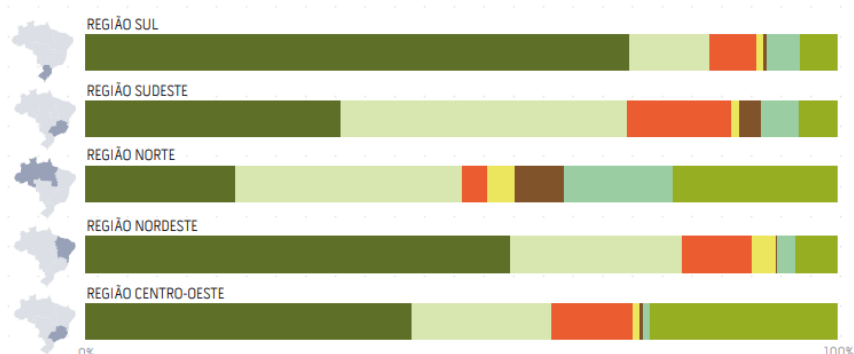
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO BRASIL E NO MUNDO

A água é indiscutivelmente o recurso natural indispensável para a manutenção da vida. A lei nº 9.433 de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, destaca a água como: “um bem fundamental dotado de valor econômico” e que, por isso, deve ser preservada”. O Brasil tem quase um quinto das reservas hídricas mundiais, porém com distribuição desigual (CERATTI, 2016).

A irregularidade na distribuição de recursos pelo país é notada pelo fato de que, segundo a ANA (2020), aproximadamente 80% da água superficial está localizada na região Amazônica, que possui baixa densidade demográfica e pouca demanda por uso. A Figura 1 apresenta o consumo de água por setores de consumo em cada região do país.

Figura 1 – Consumo de água por setores nas regiões do Brasil.

DEMANDA DE ÁGUA POR REGIÃO GEOGRÁFICA

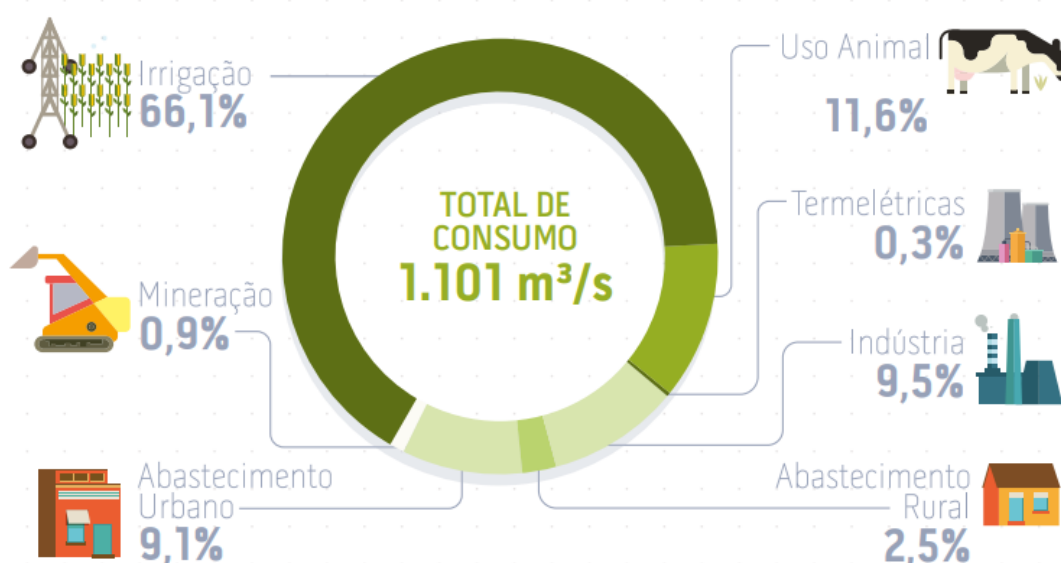
Fonte: ANA, 2019

A distribuição se torna um fator crítico uma vez que as regiões mais populosas, com uso maciço da água para as atividades econômicas como abastecimento e irrigação de grandes áreas de plantio são aquelas com menor disponibilidade de recursos (ANA, 2019). A Figura 2 apresenta a quantidade de água, em porcentagem, consumida por cada uma das atividades econômicas.

Figura 2 – Consumo de água no Brasil por setores de atividades.

TOTAL DE ÁGUA CONSUMIDA NO BRASIL

Média anual (2018)



Fonte: ANA, 2019

Aliado ao problema de distribuição, outras distorções são notadas quando são analisados os dados de 2018 relativos aos serviços de abastecimento de água tratada no Brasil, fornecidos pelo Instituto Trata Brasil (2020), os quais mostraram que 83,6% dos brasileiros tem acesso a esse serviço, o que revela que cerca de 35 milhões de brasileiros não possui acesso à água própria para consumo. Ademais, apenas 57,05% da população da região norte é abastecida com água tratada, com uma diferença discrepante comparado à região Sudeste, que alcança o valor de 91%. Cajazeiras (2007, p.3) discute outro ponto importante no abastecimento de água:

O problema de abastecimento de água não advém só da quantidade de água, mas, principalmente, da má qualidade da água disponível, sendo muitas vezes um fator determinante no quadro de escassez, sobretudo nas grandes cidades onde a poluição compromete os mananciais e acarreta inúmeros outros problemas, dos quais os mais visíveis são as enchentes e as doenças de veiculação hídrica.

Tanto a disponibilidade e distribuição quanto o saneamento contribuem para o agravamento da crise hídrica no país, sendo necessário a busca por outras fontes de água potável. As águas subterrâneas, mostraram-se uma alternativa para suprir a demanda de água de todos os setores usuários. Apesar de uma quantidade baixa em relação aos demais setores, a água destinada ao uso doméstico, em grande parte, é de origem subterrânea. Segundo ANA (2007, p.63) “embora o uso do manancial subterrâneo seja complementar ao superficial em muitas regiões, em outras áreas do país, a água subterrânea representa o principal manancial hídrico”.

Segundo dados de 2018 do Instituto Trata Brasil (2020), 5.570 municípios brasileiros são abastecidos por águas subterrâneas, sendo que 18% da água subterrânea extraída é utilizada para abastecimento público urbano. Já de acordo com a CETESB, no ESP a maioria dos municípios (80%) utilizam as águas subterrâneas como recurso hídrico principal ou complementar, ou único para o abastecimento público de água (CETESB, 2010). Na região metropolitana, embora seja empregado majoritariamente o recurso hídrico superficial na rede de distribuição de água, Hirata et al (2019) estimam que as águas subterrâneas representam cerca de 18% do volume total utilizado na região como solução alternativa ao abastecimento público, tanto para uso doméstico quanto uso industrial e de serviços. Portanto, é premente a necessidade do uso sustentável das águas subterrâneas.

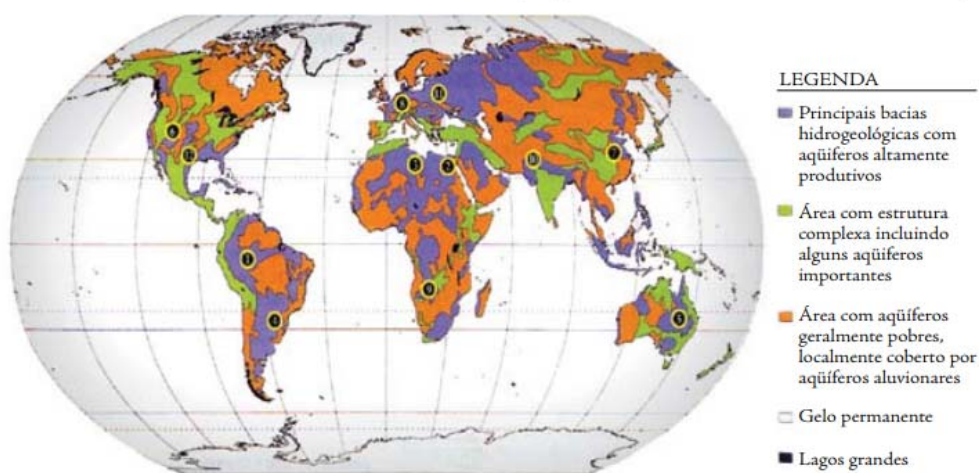
4.2. HIDROGEOLOGIA

Ferreira (2007, p. 12) define hidrogeologia como:

...a ciência que estuda as águas subterrâneas (aquíferos), seu movimento, ocorrência, propriedades, interações com o meio físico e biológico, bem como os impactos das ações dos seres humanos na qualidade e quantidade nessas águas (poluição, contaminação e superexploração).

Globalmente, os aquíferos estão presentes em maiores quantidades e são mais protegidas de fatores externos e climáticos, comparado às águas superficiais e, por isso, de modo geral, possuem qualidade superior. (CAJAZEIRAS, 2007; UNESCO, 2020). A seguir, a Figura 3 mostra a distribuição e localização dos recursos hídricos pelo mundo.

Figura 3 – Mapa dos recursos hídricos subterrâneos do mundo.



Fonte: Ferreira et al., 2007.

Os aquíferos são formações geológicas, podendo ter características porosas, permeáveis e impermeáveis que armazenam e cedem água. A água subterrânea é aquela armazenada nas estruturas rochosas que compõem o aquífero, o seu ciclo é variável de acordo com a sua estrutura e tipo (IRITANI;EZAKI, 2012), e sua captação dá-se por meio de poços e outras obras de extração artificiais (CAJAZEIRAS, 2007; ONU, 2018). Ademais, Rebouças (2002) descreve algumas funções desempenhadas pelos aquíferos:

- a) **Produção:** Fornecem água em quantidade e qualidade adequada para os usos múltiplos;
- b) **Estocagem e regularização:** armazenam água em períodos de chuva e cedem em épocas de estiagem para rios e lagos;
- c) **Filtragem:** atuam como filtros naturais, minimizando os custos de tratamento para consumo;
- d) **Transporte:** conduzem água de uma área de recarga (onde a água infiltra) para as áreas de bombeamento, onde estão situados os poços;
- e) **Estratégica:** protegem a água armazenada tanto da evaporação, como das consequências das guerras e sabotagens;
- f) **Energética:** permitem a utilização da água subterrânea aquecida pelo gradiente geotermal, como fonte de energia elétrica ou termal;
- g) **Ambiental:** fornecem água para a manutenção dos ecossistemas e da biodiversidade.

Algumas das funções são compatíveis com as vantagens descritas por Cajazeiras (2007, p. 49), que lista algumas vantagens das águas subterrâneas:

- a) Não ocupam espaço em superfície (ao contrário de açudes);
- b) Extração perto do local de uso;
- c) Sofrem menor influência de variações climáticas;
- d) Maior volume de reservas;
- e) Melhor qualidade (física, química e biológica); e,
- f) Proteção natural contra agentes poluidores, entre outras.

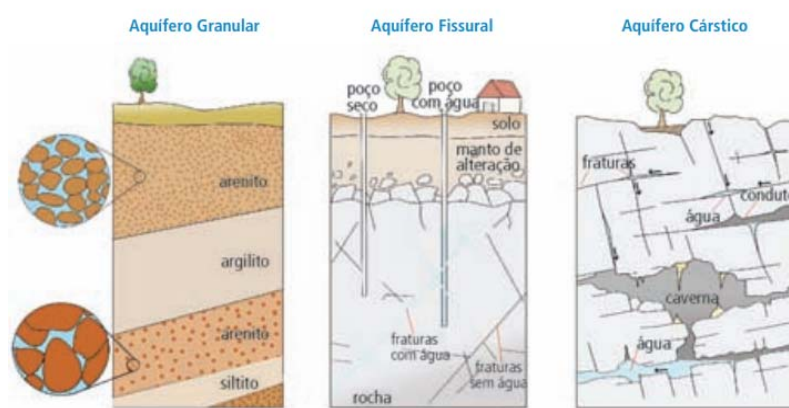
Além das vantagens citadas por Cajazeiras (2007), Sampat (2001) apud ABAS (2012, p.10) atribui aos aquíferos o auxílio na absorção da água da chuva, pertinente em períodos de chuvas excessivas, evitando transbordo e enchentes, e o armazenamento da água para períodos de estiagem sem grandes perdas pela evaporação.

De acordo com Consumo (2005, p.29) “cerca de 70% de um dos maiores reservatórios de água subterrânea do mundo, o Sistema Aquífero Guarani (SAG), está localizado no Brasil. Os outros países que também fazem parte do SAG são o Uruguai, o Paraguai e a Argentina”. Alguns exemplos da utilização das águas

subterrâneas são o turismo de águas termais, como Caldas Novas, em Goiás, Araxá, São Lourenço e Poços de Caldas, em Minas Gerais, e extração de água mineral (ANA, 2007).

Vários autores classificam os aquíferos segundo o tipo de porosidade da rocha, podendo ser granular, fissural ou cárstico, sendo ela determinante para a velocidade da água no meio, sua qualidade e a qualidade do reservatório, conforme mostrado na Figura 4 (IRITANI; EZAKI, 2012).

Figura 4 – Classificação dos aquíferos de acordo com o tipo de porosidade



Fonte: Iritani e Ezaki, 2012.

Ferreira (2007, p.12) detalha a classificação quanto ao tipo de porosidade (espaços vazios):

- a) Poroso: com água armazenada nos espaços entre os grãos criados durante a formação da rocha; é o caso das rochas sedimentares, como os arenitos do Sistema Aquífero Guarani. Os aquíferos porosos funcionam como esponjas onde os espaços vazios são ocupados por água;
- b) Fissural (cristalino/embasamento cristalino): a água circula pelas fissuras resultantes do fraturamento das rochas relativamente impermeáveis (ígneas ou metamórficas), como os basaltos, que estão sobre arenitos do Guarani;
- c) Cársticos: são os aquíferos formados em rochas carbonáticas (sedimentares, ígneas ou metamórficas). Constituem um tipo peculiar de aquífero fraturado, onde as fraturas, devido à dissolução do carbonato pela água, podem atingir aberturas muito grandes, criando, neste caso,

verdadeiros rios subterrâneos. São exemplos destes, as regiões da Gruta de Maquiné, São Domingos, Vale do Ribeira e Bonito.

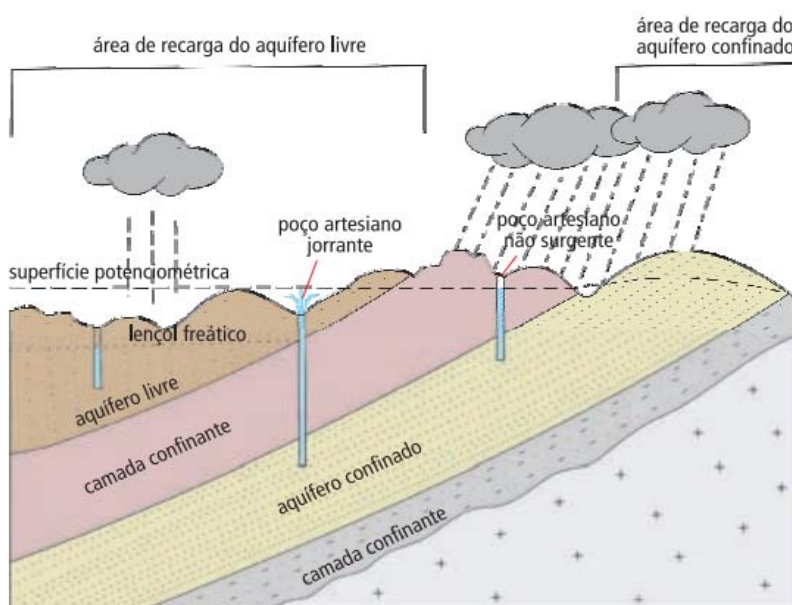
Ademais, segundo Ferreira et al. (2007, p.13), os aquíferos são denominados segundo suas características hidráulicas em:

- a) Livres – aquíferos que se localizam mais próximos à superfície e cujo topo é demarcado pelo lençol freático, estando em contato com a atmosfera. Como no caso do aquífero Pantanal.
- b) Confinados – aquíferos que ocorrem quando um estrato permeável está confinado entre duas unidades pouco permeáveis (aquitardes) ou impermeáveis (aquiclude). A presença de uma camada de menor permeabilidade (confinante), submete as águas a uma pressão superior à atmosférica, caso da porção central do Sistema Aquífero Guarani. Nos aquíferos confinados os poços tubulares profundos podem apresentar artesianismo, isto é, a água jorra do poço sem necessidade de equipamento de bombeamento.
- c) Semi-confinados – situação intermediária entre os dois.

Os aquíferos são reservas de água continuamente abastecida pela água da chuva ou outras fontes subterrâneas (BORGHETTI; BORGHETTI FILHO, 2004), e a posição em que a água é abastecida ou por onde ela sai recebe denominações específicas. A Figura 5 mostra as classificações de acordo com as zonas de abastecimento dos aquíferos, chamadas de zona de recarga, subdivididas em direta ou indireta, (ANA, 2007) e as camadas de armazenamento.

Figura 5 – Áreas de recarga do aquífero

Aquífero livre e Aquífero confinado



Fonte: Iritani, 2012.

Iniciando as definições, Ferreira et al. (2007, p.15) detalha as zonas de recarga da seguinte forma:

- a) Zona de recarga direta: é aquela em que os aquíferos são reabastecidos por meio de infiltração direta das águas na superfície do solo/rocha. Esta infiltração ocorre em toda superfície dos aquíferos livres ou, no caso dos aquíferos confinados, nas áreas de afloramento (áreas onde a rocha “aparece” na superfície);
- b) Zona de recarga indireta: aquela em que os aquíferos não estão em contato direto com as águas superficiais, mas continuam a ser recarregados. Nesse caso, os aquíferos recebem água através de outras rochas.

Quanto à área de descarga, Iritani e Ezaki (2012, p.23) definem como “locais onde a água sai do aquífero, podendo, normalmente, voltar à superfície do terreno, em forma de nascente ou como escoamento básico, alimentando os córregos, rios e lagos”.

O conhecimento da geologia é fundamental para o entendimento do modo pelo qual os aquíferos podem ser afetados pelas mais diversas fontes de poluição e como a proteção natural do aquífero pode funcionar como barreira ou filtro de

contaminantes. Contudo, dependendo do potencial poluidor, essa barreira não é suficiente (NUNES, 2016).

As águas subterrâneas são, a cada dia mais, utilizadas de forma imediatista, de acordo com a necessidade de consumo, seja para abastecimento público, atividades industriais, agrícolas, entre outros, e não de acordo com sua disponibilidade. O abuso no direito do uso múltiplo das águas resulta na extração descontrolada por poços e ao uso indevido do solo, sendo determinante na piora da qualidade natural das águas (HIRATA, 1993). A qualidade das águas subterrâneas, principais fontes de poluição e os efeitos causados por eles serão discutidos nos próximos tópicos.

4.3. PRINCIPAIS IMPACTOS SOBRE AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

O aumento do crescimento populacional está associado ao aumento da demanda e exploração da água subterrânea, causando uma grande preocupação quanto à preservação e manutenção da sua quantidade e qualidade. A preocupação ocorre, pois, a disponibilidade da água superficial já é reduzida em detrimento da alteração da sua qualidade, decorrente das ocupações antrópicas inadequadas, exploração excessiva e lançamento de efluente nos mananciais (HIRATA, 1993).

As águas subterrâneas se mostraram uma alternativa interessante para o abastecimento e consumo, sendo vantajosa em relação às águas superficiais, cujo custo está sendo encarecido devido a contaminação. O tratamento dessas águas é simplificado, necessitando, na maioria dos casos, apenas um processo de cloração para torná-la própria para consumo (BARBOSA et al., 2007).

O relativo baixo custo da água subterrânea tem contribuído para a exploração da água como fonte potável e sua intensidade não é compatível com a proteção e preservação dos sistemas naturais, pois, dependendo da dimensão das extrações e de como é feita, podem causar alterações nos níveis freáticos e piezométricos dos aquíferos e interferência nos mananciais próximos (HIRATA, 1993; TOSCANO; SILVA, 2012), além da possibilidade de contaminação.

A poluição de aquíferos é preocupante pelo fato de sua recuperação ser dispendiosa, e em casos severos, inviável. Em panoramas futuros, a escassez poderá se tornar uma realidade, por isso, a preservação da qualidade da água, principalmente dos mananciais destinados ao consumo, é primordial (CAJAZEIRAS,

2007). Os autores Hirata e Ferreira (2001, p.47) introduzem o conceito de perigo de contaminação de aquíferos como sendo:

...probabilidade de que as águas subterrâneas possam ser degradadas em concentrações acima dos padrões de qualidade de água potável, mas não necessariamente que venham a contaminar fontes de abastecimento (poços, p.ex.), uma vez que esta análise depende das características de transporte na zona saturada do aquífero.

Por meio dessa definição, Hirata e Ferreira (2007) atentam para a relatividade da contaminação de fontes de abastecimento por águas subterrâneas degradadas, uma vez que a litologia dos aquíferos têm um papel fundamental na dispersão dos poluentes.

A facilitação ou não da contaminação é denominada como a vulnerabilidade do meio, “resultado das características hidráulicas e físico-químicas do solo e/ou da rocha ou sedimento que compõe a zona não-saturada ou o aquífero (estrato pouco permeável) e que permite a diluição, retardação, dispersão e degradação da carga contaminante antrópica” (HIRATA; FERREIRA, 2001, p. 47).

Como exemplo, observa-se a diferença na susceptibilidade à contaminação dos aquíferos livres e confinados, pelo primeiro não existir a camada rochosa protetora como barreira natural de retenção dos poluentes no solo. Além disso, alguns outros fatores, como a área ou o tipo de recarga pode ser uma fonte de contaminação direta dos aquíferos. Áreas de recarga direta podem ocorrer artificialmente por meio de vazamento de sistemas de esgoto, presença de tanque-séptico-sumidouro, valas de infiltração ou por atividades de irrigação ou ferti-irrigação (SOUZA et al., 2009).

A contaminação dos aquíferos é o impacto resultante de determinadas atividades antrópicas, atribuídas por Hirata (1993, p. 40), e posteriormente discutidas, como sendo:

...problemas associados à superexploração, ou seja, a retirada sem controle e danosa de água, que faz com que a extração seja superior à recarga em um certo aquífero, ou parte dele; e à contaminação do recurso hídrico subterrâneo, que leva, muitas vezes, à degradação irreversível da qualidade das águas do aquífero.

A superexploração leva ao rompimento do equilíbrio entre a o volume extraído e o volume infiltrado, rebaixando o nível hídrico e prejudicando a qualidade do aquífero pela intrusão salina (substituição da água doce pela água do mar) ou pela

aumento da concentração de contaminantes em aquíferos rasos, causando impactos negativos na biodiversidade e, no pior cenário, o esgotamento do aquífero (VILLAR, 2016).

Além do impacto direto por meio da exploração, os aquíferos podem ter sua recarga prejudicada pela impermeabilização do solo, acarretado pelo asfaltamento e construção de edificações, reduzindo a capacidade de infiltração da água no solo. O reflexo da impermeabilização pode ser facilmente observado pelas inundações e enchentes, responsáveis por doenças de veiculação hídrica e arraste de poluentes e contaminantes, erosão do solo e assoreamento de cursos d'água (FERREIRA, 2007).

Assim como a água subterrânea pode ser comprometida pela exploração e ocupação do solo, também pode sofrer com o descarte incorreto de efluentes domésticos e industriais, resíduos sólidos e compostos advindos de fertilizantes e produtos químicos. A origem das contaminações assim como suas fontes são diversas e serão discutidas a seguir.

4.4. FONTES POTENCIAIS DE POLUIÇÃO

Souza (p. 14, 2009) e Ferreira et al. (2007, p.18-19) detalham as origens comuns de contaminação das águas subterrâneas e como ocorrem:

- a) **Deposição de resíduos sólidos no solo:** descarte de resíduos provenientes das atividades industriais, comerciais ou domésticas sem controle em depósitos a céu aberto hidrologicamente vulneráveis. Existem situações que resíduos industriais perigosos contendo metais e solventes orgânicos são dispostos em locais destinados a receber resíduos domésticos, exemplos de aterros sanitários, ao passo que em outras áreas a disposição é feita de forma clandestina, o que dificulta a avaliação dos riscos de contaminação do aquífero. Nesses casos, a água de chuva e o líquido resultante do processo de degradação dos resíduos orgânicos (denominado chorume), tendem a se infiltrar no solo, carreando substâncias potencialmente poluidoras, metais pesados e organismos patogênicos (que provocam doenças);

- b) **Esgotos e fossas:** o lançamento de esgotos diretamente sobre o solo ou na água, os vazamentos em coletores de esgotos e a utilização de fossas sépticas construídas de forma inadequada constituem as principais causas de contaminação da água subterrânea;
- c) **Atividades agrícolas e Pecuária:** fertilizantes nitrogenados e agrotóxicos utilizados na agricultura podem contaminar as águas subterrâneas por compostos orgânicos (biodegradáveis e recalcitrantes, a exemplo dos organoclorados e organofosforados), nutrientes (principalmente o fósforo e o nitrogênio) e metais pesados. A contaminação pode ser facilitada pelos processos de irrigação mal manejados que, ao aplicarem água em excesso, tendem a facilitar que estes contaminantes atinjam os aquíferos;
- d) **Mineração:** a exploração de bens minerais metálicos, exploração do petróleo e gás e substâncias não metálicas representam perigo para os aquíferos devidos a características de solubilidade e toxicidade com ou sem utilização de substâncias químicas em sua extração beneficiamento, produz rejeitos líquidos e/ou sólidos que podem contaminar os aquíferos;
- e) **Atividade Industrial:** poluição pontual proveniente de resíduos de produto, dispostos na atmosfera, solo, águas superficiais e subterrâneas e por meio de derrame no armazenamento e transporte.
- f) **Vazamento de substâncias tóxicas:** vazamentos de tanques enterrados em postos de combustíveis, oleodutos e gasodutos, além de acidentes no transporte de substâncias tóxicas, combustíveis e lubrificantes;
- g) **Cemitérios:** fontes potenciais de contaminação da água, principalmente por microrganismos.

Segundo o Assessment Office of Technology - OTA do Congresso dos Estados Unidos (1984), as fontes de contaminação das águas subterrâneas podem ser classificadas por categorias de uso, a saber:

- a) **Fontes projetadas para recepção de substâncias:**
 - fossas sépticas (águas residuais e esgotos domésticos);
 - poços de injeção (resíduos perigosos, run-off urbano, esgotos municipais);

- aplicações de resíduos no solo para fins agrônômicos (lodos de estações de tratamento de esgotos, esterco de animais em currais, aviários etc.);

b) Fontes projetadas para armazenar, tratar ou receber substâncias; liberação não planejada:

- aterros sanitários e industriais (lixões urbanos, restos de demolições, lodos de estações de tratamento, materiais tóxicos e resíduos perigosos de fundições ou indústrias);
- valas clandestinas abertas (lixo doméstico queimado, cujas cinzas, diluídas pelas chuvas, podem produzir contaminações da água subterrânea);
- bacias de rejeitos de mineração;
- vazamentos em tanques de armazenamento aéreos ou subterrâneos (produtos de petróleo, químicos agrícolas e outros).

c) Fontes projetadas para reter substâncias durante transporte:

- tubulações (oleodutos, gasodutos, coletores de esgotos etc);
- transporte e transferências de materiais (caminhões e trens condutores de produtos químicos).

d) Fontes liberadoras de substâncias em virtude de outras atividades:

- irrigação (percolação do excesso de água de irrigação até o nível freático, levando pesticidas e fertilizantes dissolvidos);
- aplicações de pesticidas para controle de pragas (ervas daninhas, insetos, fungos etc.);
- aplicações de fertilizantes (nitrogênio, fósforo, potássio);
- run-off urbano (sólidos dissolvidos e em suspensão, oriundos das emissões dos veículos motorizados, resíduos de óleos e graxas, fezes);
- percolação de poluentes atmosféricos (emissões de automóveis, fumaças de indústrias, incinerações etc.). Os poluentes incluem hidrocarbonetos, substâncias orgânicas sintéticas, substâncias orgânicas naturais, metais pesados, compostos de enxofre e de nitrogênio.

e) Fontes que podem atuar como condutoras da água contaminada:

- poços produtores (óleo, gás, energia geotérmica e água), nos quais os contaminantes podem ser introduzidos durante a perfuração;
- poços mal construídos, com cimentações deficientes, e/ou com revestimentos corroídos, podem constituir-se em vias de contaminação entre aquíferos;
- poços escavados (tipo amazonas), abandonados, podem ser usados como receptores de lixo.

f) Fontes naturais cuja descarga é criada pela atividade humana:

- interações entre água superficial e subterrânea (descarga de água subterrânea contaminada em um rio ou indução da água de um rio contaminado em um aquífero);
- lixiviação natural (minerais dissolvidos de rochas e solos em níveis que podem atingir de 10 a 100 g/L de sólidos totais dissolvidos);
- intrusão salina (natural ou induzida a partir da ascensão do cone de água salgada pela base das estruturas de captação).

4.5. LEGISLAÇÃO SOBRE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Segundo o artigo 225 da Constituição Federal Brasileira de 1988, é um direito de todos um meio ambiente ecologicamente equilibrado, sendo ele um bem de uso comum do povo e essencial à qualidade de vida, atribuindo ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

A água foi definida pela Lei nº 9.433 de 8 de janeiro 1997 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) como um bem de domínio público dotado de valor econômico que deve ser racionalizado e preservado. A PNRH visa a garantia do uso múltiplo das águas e implanta a gestão de recursos hídricos como meio de garantia da disponibilidade dos recursos e da preservação por meio de instrumentos de aplicação, como o Plano de Recursos Hídricos, a outorga dos direitos e cobrança pelo uso de recursos hídricos. Ademais, propõe o enquadramento dos corpos de água em classes, de acordo com os usos, como forma de assegurar a qualidade das águas.

Como forma mais abrangente, a Lei 6.938 de 31 de agosto 1981, que institui a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) prevê o controle e zoneamento de

atividades potencialmente ou efetivamente poluidoras e o acompanhamento do estado da qualidade ambiental. A lei visa o estabelecimento de critérios e padrões de qualidade ambiental e de normas relativas ao uso e manejo de cursos ambientais e impõe ao poluidor e ao predador a obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados e, ao usuário, da contribuição pela utilização de recursos ambientais para fins econômicos.

A Resolução CONAMA nº 001 de 23 de janeiro de 1986 define os conceitos de impacto ambiental como sendo qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente a saúde, segurança e o bem-estar da população e a qualidade dos recursos ambientais. Por essa definição, a resolução tem como objetivo a proteção do meio ambiente dos impactos ambientais causados por qualquer atividade modificadora do ambiente e impõe, para algumas modalidades de atividades, a elaboração de estudos de impactos ambientais e a apresentação de relatórios aos órgãos ambientais fiscalizadores.

A resolução CONAMA nº 420 de 28 de dezembro de 2009 dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas, em que, o valor de referência é definido pelo Estado, e o valor de investigação é de 10 mg/L, de acordo com a Portaria de Consolidação nº 5/2017. O valor limite de 10 mg/L para nitrato nas águas também é aplicado na Legislação Americana, de acordo com os Regulamentos Nacionais de Água Potável Primária da United States Environmental Protection Agency – EPA.

A mencionar legislação internacional, o Conselho das Comunidades Europeia estabeleceu a Directiva do Conselho de 12 de dezembro de 1991, onde tem por objetivo a redução da poluição de nitrato de origem agrícola nas águas e impedir sua propagação. Para isso, é elaborado Programas de Ação para Zonas Vulneráveis, código de boas práticas agrícolas a ser aplicadas pelos agricultores. (União Européia, 1991).

A Resolução CONAMA nº 396 de 03 de abril de 2008 dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, a qual será melhor detalhada no próximo item.

Ainda em nível federal, cabe mencionar a Portaria de Consolidação nº 5/17 do Ministério da Saúde, que define os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, para águas provenientes de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água, que inclui os poços de captação subterrânea como soluções alternativas coletivas para o abastecimento público.

Em nível estadual, destaca-se a Lei nº 6.134/1988, que dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo e o Decreto nº 32.955/91, que regulamente esta lei, onde foi definido o papel do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) na administração das águas subterrâneas no estado e da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, de prevenir e controlar a poluição das águas subterrâneas. Além destes dispositivos, a legislação estadual prevê o monitoramento de qualidade das águas subterrâneas por meio do Decreto Estadual nº 8.468/1976 e da Lei Estadual nº 13.542/2009, que atribuem à Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) a competência de monitorar e fiscalizar a qualidade das águas subterrâneas. A qualidade é avaliada por meio de duas redes estaduais. A primeira é formada por pontos correspondentes a poços utilizados para abastecimento público de água e nascentes e sua operação iniciou-se em 1990, sob responsabilidade da CETESB. A segunda rede, iniciada em 2009 em parceria com o Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, foi instalada com o objetivo de integrar o monitoramento de qualidade e quantidade.

Como resultado deste monitoramento, a CETESB publica anualmente um boletim e a cada 03 anos um relatório sobre poluição das águas subterrâneas referentes ao Estado de São Paulo. O relatório tem por objetivo a avaliação do panorama geral da qualidade das águas subterrâneas do Estado, para armazenamento e disponibilização de dados à população para combate e prevenção da poluição, previsões de tendências da qualidade e contribuição à gestão integrada dos recursos hídricos. Os relatórios do monitoramento da qualidade das águas subterrâneas são feitos por Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos - UGRHI, criadas pelo Primeiro Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo.

Os objetivos do monitoramento contido no “Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo” publicados pela CETESB (2018, p. 3) são:

- Caracterizar a quantidade natural (hidrogeoquímica) das águas subterrâneas brutas dos corpos hídricos subterrâneos prioritários por bacias hidrográficas;
- Estabelecer Valores de Referência de Qualidade – VRQ, por aquífero;
- Avaliar as tendências das concentrações dos parâmetros monitorados, em períodos de 10 anos;
- Identificar áreas com alterações de qualidade;
- Subsidiar as ações de prevenção e controle da poluição do solo e da água subterrânea;
- Subsidiar a formulação de ações de gestão da qualidade do recurso hídrico subterrâneo;
- Avaliar a eficácia dessas ações ao longo do tempo; e
- Subsidiar a classificação para o enquadramento das águas subterrâneas.

4.6. QUALIDADE DOS AQUÍFEROS

A qualidade da água pode ser entendida como reflexo da sua composição, quantidade de seus constituintes e o efeito causado por eles. Para controle da qualidade foram estabelecidos parâmetros a serem monitorados que, quando analisados conjuntamente, formam um padrão de qualidade. O padrão de qualidade, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 é “valor limite adotado como requisito normativo de um parâmetro de qualidade de água, estabelecido com base nos valores de referência de qualidade e nos valores máximos permitidos para cada um dos usos preponderantes”.

Freddo Filho (2018, p. 22) atribui a qualidade dos recursos subterrâneos de acordo aos seus parâmetros físico-químicos e microbiológicos, em que cada um analisa uma classe de substâncias:

- a) Físico-química:** analisa o grau de presença de substâncias químicas na água bem como suas características organolépticas;
- b) Microbiológica:** detecta a presença de microrganismos. As análises bacteriológicas têm como foco principal a identificação de *Escherichia coli*, principal indicador de contaminação fecal, a partir de bactérias que fazem parte do grupo de coliformes termotolerantes.

Especificamente, pode-se analisar os contaminantes de acordo com o grupo químico, de forma a se obter um indício do potencial fonte poluidora. Feitosa (2008, p.389) separou estes grupos em três categorias gerais:

- a) **Contaminantes Inorgânicos** - nitrogênio agrícola, radionuclídeos (produtos radioativos), nitritos e nitratos e metais tóxicos e potencialmente tóxicos (arsênico, cádmio, chumbo, cobre, crômio, mercúrio níquel, zinco, etc).
- b) **Contaminantes Orgânicos** - agrotóxicos, solventes clorados, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), hidrocarbonetos monoaromáticos (BTEX -benzeno, tolueno, eteno, xileno), etc.
- c) **Contaminantes Biológicos** – bactérias, protozoário e vírus.

Como modo de prevenção e controle da poluição e preservação da qualidade das águas subterrâneas, a Resolução Conama n° 396/2008, por meio dos padrões da qualidade, classifica a água subterrânea em seis classes, de acordo com seus usos (consumo humano, industrial, irrigação, recreação, etc.), de forma a permitir o seu enquadramento:

I - **Classe Especial** - águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial.

II - **Classe 1**- águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais.

III - **Classe 2** - águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais.

IV - **Classe 3** - águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais.

V - **Classe 4** - águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo.

VI - **Classe 5** - águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso.

Além da divisão em classes, a Resolução nº 396/2008 do Conama apresenta uma lista de parâmetros com maior probabilidade de ocorrência em águas subterrâneas, os Valores Máximos Permitidos (VMP) para os tipos de uso e os limites de quantificação praticáveis (LQP) a serem adotados nas análises laboratoriais de amostras brutas de água subterrâneas. A lista adaptada dos parâmetros e seus valores máximos encontra-se Tabela 1:

Tabela 1 – Parâmetros da qualidade da água para usos preponderantes (continua)

Parâmetros	Usos Preponderantes da Água				LQP
	Consumo Humano	Dessedentação de animais	Irrigação	Recreação	
Inorgânicos	µg.L-1				
Alumínio	200	5.000	5.000	200	50
Arsênio	10	200	-	50	8
Boro	500	5.000	500	1.000	200
Cádmio	5	50	10	5	5
Chumbo	10	100	5.000	50	10
Mercúrio	1	10	2	1	1
Cloreto	250.000	-	100.000 – 700.000	400.000	2.000
Cobre	2.000	500	200	1.000	50
Crômio (Cr III + Cr VI)	50	1.000	100	50	10
Ferro	300	-	5.000	300	100
Fluoreto	1.500	2.000	1.000	-	500
Manganês	100	50	200	100	25

Tabela 2 – Parâmetros da qualidade da água para usos preponderantes
(conclusão)

Parâmetros	Usos Preponderantes da Água				LQP
	Consumo Humano	Dessedentação de animais	Irrigação	Recreação	
Mercúrio	1	10	2	1	1
Níquel	20	1.000	200	100	10
Nitrato (expresso em N)	10.000	90.000	-	10.000	300
Nitrito (expresso em N)	1.000	10.000	1.000	1.000	20
Selênio	10	50	20	10	10
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	1.000.000	-	-	-	2.000
Sulfato	250.000	1.000.000	-	400.000	5.000
Zinco	5.000	24.000	2.000	5.000	100
Microorganismos					
Coliformes termotolerantes	Ausentes em 100ml	200/100 ml	-	1000/100 ml	
E.coli	Ausentes em 100 ml	200/100 ml	-	800/100 ml	
Coliformes termotolerantes	Ausentes em 100ml	200/100 ml	-	1000/100 ml	

Fonte: CONAMA, 2008

A Tabela 2 dispõe sobre padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria Consolidação nº 5/17.

Tabela 2 – Tabela de padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5/17
(continua)

Parâmetro	CAS (1)	Unidade	VMP (2)
INORGÂNICAS			
Antimônio	7440-36-0	mg/L	0,005
Arsênio	7440-38-2	mg/L	0,01
Bário	7440-39-3	mg/L	0,7

Tabela 2 – Tabela de padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5/17 (conclusão)

Parâmetro	CAS (1)	Unidade	VMP (2)
INORGÂNICAS			
Cádmio	7440-43-9	mg/L	0,005
Chumbo	7439-92-1	mg/L	0,01
Cianeto	57-12-5	mg/L	0,07
Cobre	7440-50-8	mg/L	2
Cromo	7440-47-3	mg/L	0,05
Fluoreto	7782-41-4	mg/L	1,5
Mercúrio	7439-97-6	mg/L	0,001
Níquel	7440-02-0	mg/L	0,07
Nitrato (como N)	14797-55-8	mg/L	10
Nitrito (como N)	14797-65-0	mg/L	1
Selênio	7782-49-2	mg/L	0,01
Urânio	7440-61-1	mg/L	0,03

Fonte: Brasil, 2017.

Os parâmetros presentes na Tabela 1 devem ser monitorados pelas concessionárias de abastecimento público e os seus resultados avaliados pela secretaria de Saúde estadual e municipais, pois a quantidade de cada substância pode interferir na saúde e bem estar do usuário e, logo, precisa ser controlado.

Segundo Nascimento & Barbosa (2016, p. 547-549) o nitrato é normalmente o contaminante de ocorrência mais comum nos grandes centros urbanos, devido, principalmente a contaminação por atividades domésticas através das fossas, esgotos, lixo, cemitério, adubos nitrogenados e resíduos animais. A presença de compostos de nitrogênio nos seus diferentes estados de oxidação é indicativo de contaminação do aquífero e de possíveis condições higiênico-sanitárias insatisfatórias.

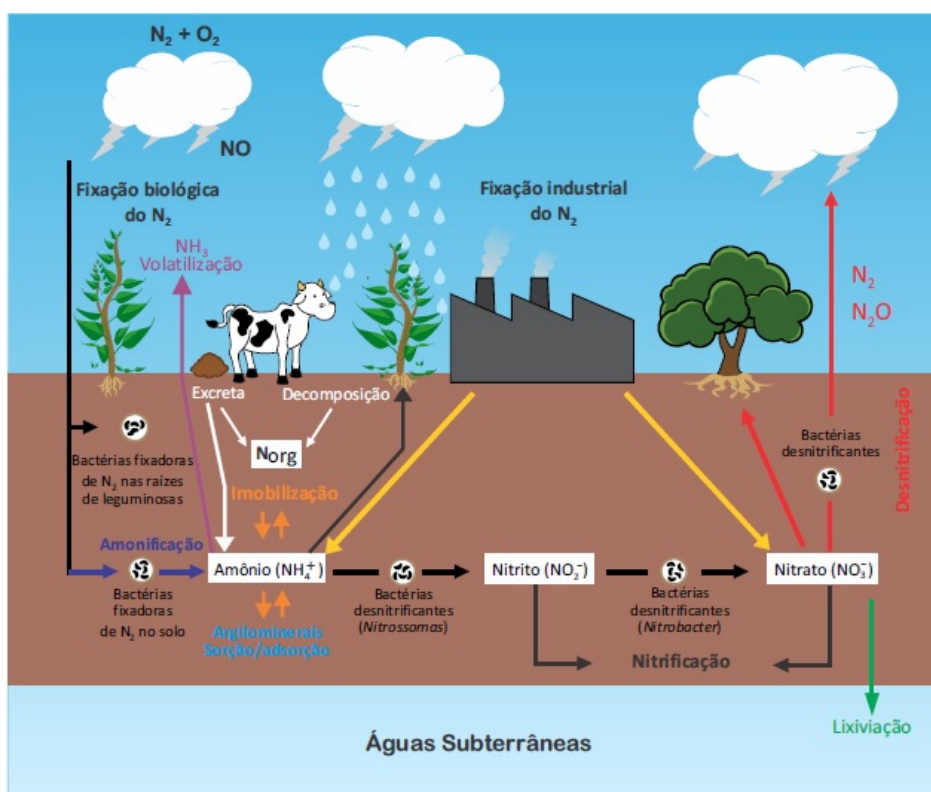
O nitrogênio, em forma de nitrato, é reconhecido como o contaminante mais comum das águas subterrâneas, e também, o ponto central deste trabalho, por isso, o tema será melhor discutido no próximo tópico.

4.7. CICLO DO NITROGÊNIO

Com aproximadamente 78% em volume, o nitrogênio é estimado como o principal constituinte da atmosfera. Em meio natural, o nitrogênio ocorre em vários estados de oxidação desde a forma mais reduzida (nitrogênio orgânico) até a mais oxidada (nitrato). Esse elemento está presente no solo, oceanos, lagos e atmosfera. O vento, água e agentes microbiológicos são responsáveis por sua mobilidade entre os ecossistemas, conforme apresentado na Figura 6 (SIGRH,2019).

O ciclo do nitrogênio entre os diferentes compartimentos ambientais é bastante afetado pelos microrganismos heterotróficos, aeróbios e anaeróbios, os quais utilizam o nitrogênio como fonte de energia para o seu metabolismo.

Figura 6 – Ciclo do nitrogênio na natureza



Fonte: SIGRH, 2019.

A precipitação, sedimentação em sistemas aquáticos, vento, movimento das águas subterrâneas e superficiais e volatilização são os mecanismos de transportes responsáveis pelo movimento do nitrogênio no meio ambiente. Estes mecanismos são controlados pela temperatura, PH, flora, microbiologia, potencial de oxidação e

redução, e a disponibilidade no substrato de nutrientes e oxigênio (BERENICE, 2010).

Microrganismos quimioautotróficos realizam o processo de oxidação do amônio para nitrito e, subsequentemente para nitrato (Vieira, 2017).

O Conselho Estadual de Recursos Hídricos (SIGRH,2019) relaciona os principais processos/reações do ciclo do nitrogênio, que são elencados abaixo:

- Fixação: Incorporação do nitrogênio gasoso presente na atmosfera mediante processos biológicos (algumas bactérias e algas azuis) e industriais, bem como pela ação dos raios solares. Neste processo, o nitrogênio gasoso é convertido em amônio que é assimilado pelas plantas.
- Mineralização: aproximadamente 95% do nitrogênio presente no solo está sob a forma orgânica (p.e. aminas, proteínas, compostos húmicos) que o torna insolúvel. Na mineralização, o nitrogênio orgânico, por ação microbiológica, é convertido em aminoácidos e a seguir, em amônio.
- Adsorção: fixação do amônio pelos argilominerais presentes no solo, a partir dos mecanismos de troca iônica.
- Nitrificação: processo que ocorre em meio aeróbio onde, por ação de bactérias, o amônio é convertido a nitrito e depois, a nitrato.
- Desnitrificação: processo inverso que ocorre em meio anaeróbio, mediado por bactérias, onde o nitrato é convertido a nitrito e, posteriormente, a óxido nitroso e nitrogênio molecular.
- Assimilação: mecanismo bioquímico, oposto ao da mineralização, que consiste na conversão de amônio e nitrato em proteínas e biomassa.
- Volatilização: passagem da amônia, presente no solo, para atmosfera.
- Anamox: oxidação anaeróbia do amônio em que alguns gêneros de bactérias convertem o amônio em nitrogênio molecular, na presença de nitrato ou nitrito.

Segundo MONTANHEIRO (2014), na etapa de nitrificação, o corre a passagem de amônio para nitrito e a passagem de nitrito para nitrato. Estas duas reações são agrupadas devido à velocidade que elas ocorrem, ou seja, a permanência do nitrogênio sob a forma de nitrito é pequena, pois se transforma em nitrato rapidamente.

Já a desnitrificação ocorre em ambientes pobres em oxigênio, aumentando o potencial redutor das águas, e representam um processo importante na recuperação

dede áreas contaminadas por nitrato. Durante esse processo, as bactérias utilizam o carbono orgânico como fonte de energia para as reações.

Por exemplo, variações nas concentrações de nitrato na água subterrânea podem ser decorrentes do seu consumo em reações de desnitrificação, envolvendo microrganismos anaeróbios na decomposição natural de compostos presentes na água, assim como pela diluição e transporte do poluente nas águas por meio dos fenômenos de transporte, anos após sua inserção no aquífero (KNOP, 2007).

A variação em relação ao aumento e diminuição das concentrações de nitrato pode ser estudada por meio de modelagens matemáticas e simulações do comportamento e mobilidade do nitrato em águas subterrâneas, que consistem na previsão do tempo de diluição ou decomposição natural do poluente nas águas, como no estudo de caso sobre a evolução da contaminação por nitrato na cidade de Urânia SP (BERENICE, 2010).

Os processos biológicos de remoção do nitrato por meio de bactérias desnitrificantes são vantajosos e econômicos e podem ser utilizados como pré-tratamento na redução da concentração de nitrato na água e diminuição dos custos em tratamentos avançados posteriores. A combinação de ambos processos podem ser promissores em municípios onde a contaminação por nitrato é constante (COSTA et al. 2017).

4.8. CONTAMINAÇÃO POR NITRATO

As águas subterrâneas são constituídas das mais diversas substâncias, constantes como parâmetros monitorados pelos órgãos ambientais como causadores de contaminação ou prejudiciais à saúde, sendo dos mais diversos tipos (inorgânicos, orgânicos, patogênicos, tóxicos e radioativos). A contaminação das águas subterrâneas geralmente ocorre quando os poluentes retidos no solo ou nas rochas ultrapassam a capacidade de retenção, formando uma fração dissolvida que, juntamente com a água das chuvas, percola no perfil do solo, em um processo denominado de lixiviação. Dependendo das características físico-químicas do contaminante, do tipo de solo e da concentração do contaminante no lixiviado, as águas subterrâneas podem tornar-se impróprias para consumo humano (BIGUELINI & GUMY, 2012, p. 155 apud ROMERO, 1991).

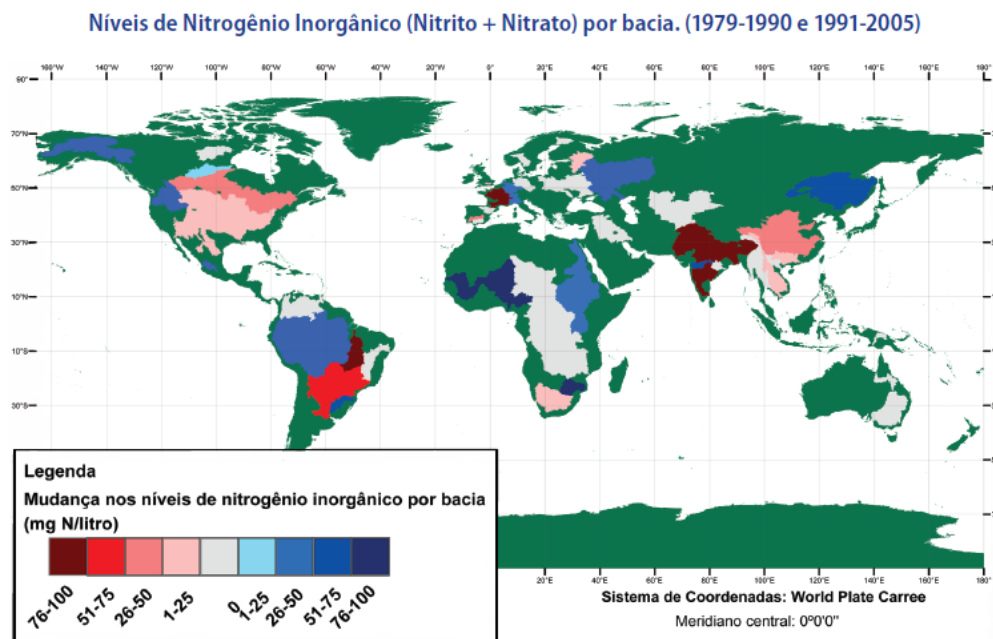
O problema de contaminação das águas subterrânea pelo nitrogênio é causado por suas duas principais formas a saber, a amônia (NH_3), nitrito (NO_2^-) e o nitrato (NO_3^-). A amônia, quando presente na água, tem alto grau de toxicidade e letalidade a vários organismos (Santos et al., 1993, apud De Campos, 2012, p.76) porém, se disposta no solo na forma de fertilizantes amoniacais, sofre oxidação e é convertida no íon amônio (NH_4^+), que posteriormente é novamente oxidado por bactérias e convertido à nitrato. O nitrato é o último estágio de conversão do nitrogênio por decomposição biológica, estando geralmente presente em baixas concentrações em águas superficiais e em altas concentrações em águas subterrâneas, possivelmente como resultado da diversidade microbiológica dos solos. Segundo Biguelini & Gummy (2012, p. 164):

A presença de nitrato nas águas subterrâneas está associada a contaminação por disposição inadequada de dejetos humanos, industriais ou de indústrias alimentícias, além do uso de fertilizantes nitrogenados na agricultura. Uma fonte comum de contaminação de aquíferos por nitrato é o uso de sistemas de saneamento in situ, do tipo fossas e valas negras.

O nitrato é um dos parâmetros indicativos de poluição e tem grande capacidade de contaminação das águas subterrâneas, devido a sua alta mobilidade e baixa capacidade de retenção no solo e seus teores nas águas subterrâneas, geralmente podem variar entre 0,1 a 10 mg/L. As rochas estudadas no Estado de São Paulo não são fontes de nitrato, portanto, o nitrato observado nas águas advém do ciclo natural e de atividades antrópicas, que em sua maioria, são fontes de poluição difusas, por meio da introdução de fertilizantes e insumos nitrogenados no solo, vazamento de redes coletoras de esgoto, fossas negras e por captação de poços (CETESB, 2007).

A Figura 7 mostra a incidência da poluição por Nitrogênio Inorgânico pelas bacias no mundo e o seu grau, indicando um aumento desse tipo de poluição em alguns países da Europa, na Índia, no Brasil e na região centro-norte, cujo aumento pode estar relacionado a atividades agropecuárias, vista como uma das maiores atividades humanas poluidoras de aquíferos (SILVA; GRIEBELER; BORGES, 2007)

Figura 7 – Poluição por Nitrogênio Inorgânico (Nitrito + Nitrato) em bacias pelo mundo



Os tons em azul significam decréscimo e os tons em vermelho significam acréscimo das concentrações de nitrato nas bacias hidrográficas indicadas

Fonte: Pinto-Coelho & Havens, 2015.

O uso e ocupação do solo pode gerar impactos sobre a qualidade das águas subterrâneas por causar desequilíbrio na quantidade de algumas substâncias nele já presentes. As principais atividades poluidoras a que o solo é submetido são fossas sépticas, esgoto doméstico, disposição de resíduos sólidos, uso de fertilizantes agrícolas, entre outros (SILVA et al., 2014). Segundo a CETESB (2007, p.126):

(...) nas duas últimas décadas houve grande aumento das áreas cultivadas, onde o uso intensivo de fertilizantes e insumos nitrogenados tem favorecido o aparecimento desse composto nas áreas rurais, onde outras fontes também são consideradas, como currais, pocilgas, granjas e áreas de pastagens.

Além dessas atividades citadas, ainda que pouco estudado, notou-se um grande potencial poluidor da vinhaça, resíduo líquido de destilarias, rica em minerais, nitrogênio, e matéria orgânica. (SILVA; GRIEBELER; BORGES, 2007).

Alguns órgãos reguladores e fiscalizadores estabelecem valores aceitáveis da quantidade de nitrato nas águas subterrâneas e águas destinadas ao consumo humano. O CONAMA nº 396 permite um limite aceitável de 10 mg/L, porém valores acima de 3 mg/L já indicam início de contaminação (BIGUELINI; GUMY, 2012).

Pinto-Coelho & Havens (2015, p.99) citam os problemas causados por intoxicação por nitrato no consumo de água:

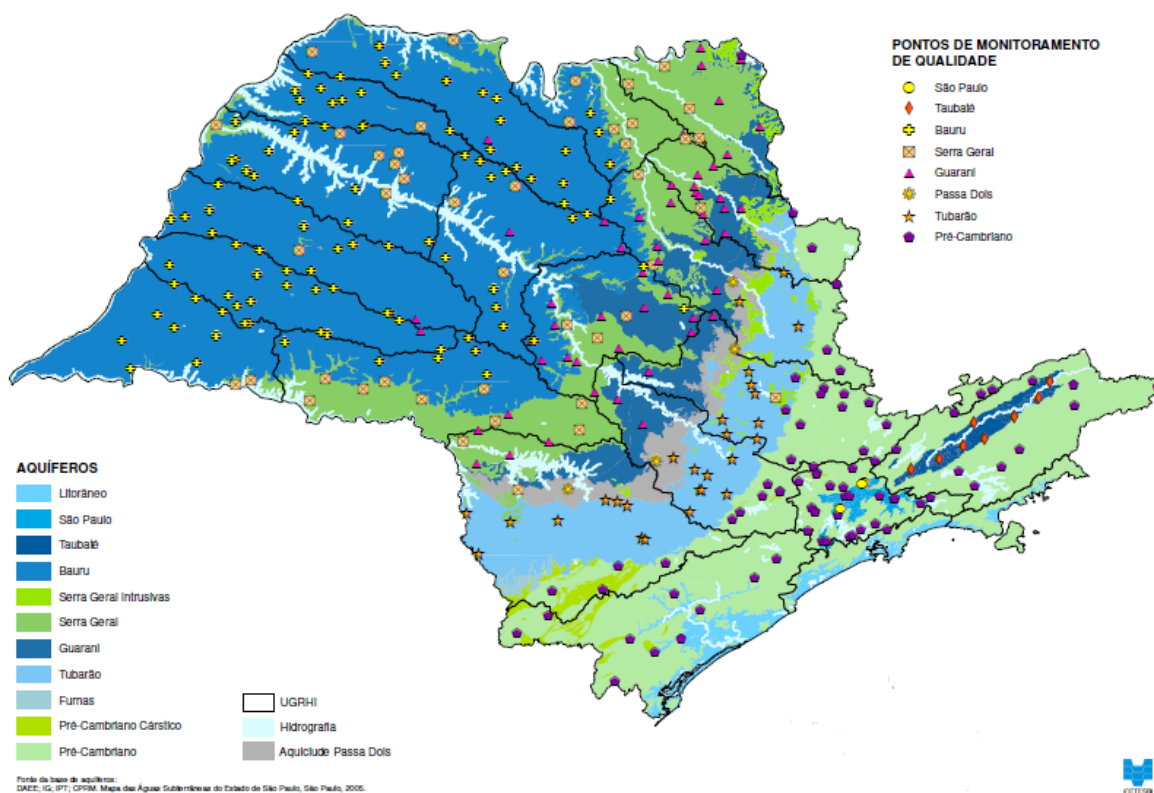
Os níveis de nitrato devem ser controlados nas águas destinadas ao abastecimento humano, principalmente porque as crianças podem ser acometidas da síndrome metemoglobinemia, ou síndrome do bebê azul (blue baby syndrome) ao ingerir água com elevadas concentrações dessa forma de nitrogênio inorgânico. Pesquisas recentes têm sugerido que o consumo de água com elevadas concentrações de nitrato (>10,0 mg/L de N-NO₃) pode aumentar as taxas de aborto nas populações humanas. Outros possíveis efeitos para a saúde associados ao consumo de água com elevados teores de nitrato, são: câncer na tireóide, anomalias congênitas em crianças. Em adultos, esse tipo de poluição pode estar associado a vários tipos de neoplasias (câncer), especialmente no trato intestinal.

Os efeitos causados ao corpo humano pela ingestão de nitrato, é relativa, variando para cada organismo (BOUCHARD et al., 1992 apud BIGUELINI; GUMY, 2012, p. 167). Por isso, a pesquisa é essencial para ampliar os conhecimentos sobre como esse contaminante pode afetar a saúde e a qualidade ambiental.

4.9 – MONITORAMENTO DA OCORRÊNCIA DO NITRATO NO ESP

O monitoramento das águas subterrâneas realizado pela CETESB tem como objetivo avaliar a qualidade regional da água para subsidiar ações de detecção, prevenção e mitigação da poluição, e de doenças a ela associadas, assim com a gestão da qualidade e quantidade dos recursos hídricos subterrâneos juntamente ao CRH e Comitês de Bacia Hidrográficas (CETESB, 2019). A Figura 8, mostra o mapa do Estado e o limite dos seus aquíferos pelo território, assim como os pontos de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas. Em 2018, a Rede da CETESB contou com 313 pontos representativos de 8 aquíferos e mais de 60 parâmetros analisados (CETESB, 2019)

Figura 8 – Aquíferos do Estado de São Paulo e pontos de monitoramento de qualidade



Fonte: CETESB, 2019.

Os resultados obtidos a partir deste monitoramento são comparados com os Valores de Referência de Qualidade – VRQ por aquífero e aos padrões de potabilidade da Portaria de Consolidação MS nº 5/17. No que tange à presença do Nitrato, a CETESB considera concentrações iguais ou acima de 5,0 mg/L como indicativo de alerta de alteração antrópica da qualidade da água subterrânea, ao passo que as águas subterrâneas são consideradas contaminadas quando as concentrações de Nitrato forem iguais ou superiores a 10 mg/L, que é o padrão de potabilidade da Portaria de Consolidação nº 5/17 do Ministério da Saúde (CETESB, 2019), o que pode gerar riscos à saúde humana.

Outro indicador adotado pela CETESB para avaliar a necessidade de tratamentos adicionais das águas é o Indicador de Potabilidade das Águas Subterrâneas – IPAS. Segundo a CETESB (2018), “o indicador apresenta de forma genérica a qualidade das águas brutas captadas em poços tubulares e utilizadas principalmente para o abastecimento público”. O IPAS mede o percentual de

amostras em conformidade com os padrões de potabilidade definidos pelo Ministério da saúde, Portaria de Consolidação MS nº 5/2017, sendo divididos em três classes: Ruim (0-33%), Regular (33,1 – 67%) e Boa (67,1 – 100%). A Figura 9 mostra os resultados do IPAS, relativos ao período de 2015 a 2018, por aquíferos do ESP e quais os parâmetros não conformes perante a portaria do MS.

Figura 9 – Histórico do IPAS por aquíferos de 2015 a 2018.

Aquífero	2015		2016		2017		2018	
	IPAS	Parâmetros Desconformes	IPAS	Parâmetros Desconformes	IPAS	Parâmetros Desconformes	IPAS	Parâmetros Desconformes
Bauru	72,7	Arsênio, Crômio, Ferro, Fluoreto, Bário, Nitrato, Bact.Het., Coli.Tot., E.coli	54,3	Bário, Crômio, Ferro, Fluoreto, Nitrato, Sólidos Dissolvidos Totais, Bact.Het., Coli.Tot., E.coli	61,7	Crômio, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio amoniacal, Coli.Tot., E.coli	54,9	Bário, Chumbo, Crômio, Ferro, Manganês, Nitrato, Coli.Tot., E.coli
Serra Geral	95,1	Crômio, Ferro, Fluoreto, Sódio, Sulfato, Bact. Het., Coli.Tot.	69	Ferro, Fluoreto, Sódio, Sulfato, Bact.Het., Coli. Tot., E. Coli	72,2	Sódio, Fluoreto, Bact. Het., Coli. Tot.	77,8	Fluoreto, Bact.Het., Coli.Tot., E.coli
Guarani	90,7	Bário, Ferro, Manganês, Selênio, Bact.Het., Coli.Tot., E.coli	74,3	Bário, Ferro, Manganês, Selênio, Bact.Het., Coli. Tot., E.coli	69,4	Alumínio, Ferro, Manganês, Mercúrio, Selênio, Coli.Tot., E. Coli	74,1	Alumínio, Ferro, Manganês, Selênio, Bact.Het., Coli.Tot., E. Coli
Tubarão	74	Ferro, Fluoreto, Manganês, Mercúrio, Sódio, Sulfato, Bact. Het., Coli.Tot.	83,7	Ferro, Fluoreto, Manganês, Sódio, Bact. Het., Coli.Tot., E. Coli	82,7	Cloreto, Ferro, Fluoreto, Manganês, Sódio, Bact. Het., Coli.Tot., E. Coli	80,8	Manganês, Fluoreto, Sódio, Coli.Tot.
Pré-Cambriano	66,7	Arsênio, Chumbo, Ferro, Fluoreto, Manganês, Urânio, Bact.Het., Coli. Tot., E.coli	61,9	Arsênio, Antimônio, Chumbo, Cobre, Ferro, Fluoreto, Manganês, Urânio, Bact.Het., Coli. Tot., E.coli	61,1	Arsênio, Chumbo, Cobre, Ferro, Fluoreto, Manganês, Mercúrio, Urânio, Bact.Het., Coli. Tot., E.coli	61,4	Ferro, Fluoreto, Manganês, Urânio, Bact.Het., Coli.Tot., E.coli
Taubaté	75	Arsênio, Ferro, Manganês, Bact.Het., E.coli	71,4	Arsênio, Ferro, Manganês, Bact.Het., Coli.Tot., E.coli	84,6	Ferro	78,6	Ferro, Manganês, Bact.Het., Coli.Tot., E.coli
São Paulo	20	Ferro, Manganês	50	Ferro, Manganês	55,6	Ferro, Manganês, Coli. Tot., E. Coli	44,4	Ferro, Manganês
Aquiclidade Passa Dois	33,3	Ferro, Fluoreto, Bact. Het.	66,7	Fluoreto, Bact.Het., E.coli	50	Ferro, Fluoreto, Sódio, Coli.Tot.	25,0	Ferro, Fluoreto, Sódio, Sólidos Dissolvidos Totais, Sulfato, Coli.Tot.
Furnas	Sem informação		Sem informação		100	-	100	-
Estado	77,5		64,7		66,5		65,3	

Qualidade das águas subterâneas: Ruim (0-33%); Regular (33,1-67%); Boa (67,1-100%)

Fonte: CETESB, 2019.

Observa-se que desconformidade do parâmetro Nitrato foi recorrente no aquífero Bauru entre 2015 e 2018. A maior frequência de contaminação por nitrato no aquífero Bauru decorre, principalmente, pelo fato deste aquífero aflorar na superfície, caracterizando um comportamento de aquífero livre, que é recarregado por toda sua extensão. O aquífero Bauru é sedimentar, composto por rochas sedimentares arenosas, areno-argilosas e siltosas, depositadas em ambiente

desértico e fluvial, sob clima árido e semiárido e ocupa a metade oeste do Estado de São Paulo. Por conseguinte, o aquífero Bauru tem maiores chances de poluição causada por diversas atividades da região (IRITANI; EZAKI, 2012), onde predominam atividades agrícolas, principalmente culturas de cana-de-açúcar e cítricos, além de atividades agropecuárias e industriais (CETESB, 2019), o que é condizente com a associação de maior potencial de lixiviação do nitrato em áreas agrícolas de cultivo intensivo (JADOSKI et al., 2010).

As análises da concentração de nitrato no Sistema Aquífero Bauru por triênios evidenciou o aumento na porcentagem de amostras com concentrações acima do valor de prevenção e do valor máximo permitido (5 mg N L⁻¹ e 10 mg N L⁻¹) onde, no triênio 2013-2015 os valores representavam 2,8% e 9,6% do total de amostras, aumentando para 4,6% e 18,8% no triênio 2016-2018 (CETESB, 2019), ao passo que no triênio 2004-2006, as amostras que ultrapassavam o valor máximo representavam apenas 1% do total (CETESB, 2007). A Tabela 3 mostra os valores máximos obtidos nas amostras analisadas nos triênios citados para o aquífero Bauru, que possui a maior incidência de concentrações acima do valor de prevenção.

Tabela 3 – Concentrações de Nitrato no aquífero Bauru acima do valor de prevenção (5 mg N L⁻¹) ou do valor máximo permitido (10 mg N L⁻¹), nos triênios 2013-2015 e 2016-2018 (Continua).

Município	2013-2015 (33 pontos)			2016-2018 (34 pontos)		
	Nº de amostras		Valor	Nº de amostras		Valor
	Entre 5 e 10 mg N L ⁻¹	Maior de 10 mg N L ⁻¹	Máximo (mg N L ⁻¹)	Entre 5 e 10 mg N L ⁻¹	Maior de 10 mg N L ⁻¹	Máximo (mg N L ⁻¹)
Bauru	1	2	10,8	b	b	b
Bauru	a	a	a	5	--	9,5
Palestina	1	--	5,0	2	--	5,4
Palmares	1	--	6,0	1	5	11,3
Paulista						
Pedranópolis	1	--	5,0	--	--	--
Santa Adélia	3	--	5,3	3	--	6,0
São José do Rio Preto	6	--	10,0	--	6	11,9
Avaí	2	--	7,6	6	--	9,9

Tabela 3– Valores de prevenção e máximos dos municípios do aquífero Bauru (Conclusão)

	2013-2015 (33 pontos)			2016-2018 (34 pontos)		
	Nº de amostras		Valor	Nº de amostras		Valor
	Entre 5 e 10 mg N L ⁻¹	Maior de 10 mg N L ⁻¹	Máximo (mg N L ⁻¹)	Entre 5 e 10 mg N L ⁻¹	Maior de 10 mg N L ⁻¹	Máximo (mg N L ⁻¹)
Balbinos	2	--	5,3	--	--	--
Ibirá	3	--	5,8	4	--	5,8
Potirendaba	--	--	--	2	--	6,0
Presidente Alv	1	--	6,1	2	--	5,8
Quatá	a	a	a	--	6	21,9
Dirce Reis	a	2	25,6	3	2	23,2
Guzolândia	3	1	13,0	5	--	6,2
Jales	6	--	7,0	6	--	7,3
Andradina	1	4	22,0	b	b	b
Murutinga do Sul	1	--	5,5	5	--	7,1
Clementina	2	1	11,0	4	2	11,5
Monte Castelo	3	--	5,8	5	--	6,4
Nova Independência	3	--	6,4	6	--	7,2
Panorama	1	--	5,6	--	--	--
Parapuã	1	2	12,0	1	5	12,0
Pompeta	--	--	--	6	--	--
Rubiácea	--	--	--	20	--	5,1
Tupã	3	--	10,0	6	--	8,3
Valparaíso	1	--	5,1	--	--	--
Bastos	2	--	6,1	6	--	9,4
Flórida Paulista	1	2	11,2	5	--	8,1
Inúbia Pauista	1	1	11,0	6	--	6,9
Mariápolis	--	--	--	--	1	12,1
Sagre	1	--	7,3	--	--	--
Pirapozinho	--	--	--	1	--	6,8

Fonte: CETESB, 2019.

Onde,

-- Não houve ocorrência acima do padrão;

a – poço novo incorporado;

b – poço desativado.

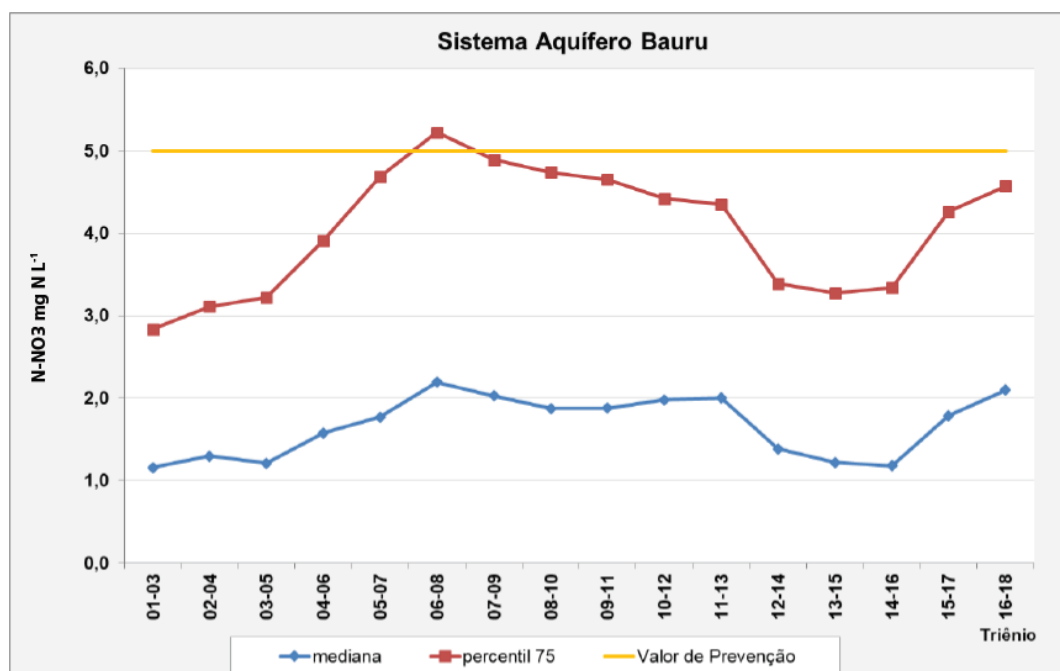
Ao longo do triênio 2016-2018 no Sistema Aquífero Bauru, foram verificadas poluições pontuais de nitrato, nas UGRHIs 20 e 21, com concentrações acima de 10 mg N L⁻¹.

Tais focos de contaminação pode ter origem antrópica a partir da disposição, em alguns pontos do aquífero, de compostos nitrogenados, e que, devido às suas propriedades físicas e químicas, têm alta mobilidade e poder de difusão no meio. Além disso, a presença de contaminantes nitrogenados estão relacionados à ação humana, principalmente em pontos de ocupações urbanas de longa data, densas e problemáticas, como a presença de cemitérios, fossas desativadas, redes de esgoto antigos.

Apesar da maior frequência da contaminação por nitrato no aquífero Bauru, observa-se nos triênios 2013-15 e 2016-2018, que do total de pontos monitorados apenas 8 e 7 pontos, respectivamente, continham concentrações de Nitrato acima do valor permitido.

A Figura 10, mostra um histórico das concentrações de Nitrato de 2001 a 2018 no aquífero Bauru, mostrando uma estabilidade nos dados da mediana, que variaram entre 1,0 e 2,5 mg/L de Nitrato, ao passo que os valores do 3º quartil mostram valores inferiores ao valor de prevenção (5 mg/L) , com exceção do triênio de 2006/2008.

Figura 10 – Histórico das concentrações de Nitrato no SAB de 2001 a 2018.



Fonte: CETESB, 2019.

4.9. PREVENÇÃO E CONTROLE DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

O Decreto Estadual 32.955/1988, que dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo atribui à CETESB prevenir e controlar a poluição das águas subterrâneas, cuja principal ação de proteção é o licenciamento ambiental e fiscalização de fontes de poluição por meio de apresentação de projetos de gestão e manuseio do recurso hídrico e de resíduos sólidos e efluentes líquidos gerados pelo empreendimento ou atividade. Neste decreto são estabelecidas as Áreas de Proteção, que permitem ou impedem a captação e/ou exploração das águas subterrâneas por determinados empreendimentos, áreas estas classificadas em Área de Proteção Máxima, Área de Restrição e Controle e Área de Proteção de Poços e Outras captações. Ademais, é previsto em lei a concessão ou autorização do uso de águas subterrâneas por meio de outorgas de uso, realizadas pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) para determinadas atividades, além de cadastramento e fiscalização de

poços, para evitar abandono do mesmo sem a correta desativação (SÃO PAULO, 1991).

As áreas de proteção restringem as atividades em determinadas áreas, levando em consideração a vulnerabilidade do aquífero e seu tipo à poluições, para proteger a qualidade da água a ser captada de contaminações químicas e bacteriológicas, além da restrição da contaminação por superexploração (SÃO PAULO, 1991).

Para fins de proteção, os Órgãos Ambientais utilizam outros instrumentos, a saber: Mapeamento de vulnerabilidade ao risco de poluição das águas subterrâneas; Zoneamento ambiental; Elaboração de sistemas integrados de informação, para atualização dos dados obtidos e disponibilização à população; Planos de Recursos Hídricos; Classificação e enquadramento das águas subterrâneas de acordo com seu uso; Controle da contaminação de solo e água. O controle da contaminação é um instrumento corretivo, utilizado nos casos em que a contaminação está presente na água subterrânea, sendo necessário estudos e investigação das causas e possíveis fontes poluidoras, para que então, seja aplicada a melhor solução para a despoluição do meio (CETESB, 2020).

4.10. TECNOLOGIAS DE REMOÇÃO E DE REMEDIAÇÃO DO NITRATO

A remoção de nitrato das águas é um processo complexo e dispendioso, que exige tecnologias avançadas. Tratamentos avançados de purificação, como o uso de carvão ativado ou ozônio não são eficazes, sendo esses usados para remoção de poluentes de origem orgânica (PINTO-COELHO; HAVENS, 2015). Alguns processos estudados para remoção do nitrato *ex situ* são o sistema de Eletrodíálise (ED) e a Osmose Inversa (OI).

A Eletrodíálise utiliza membranas catiônica e aniônica, separadas por células individuais. A solução bombeada através das células gerando um potencial elétrico entre os eletrodos. Os cátions migram em direção ao cátodo, passando pela membrana de troca catiônica e são retidos pela membrana de troca aniônica. Igualmente os ânions migram para o ânodo, passando pela membrana de troca aniônica, porém ficam retidos na membrana de troca catiônica (EINSLA, et al., 2005). O sistema foi promissor na remoção de compostos nitrogenados e pode ser feita em laboratório, cujos resultados são ainda melhores do que membranas

comerciais. A ED é muito utilizada na recuperação de águas, entre elas as subterrâneas (Onorato, Banasiak e Schäfer, 2017),

A membrana de osmose inversa é um meio semipermeável que retém íons positivos e negativos, quando o fluido é pressurizado e forçado a sair pela membrana (MONTAÑA et. al, 2013). O tratamento de águas utilizando OI para remover nitrogenados vem sendo estudada por diversos pesquisadores. Elevadas recuperações de nitrato foram atingidas, sendo 91,6% e 94,3% para osmose inversa simples e dupla, respectivamente (EPSZTEIN et al., 2015).

Como técnicas para remediação/remoção do nitrato *in situ* cita-se um estudo de caso com a aplicação da biorremediação de Madeira (2010) no Aquífero Serpa-Brinches, localizado na província do Baixo Alentejo, em Portugal. Este estudo teve como objetivo avaliar a eficiência da remoção de nitrato da água subterrânea contaminada por meio de biorremediação e simulações dos seus efeitos no aquífero.

Foram realizadas quatro amostragens de água subterrânea do aquífero objeto de estudo e a água coletada em cada amostragem foi utilizada para realização do ensaio laboratorial.

Neste estudo, foram testadas inicialmente cinco fontes de carbono (etanol, ácido acético, ácido cítrico, serragem e carvão) com o alvo de avaliar qual delas apresentava maior eficácia na remoção do nitrato da água subterrânea pela comunidade microbiana.

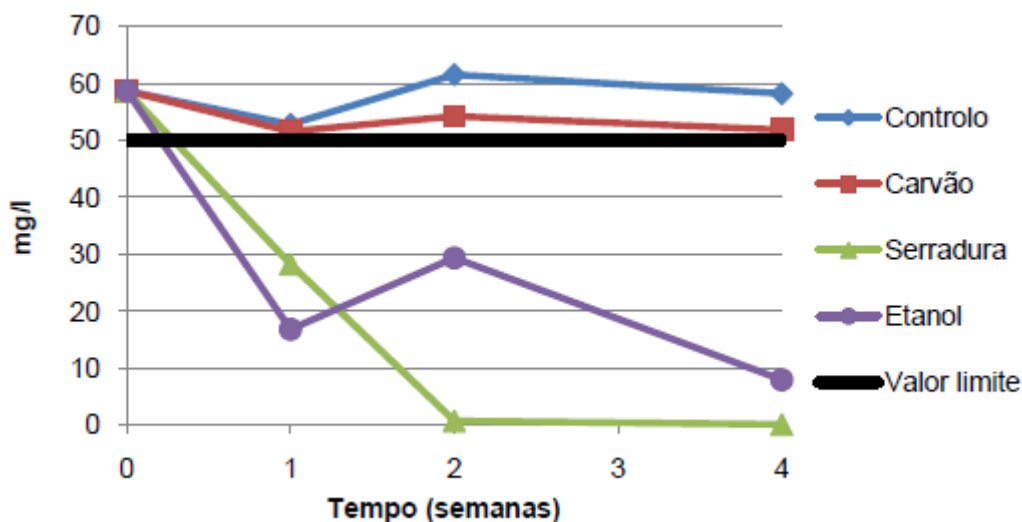
Foram realizados 3 ensaios. Para cada ensaio foram preparados três conjuntos de balões, contando cada um 300ml de meio correspondente a cada dose de carbono a se testar. Ao fim de 1, 2 e 4 semanas foi recolhida a água de um dos balões correspondentes a cada fonte de carbono para determinar quimicamente e à estimativa do número de microrganismos viáveis pelo método de número mais provável (NMP). O método do número mais provável pode ser utilizado na estimativa do número de microrganismos viáveis presentes em amostras de diversas origens como águas, solos, entre outras (Mara e Horan, 2003 apud Madeira 2010).

Foi realizado um quarto ensaio, apenas com o objetivo de determinar o tempo necessário para que a comunidade microbiana reduzisse o nitrato presente no meio.

Ao final dos ensaios realizados, foi identificado que, das cinco fontes de carbono utilizadas nos testes, a aplicação de serragem obteve maior eficiência na remoção do nitrato. Ao analisar as Figuras 11 e 12, verifica-se que já na primeira semana de incubação houve a eliminação do nitrato presente na água do estudo.

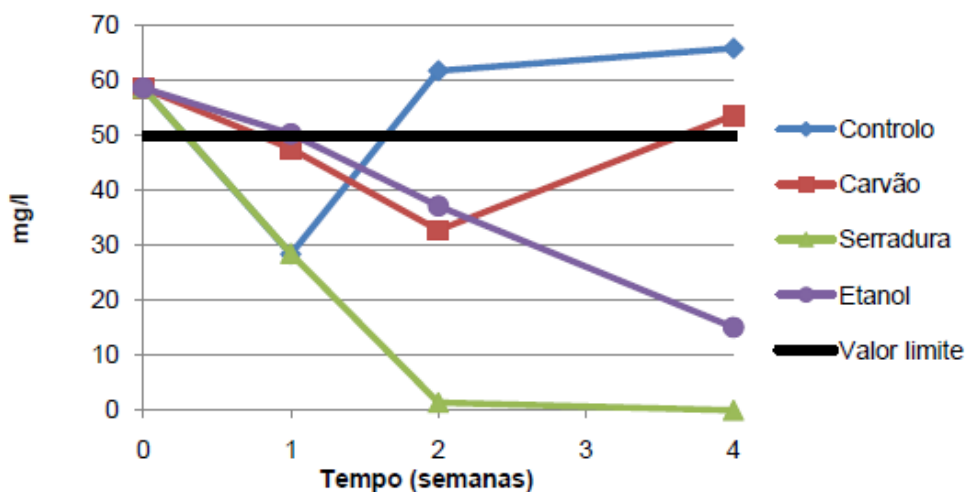
Foi verificado durante o processo concentrações de nitrito, mesmo com a eliminação do nitrato, não indicando completa desnitrificação do meio.

Figura 11 – Concentrações de nitrato nas amostras do primeiro ensaio



Fonte: Madeira, 2010.

Figura 12 – Concentrações de nitrato nas amostras do terceiro ensaio.



Fonte: Madeira, 2010.

Este estudo concluiu que, das fontes de carbono testadas, a serragem apresentou maior eficiência para a eliminação do nitrato no aquífero estudado. A aplicação da biorremediação neste estudo apresentou um alto potencial devido suas vantagens, tais como: baixo investimento, ação rápida, aplicação *in-situ*, entre outras.

Foi utilizado um modelo numérico de escoamento desenvolvido para o aquífero estudado para avaliação da eficiência da tecnologia de biorremediação.

Foi proposto a utilização da serragem, utilizada como fonte de carbono necessária para a bioestimulação, a qual poderia ser introduzida no aquífero sob forma de filtro ou barreira reativa (introdução de cilindro contendo o material, onde a água passaria no seu percurso natural). Com isso, os tempos de descontaminação obtidos foram muito longos e as áreas descontaminadas pequenas, de acordo com as características geológicas e hidrodinâmicas do aquífero.

Também foi proposto a utilização de cortinas de poços, onde esse método seria mais caro, embora a diluição e tratamento da água no aquífero seria mais extensa.

Ademais, a serragem poderia ser aplicada por espalhamento no solo em uma área onde a água flua e atravesse a serragem, dissolvendo o carbono orgânico nela contido.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo sobre a disposição e situação das águas subterrâneas, abordando o contexto histórico da ocupação do homem e sua evolução, foi importante para o entendimento das fontes de contaminação dos aquíferos e de que forma eles contribuem para a contaminação de nitrato das águas subterrâneas.

As principais fontes de contaminação do nitrato são originadas de atividades industriais, disposição de resíduos sólidos e utilização de fertilizantes nitrogenados, vazamentos de sistemas de esgoto e poços antigos e fossas. Constatou-se que as atividades antrópicas acarretam um grande impacto na qualidade ambiental e das águas, pela ocupação do solo e por meio da inserção de substâncias nos aquíferos, permeiam o solo e contaminam as águas subterrâneas. Além disso, por meio de dados disponibilizados pelos relatórios da CETESB, foi possível observar a evolução da contaminação por nitrato no aquífero Bauru, devido à sua estrutura geológica e por ser um aquífero livre, cuja recarga é feita superficialmente, aumentando sua vulnerabilidade aos poluentes advindos de fontes antrópicas e pontuais. Apesar da contaminação por Nitrato ser frequente no aquífero Bauru, de acordo com os dados apresentados pela CETESB (2019), no geral, não há aumento na quantidade de pontos monitorados contaminados, indicando estabilidade ao longo dos anos, com

casos pontuais e isolados de maiores concentrações de nitrato em águas subterrâneas.

O tratamento e a remediação das águas subterrâneas contaminadas por nitrato envolvem o uso de tecnologias avançadas, de custos muito elevado e com tempos muito longos para descontaminação, conforme mostrado no estudo de caso. Logo, o conhecimento das fontes de contaminação, o monitoramento das águas subterrâneas, as outorgas e áreas de proteção de poços, além de outros instrumentos citados nesta monografia, são ferramentas de gestão essenciais para manutenção da qualidade das águas subterrâneas, assim como para a prevenção da sua contaminação.

REFERÊNCIAS¹

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Água no mundo**. São Paulo, 2020. Disponível em: < <https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/agua-no-mundo#> >. Acesso em: 16 jun. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil, e, Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. / coordenação geral, João Gilberto Lotufo Conejo; coordenação executiva, Marcelo Pires da Costa, José Luiz Gomes Zoby. Brasília : ANA, 2007.124 p. : il. (Caderno de Recursos Hídricos, 5).

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2019**: informe anual/ Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2019, 100 p. Disponível em: < http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/conjuntura-completo_bb39ac07.pdf >. Acesso em: 14 set. 2020.

BARBOSA, L. K. L et al. **Zoneamento de aquíferos através da delimitação de perímetros de proteção de poços de abastecimento público de água: o caso da cidade de João Pessoa-PB**. 2008. Disponível em: < <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/5488/1/arquivototal.pdf> >. Acesso em: 16 jun.2020.

BERNICE, A. M. **Evolução da Contaminação por Nitrato em Aquíferos Urbanos: estudo de caso em Urânia (SP)**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: < <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44138/tde-08012011-185746/publico/AMB.pdf> >. Acesso em: 22 jun. 2020.

BIGUELINI, C. P.; GUMY, M. P. **Saúde ambiental: índices de nitrato em águas subterrâneas de poços profundos na região sudoeste do Paraná**. Revista faz ciência, v. 14, n. 20, p. 153, 2012. Disponível em: < <http://e-revista.unioeste.br/index.php/fazciencia/article/download/8724/6724> >. Acesso em 23 jun. 2020.

BORGHETTI, N.R.B; BORGHETTI, J.R; FILHO, E.F.R. **Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul**. Curitiba, 214 p. 2004.

BOUCHARD, D.C.; WILLIAM, S.M.K. **Nitrate contamination of groundwater; sources and potential health effects**. Journal of the American Water Works Association. 1992.

BRASIL Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986**. Disponível em: < <http://www.palmares.gov.br/wp-content/uploads/2018/09/res-conama-01-1986.pdf> >. Acesso em: 31 de out. de 2020.

¹De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 6023).

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 396, de 03 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. Brasília, 2008. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562> >. Acesso em: 23 jun. 2020.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasília, 2009. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620> > Acesso em: 21 jun. 2020.

BRASIL, **Lei nº. 6.938 de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus afins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, publicado em 12.09.1990. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938compilada.htm >. Acesso em: 31 out. 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria de consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Dispõe sobre consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde**. Brasília, 2017. Disponível em: < <https://saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolidacao-n---5--de-28-de-setembro-de-2017.pdf> >. Acesso em: 29 jun. 2020.

CAJAZEIRAS, C.C.A. **Qualidade e uso das águas subterrâneas e a relação com doenças de veiculação hídrica, região de Crajubar, CE**. 2007. 131 f. Disponível em: < <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/316> >. Acesso em: 11 jun. 2020.

CERATTI, M. K. **O Brasil tem sede, embora seja o dono de 20% da água de todo o mundo**. El País. Brasil. Brasília, 2016. Disponível em: < https://brasil.elpais.com/brasil/2016/08/01/politica/1470076598_000832.html >. Acesso em: 11 jun. 2020

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Proteção da qualidade**. São Paulo, 2020. Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/informacoes-basicas/protacao-da-qualidade/> >. Acesso em: 16 jun. 2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Relatório de qualidade das águas subterrâneas do estado de São Paulo 2004-2006**. São Paulo, 2007. 197 p. (Série Relatórios). Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/publicacoes-e-relatorios/> >. Acesso em: 22 jun. 2020

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Relatório de qualidade das águas subterrâneas do estado de São Paulo 2007-2009**. São Paulo, 2010. 258 p. (Série Relatórios). Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/publicacoes-e-relatorios/> >. Acesso em: 22 jun. 2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Relatório de qualidade das águas subterrâneas do estado de São Paulo 2010-2012**. São Paulo, 2013. 241 p. (Série Relatórios). Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/publicacoes-e-relatorios/> >. Acesso em: 22 jun. 2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Relatório de qualidade das águas subterrâneas do estado de São Paulo 2013-2015**. São Paulo, 2016. 308 p. (Série Relatórios). Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/publicacoes-e-relatorios/> >. Acesso em: 22 jun. 2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Relatório de qualidade das águas subterrâneas do estado de São Paulo 2016-2018**. São Paulo, 2019. 290 p. (Série Relatórios). Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/publicacoes-e-relatorios/> >. Acesso em: 22 jun. 2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **CETESB lança Boletim anual de qualidade das águas subterrâneas no Estado**. São Paulo, 2018. Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/blog/2018/06/19/cetesb-lanca-boletim-anual-de-qualidade-das-aguas-subterraneas-no-estado> >. Acesso em: 15 set. 2020.

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (SIGRH). **Nitrato nas águas subterrâneas: desafios frente ao panorama atual**. São Paulo, 2019. Disponível em: < <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents//CRH/18691/12-1-publicacao-nitrato-2.pdf> >. Acesso em: 25 jun. 2020.

COSTA, Darleila Damasceno; KEMPKA, Anieli Pinto; SKORONSKI, Everton. **A contaminação de mananciais de abastecimento pelo nitrato: o panorama do problema no Brasil, suas consequências e as soluções potenciais**. REDE-Revista Eletrônica do PRODEMA, v. 10, n. 2, 2017.

DE CAMPOS, B. R. et al. **Toxicidade aguda da amônia, nitrito e nitrato sobre os juvenis de camarão-rosa *Farfantepenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817) (Crustacea: Decapoda)**. Atlântica (Rio Grande), v. 34, n. 1, p. 75-81, 2012. Disponível em: < <http://repositorio.furg.br/xmlui/bitstream/handle/1/2792/TOXIDADE.pdf?sequence=1> >. Acesso em: 23 jun. 2020.

EINSLA, B.R., et al., **Sulfonated naphthalene dianhydride based polyimide copolymers for proton-exchange-membrane fuel cells: II. Membrane properties and fuel cell performance**. Journal of Membrane Science, 2005. V. 255, p. 141-148.

EPSZTEIN, R.; NIR, O.; LAHAV O.; GREEN M. **Selective nitrate removal from groundwater using a hybrid nanofiltration– reverse osmosis filtration scheme**. Chemical Engineering Journal, v. 279, p. 372–378, 2015.

FERREIRA, A. N. P. et al. **Águas Subterrâneas: um recurso a ser conhecido e protegido**. Ministério do Meio Ambiente, Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, Petrobras, Brasília, DF, 2007. Disponível em: < https://www.mma.gov.br/estruturas/167/publicacao/167_publicacao28012009044356.pdf > Acesso em: 27 jun. 2020.

FREDDO FILHO, V. J. **Qualidade das águas subterrâneas rasas do aquífero Barreiras: estudo de caso em Benevides, PA**. 2018. Tese de Doutorado. Disponível em: < http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/19641/dissertacao_freddo_filho.pdf?sequence=1&isAllowed=y >. Acesso em: 28 jun. 2020.

HIRATA, R. C. A. **Os recursos hídricos subterrâneos e as novas exigências ambientais**. Revista do Instituto Geológico, v. 14, n. 2, p. 39-61, 1993. Disponível em: < <http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/rig/article/view/8827/8093> >. Acesso em: 16 jun. 2020.

HIRATA, R. C.A; FERREIRA, L. M.R. **Os aquíferos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: disponibilidade hídrica e vulnerabilidade à poluição**. Revista Brasileira de Geociências, v. 31, n. 1, p. 43-50, 2001. Disponível em: < <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/download/10443/9868> >. Acesso em: 16 jun. 2020.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Água**. Disponível em: < <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/agua> >. Acesso em: 14 set. 2020.

IRITANI, M.A.; EZAKI, S. 2012. **As águas subterrâneas do estado de São Paulo**. Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo. Instituto Geológico. 106 págs. Disponível em: < <http://www.tratabrasil.org.br/uploads/aguas-subterraneas-2012.pdf> >. Acesso em: 15 jun. 2020.

JADOSKI, S.O. et al. **Características da lixiviação de nitrato em áreas de agricultura intensiva. Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, PR, v. 3, n. 1, p. 193-200, jan.- abr. 2010. Disponível em: < <http://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/article/view/1008> >. Acesso em: 15 jun 2020.

KNOP, Alexandre. **Movimento de Contaminantes no Solo**. 2007.

MADEIRA, J. **Remediação de Aquíferos Contaminados por Nitrato (um caso de estudo por biorremediação)**. 2010. 56 f. Disponível em: < https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/2319/1/ulfc090552_tm_Joana_Madeira.pdf > Acesso em: 11 set. 2020.

MMA/ MEC/ IDEC, **CONSUMO Sustentável: Manual de educação**. Brasília: Consumers International/, 2005. 160 p. Disponível em: < <http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/publicacao8.pdf> > Acesso em: 10 jun. 2020.

MONTAÑA, M.; CAMACHO, A.; SERRANO, I.; DEVESA, R.; MATIA, L.; VALLÉS, I. **Removal of radionuclides in drinking water by membrane treatment using ultrafiltration, reverse osmosis and electro dialysis reversal**. Journal of Environmental Radioactivity, v. 125, p. 86 – 92, 2013.

MONTANHEIRO, F. **Contaminação por nitrato no Aquífero Adamantina: o caso do município de Monte Azul Paulista/SP.** 2014. Dissertação de Mestrado. Disponível em: < <http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/rig/article/view/11381/10836> >. Acesso em 31 out. 2020.

NASCIMENTO, S. A.M; BARBOSA, J. S.F. **Qualidade da água do aquífero freático no alto cristalino de salvador, Bacia do Rio Lucaia, Salvador, Bahia.** Revista Brasileira de Geociências, v. 35, n. 4, p. 543-550, 2016.

NUNES, M.D.X. **Estudo da capacidade de infiltração em sistemas de recarga artificial de aquíferos contaminados no Distrito Federal.** 2016. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/23585/1/2017_MariaDulcineaXavierNunes.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2020.

ONORATO C.; BANASIAK, L. J.; SCHÄFER, A. I. **Inorganic trace contaminant removal from real brackish groundwater using electrodialysis, Separation and Purification Technology**, v. 187, p. 426 – 435, 2017.

ONU. **Glossário de termos do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6: Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos.** 2018. Disponível em: < <https://www.mma.gov.br/assuntos-internacionais/item/15141-publica%C3%A7%C3%B5es.html> >. Acesso em: 17 jun. 2020.

PINTO, M.T. **Evolução das concentrações de nitrato no aquífero Caiuá, estado do Paraná.** Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências da Terra. Curitiba, 2018. 37 f. Disponível em: < http://www.geologia.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2019/06/TCC_M%C3%A1rcio_Tameir%C3%A3o_Pinto.pdf >. Acesso em 01 jul. 2020.

PINTO-COELHO, R. M.; HAVENS, K. **Crise nas águas. Educação, ciência e governança, juntas, evitando conflitos gerados por escassez e perda da qualidade das águas.** Belo Horizonte:[sn], 2015. Disponível em: < <https://www.flseagrant.org/crise-nas-aguas/> >. Acesso em: 23 jun. 2020.

REBOUÇAS, A. C. **"Águas subterrâneas"**, cap. 4. p. 119-151, in Rebouças, A. C., Braga, B. & Tundisi, J.G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**, 703 p. 2ª edição revisada e ampliada, São Paulo, 2002b.

ROMERO, L.; MORENO, L.; NERETNIEKS, I. **A compartment model for solute transport in the near field of a repository for radioactive waste.** 175 Department of Chemical Engineering, 1991.

SAMPAT, Payal. **Expondo a Poluição Freática.** In: Estado do Mundo 2001, WWI.

SANTOS, MHS, KF MIRANDA, LH POERSCH & WJ WASIELESKY. 1993. **Efeito agudo do nitrato sobre alevinos da tainha Mugil platanus (Pisces: Mugilidae).** Anais do Simpósio Brasileiro sobre Cultivo de Camarões. 811-821.

SÃO PAULO, **Lei Estadual nº 6.134, de 02 de junho de 1988**. Dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo e dá outras providências, 1988. Disponível em: < <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1988/lei-6134-02.06.1988.html> >. Acesso em 31 out. 2020.

SÃO PAULO, **Decreto Estadual nº 8.468, de 8 de setembro de 1976**. Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e controle da poluição do meio ambiente, 1976. Disponível em: < <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1976/decreto-8468-08.09.1976.html#:~:text=Pal%C3%A1cio%20dos%20Bandeirantes%2C%208%20de%20setembro%20de%201976.&text=Publicado%20na%20Casa%20Civil%2C%20aos%206%20de%20setembro%20de%201976.&text=Das%20Disposi%C3%A7%C3%B5es%20Preliminares-,Artigo%201.,na%20forma%20prevista%20neste%20regulamento> >. Acesso em 31 out. 2020.

SÃO PAULO. **Lei Estadual nº 13.542, de 8 de maio de 2009**. Altera a denominação da CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental e dá nova redação aos artigos 2º e 10 da Lei nº 118, de 29 de junho de 1973, 2009. Disponível em: < https://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/documentos/lei_13542_2009.pdf >. Acesso em 31 de out. 2020.

SÃO PAULO. **Decreto Estadual nº 32.955, de 7 de fevereiro de 1991**. Regulamenta a Lei nº 6.134, de 2 de junho de 1988. São Paulo, 1991. Disponível em: < <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1991/decreto-32955-07.02.1991.html> >. Acesso em 16 set. 2020.

SILVA, M.A.S.; GRIEBELER, N.P; BORGES, L.C. **Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 11(1):108–114, 2007 Disponível em : < <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v11n1/v11n1a14.pdf> >. Acesso em: 07 jul. 2020.

SOUZA, N. A. et al. **Vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas Um estudo do Aquífero Bauru na zona urbana de Araguari, MG**. 2009. Disponível em:< <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14133/1/VulnerabilidadePoluicaoAguas.pdf> >. Acesso em 16 jun. 2020.

TOSCANO, G. L. G.; SILVA, T. C. **Uso do solo em zonas de proteção de poços para abastecimento público na cidade de João Pessoa (PB)**. Eng. Sanit. Ambient, p. 357-362, 2012. Disponível em:< <https://www.scielo.br/pdf/esa/v17n4/v17n4a01.pdf> > Acesso em: 02 jul.2020.

UNIÃO EUROPÉIA; **Directiva do Conselho** de 12 de dezembro de 1991. Disponível em : < <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1991:375:0001:0008:PT:PDF> > Acesso em: 03 nov. 2020.

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **National Primary Drinking Water Regulations**. 1991. Disponível em: < <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations> >. Acesso em: 04 nov. 2020.

VANIN, A. P. **Remoção de compostos nitrogenados de água utilizando processos de separação por membranas**. 2018. Disponível em: < <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/3854/Dissertacao%20Ana%20Paula%20Vanin.pdf?sequence=1&isAllowed=y> >. Acesso em: 24 jun. 2020.

VARNIER, C. et al. **Nitrato nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru, área urbana do município de Marília (SP)**. Revista do Instituto Geológico, v. 31, n. 1-2, p. 1-21, 2010.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

VIEIRA, R. F. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. Embrapa Meio Ambiente-Livro científico (ALICE), 2017. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/175460/1/2017LV04.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2020.

VILLAR, P. C. **As Águas Subterrâneas e o Direito à Água em um Contexto de Crise**. Ambiente & Sociedade, 2016. Disponível em: < <https://www.redalyc.org/pdf/317/31745308009.pdf> >. Acesso em 01 ago. 2020.