

**Identificação das fontes de contaminação de água potável por nitrato nos estados de
Minas Gerais e São Paulo**

**Identification of potable water contamination sources by nitrate in the states of Minas
Gerais and Sao Paulo**

**Identificación de fuentes de contaminación de agua potable por nitrato en los estados de
Minas Gerais y Sao Paulo**

Recebido: 20/11/2019 | Revisado: 22/11/2019 | Aceito: 25/11/2019 | Publicado: 26/11/2019

Aline Souza Cavalcante Pires

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2029-1565>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: ascmeioambiente@gmail.com

Cíntia Maria Ribeiro Vilarinho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3193-2946>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: vilarinhocintia@gmail.com

Mariana Morales Leite Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1232-5147>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: maripaubrasil@gmail.com

José Augusto Costa Gonçalves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9880-1962>

Universidade Federal de Itajubá

E-mail: jaucosta@unifei.edu.br

Resumo

A presença e a contaminação das águas subterrâneas por nitrato é ainda um tema pouco estudado principalmente com foco na saúde pública. Assim, este trabalho tem por objetivo a identificação e avaliação das fontes de contaminação da água potável por nitrato em Minas Gerais e São Paulo, a partir de pesquisas de campo e das análises do Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Sisagua), que é uma ferramenta do Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para consumo Humano (Vigiagua) para gerenciar os riscos à saúde associados à qualidade da água destinada ao consumo humano. Os resultados da avaliação das concentrações de nitrato nas águas

distribuídas e consumidas pela população em Minas Gerais é oriunda principalmente de pastagens, seguida por lavouras, em São Paulo predominantemente das indústrias seguida por pastagens.

Palavras-chave: Nitrato; Água Subterrânea; Qualidade de água.

Abstract

The presence and contamination of groundwater by nitrate is still a little studied subject mainly focusing on public health. Thus, this work aims to identify and evaluate the sources of nitrate contamination of drinking water in Minas Gerais and São Paulo, based on field research and analyzes of the Water Quality Surveillance Information System for Human Consumption (Sisagua), which is a tool of the National Water Quality Surveillance Program (Vigiagua) to manage the health risks associated with the quality of water intended for human consumption. The results of the evaluation of nitrate concentrations in the waters distributed and consumed by the population in Minas Gerais come mainly from pastures, followed by crops, in São Paulo predominantly from industries followed by pastures.

Keywords: Nitrate; Groundwater; Water quality.

Resumen

La presencia y contaminación de las aguas subterráneas por nitrato todavía es un tema poco estudiado que se centra principalmente en la salud pública. Por lo tanto, este trabajo tiene como objetivo identificar y evaluar las fuentes de contaminación por nitratos del agua potable en Minas Gerais y São Paulo, con base en investigaciones de campo y análisis del Sistema de Información de Vigilancia de la Calidad del Agua para el Consumo Humano Sisagua), que es una herramienta del Programa Nacional de Vigilancia de la Calidad del Agua (Vigiagua) para gestionar los riesgos para la salud asociados con la calidad del agua destinada al consumo humano. Los resultados de la evaluación de las concentraciones de nitrato en las aguas distribuidas y consumidas por la población en Minas Gerais provienen principalmente de pastos, seguidas de cultivos, en São Paulo predominantemente de industrias seguidas de pastos.

Palabras clave: Nitrato; Agua subterránea; Calidad del agua.

1. Introdução

O nitrato é um dos elementos químicos que gera uma grande preocupação quando encontrado em concentrações superiores a 10mg/L, principalmente quando relaciona-se a

captação de água para o abastecimento público, Weitzberg & Lundberg (2013).

O nitrato (NO_3^-) é a principal forma de contaminação da água em aquíferos no mundo, utilizado, portanto, como indicador da contaminação das águas subterrâneas devido à sua alta mobilidade e solubilidade, podendo atingir áreas extensas, Costa et al. (2016), Resende (2002), Reynolds et al. (2006), Varnier et al. (2010).

Para que gás nitrogênio N_2 seja absorvido pelo solo ele necessita ser fixado através de descargas elétricas, bactérias – de vida livre ou simbióticas (como as do gênero *Rhizobium*) – ou pelo processo industrial da produção da uréia, o adubo mais utilizado mundialmente, nesse processo, o nitrogênio na forma de amônio (NH_4^+) ou amônia (NH_3) no solo é oxidado a nitrito através das bactérias (gêneros *Nitrossomonas* e *Nitrossococcus*); em sequência, o nitrito é oxidado a nitrato pelas bactérias (gênero *Nitrobacter*), Meurer (2004). A forma de nitrogênio mais abundante no solo, o nitrato, é fracamente ligado à matéria orgânica e aos argilominerais, sendo facilmente arrastado pelas águas das chuvas através do fenômeno de lixiviação, Meurer (2004).

O consumo de nitrato por meio das águas de abastecimento está relacionado a indução à metahemoglobinemia, especialmente em crianças, Morghi et al. (2015), Ensie & Samad (2014), Biguelini & Gumy (2012), Shrimali & Singh (2001). Essa é uma doença resultante da redução do nitrato a nitrito no estômago dos lactentes, onde o líquido gástrico é menos ácido que o dos adultos, Costa et al. (2016). Nesse processo, a nitrito combina-se no sangue com a hemoglobina, produzindo a metahemoglobina, que não tem a capacidade de fixar o oxigênio durante a passagem pelos pulmões e, por conseguinte, de o transportar para as células, Costa et al. (2016). O autor alerta que a insuficiência de oxigênio, comumente designada de “síndrome do bebê azul”, pode levar à paralisia cerebral e ao óbito, caso não haja um tratamento adequado, sobretudo em lactentes com menos de 3 meses.

No estado de São Paulo, o monitoramento da qualidade natural da água subterrânea realizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) tem indicado concentrações anômalas de nitrato, muitas vezes excedendo os valores de potabilidade (10mg/L), em inúmeros poços, especialmente naqueles que exploram o Sistema Aquífero Bauru, CETESB (2010).

Em Minas Gerais, destaca-se pela ausência de tratamento de esgotos em 67,25% dos municípios mineiros. O percentual de atendimento à população urbana no estado pelo serviço de tratamento de esgotos por Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) regularizadas ambientalmente foi estimado em 44,69% FEAM (2015).

Assim, um estudo sobre a presença e contaminação do nitrato nas águas subterrâneas

se faz necessário, visto que poucos trabalhos tratam do tema, com foco na saúde pública. Desta forma, o objetivo do presente trabalho é realizar um estudo acerca da contaminação das águas subterrâneas por nitrato, identificando as fontes de contaminação da água potável nos estados de Minas Gerais e São Paulo.

2. Metodologia

O presente estudo foi realizado através de uma pesquisa quantitativa e qualitativa, tendo sido utilizados dados a partir da coleta de fontes secundárias, conforme mostrado na Figura 1.

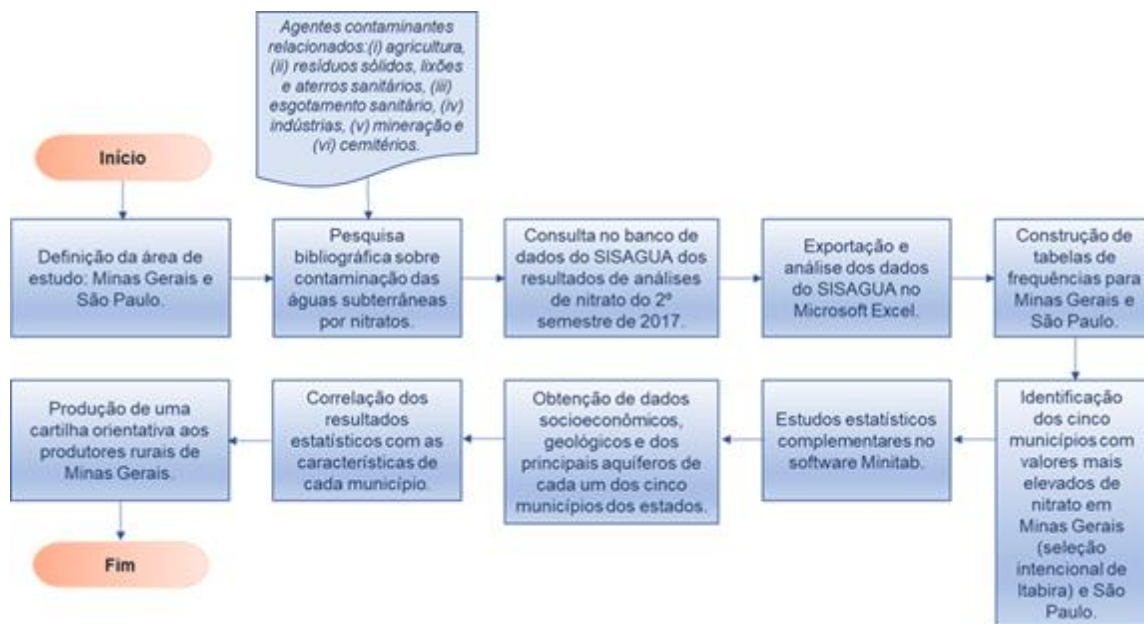


Figura 1 - Fluxograma da metodologia utilizada para o desenvolvimento do estudo

Fonte: Elaborada pelos autores

A área de estudo selecionada compreende os estados de Minas Gerais e São Paulo, com o detalhamento posterior daqueles municípios em que foram identificados graus mais elevados de contaminação das águas por nitrato, com a triagem de cinco municípios em cada estado. O município de Itabira (MG) foi intencionalmente introduzido na amostra, com o objetivo de analisar os dados referentes ao território de inserção dos pesquisadores do Programa de Pós – Graduação em Regulação e Governança de Recursos Hídricos - Mestrado Profágua.

A pesquisa bibliográfica pertinente à contaminação das águas subterrâneas foi relacionar a presença do nitrato como agente contaminante na: (i) agricultura, (ii) resíduos

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

Na estratificação das análises, observou-se que, no segundo semestre de 2017, foram informados 3.548 resultados de análises de nitrato, sendo 517 em Minas Gerais e 3.031 em São Paulo, conforme demonstrado na Tabela 1. Avaliando as instituições que preencheram os dados do portal, observou-se que 98,84% (3.507) foram prestadores de saneamento, sendo que uma pequena parcela (1,15%) de estabelecimentos comerciais e indústrias também integrou o banco de dados, sendo essa última apenas em São Paulo.

Tabela 1- Número de análises de nitrato do SISAGUA por estado.

| Estado | Nº de análises | | | | |
|--------------|----------------|-------------|---------------------------|-----------------------------|------------|
| | % | Total | Prestadores de saneamento | Estabelecimentos comerciais | Indústrias |
| Minas Gerais | 14,57% | 517 | 517 | 0 | 0 |
| São Paulo | 85,43% | 3031 | 2990 | 36 | 5 |
| Total | 100,00% | 3548 | 3507 | 36 | 5 |

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do SISAGUA (2017).

Aprofundando sobre o número de análises de nitrato dos prestadores de saneamento, os números do SISAGUA foram correlacionados com as variáveis: (i) prestadores de saneamento regulados, (ii) número de municípios e (iii) população, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 - Correlação do número de análises de nitrato com outras variáveis

| Estado | Número de análises dos prestadores de saneamento | Prestadores de saneamento regulados | Índice de análises por prestadores regulados | Municípios | Índice de análises por municípios | População | Índice de análises por habitante |
|--------------|--|-------------------------------------|--|------------|-----------------------------------|------------|----------------------------------|
| Minas Gerais | 517 | 658* | 78,57% | 853 | 60,61% | 21.040.662 | 0,0025% |
| São Paulo | 2990 | 424** | 705,19% | 645 | 463,57% | 45.538.936 | 0,0066% |

Fonte: Elaborada pelos autores.

*Em Minas Gerais foram consideradas as agências reguladoras ARSAE-MG (635 municípios) e ARISB-MG (23 municípios). **Em São Paulo foram consideradas as agências reguladoras ARSESP (366 municípios) e ARES-PCJ (58 municípios).

Dessa forma foi possível traçar possíveis relações entre o número superior de análises de São Paulo com outras perspectivas e estabelecimento de uma analogia com os resultados de Minas Gerais. Constatou-se que:

- a) o número de análises de Minas Gerais compreende 78,57% dos municípios

regulados, enquanto que em São Paulo essa relação é de 705,19%, considerando o número de prestadores de saneamento regulados pelas agências associadas à ABAR em ambos os estados. Dessa forma, em Minas Gerais a proporção de prestadores que enviaram seus dados para o SISAGUA foi menor do que um para cada localidade regulada, enquanto que em São Paulo foi maior do que sete análises para cada cidade atendida pelas agências reguladoras. Essa consideração é importante tendo em vista que as agências reguladoras têm como atribuição o monitoramento da qualidade da água dos municípios regulados;

b) o índice das análises do SISAGUA por município foi de 60,61% em Minas Gerais e de 463,57% em São Paulo. De modo semelhante ao exame anterior, a fração de análises realizadas em São Paulo para avaliação do teor de nitrato nos recursos hídricos cumpre em média um critério de cerca de 5 análises por município, enquanto que em Minas Gerais o valor é inferior a uma análise por cidade (0,61);

c) na avaliação do índice das análises do SISAGUA por habitante, considerando que a população do estado de São Paulo é aproximadamente 2 vezes maior do que a de Minas Gerais, os valores apurados foram de 0,0066% e 0,0025% análises por habitante, respectivamente. Apesar dessa avaliação ter demonstrado uma redução da marcada dissemelhança entre o número de análises entre os dois estados, São Paulo ainda apresenta um valor superior do monitoramento do nitrato no SISAGUA.

Após essa avaliação, foram assinaladas as análises cujos valores encontravam-se acima do valor recomendado de 10 mg/L, conforme a Portaria de Consolidação nº 5 e a Resolução nº 420/2019 do CONAMA, sendo estes dados inseridos na Tabela 3.

Tabela 3 - Análises de nitrato do SISAGUA com valores acima do recomendado

| Estado | Nº de análises | Análises NO ₃ > 10 mg/L | Índice de análises NO ₃ > 10 mg/L |
|--------------|----------------|------------------------------------|--|
| Minas Gerais | 517 | 1 | 0,19% |
| São Paulo | 3031 | 31 | 1,02% |

Fonte: Elaborada pelos próprios autores a partir de dados do SISAGUA (2017).

Em Minas Gerais, foi encontrado apenas um resultado de análise de nitrato acima de 10 mg/L, enquanto que em São Paulo constatou-se trinta e um casos cujos valores estavam maiores do que o valor supracitado. Ponderando essas quantias com o número de análises informadas, apurou-se um índice de não-conformidade de 0,19% em Minas Gerais e 1,02% em São Paulo.

Os resultados das análises que indicaram a presença de nitrato em Minas Gerais foram

agrupados na tabela de frequência, Tabela 4, para avaliação da distribuição dos dados.

Tabela 4 - Tabela de frequências dos resultados de análises do Estado de Minas Gerais

| Classes | Frequência absoluta | Frequência relativa | Frequência absoluta acumulada | Frequência relativa acumulada |
|------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 0,00 --- 1,38 | 413 | 79,88% | 413 | 79,88% |
| 1,38 --- 2,76 | 69 | 13,35% | 482 | 93,23% |
| 2,76 --- 4,14 | 17 | 3,29% | 499 | 96,52% |
| 4,14 --- 5,52 | 7 | 1,35% | 506 | 97,87% |
| 5,52 --- 6,90 | 5 | 0,97% | 511 | 98,84% |
| 6,90 --- 8,28 | 1 | 0,19% | 512 | 99,03% |
| 9,66 --- 11,04 | 4 | 0,77% | 516 | 99,81% |
| 30,36 - 31,74 | 1 | 0,19% | 517 | 100,00% |
| Total | 517 | - | - | - |

Fonte: Elaborada pelos próprios autores a partir de dados do SISAGUA (2017).

Os dados da Tabela 4 demonstraram que cerca de 80% dos municípios de Minas Gerais possuem uma concentração de nitrato inferior a 1,38 mg/L na água dos sistemas e soluções alternativas de abastecimento. A segunda classe mais representativa foi aquela cujos resultados de análises encontravam-se no intervalo de 1,38 a 2,75 mg/L, com 13,35% dos dados e, em seguida, resultados que apresentaram valores de 2,76 a 4,13 mg/L com 3,29%. Considerando o valor máximo recomendado (10 mg/L), observou-se que apenas um resultado de análise (0,19%) estava acima desse valor. Por sua vez, a observação dos resultados das análises de São Paulo apresentou um resultado divergente, como demonstrado na Tabela 5.

Tabela 5 - Tabela de frequências dos resultados de análises do Estado de São Paulo

| Classes | Frequência absoluta | Frequência relativa | Frequência absoluta acumulada | Frequência relativa acumulada |
|-------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 0,00 --- 1,53 | 1787 | 58,96% | 1787 | 58,96% |
| 1,53 --- 3,06 | 603 | 19,89% | 2390 | 78,85% |
| 3,06 --- 4,59 | 271 | 8,94% | 2661 | 87,79% |
| 4,59 --- 6,12 | 142 | 4,68% | 2803 | 92,48% |
| 6,12 --- 7,65 | 101 | 3,33% | 2904 | 95,81% |
| 7,65 --- 9,18 | 49 | 1,62% | 2953 | 97,43% |
| 9,18 --- 10,71 | 50 | 1,65% | 3003 | 99,08% |
| 10,71 --- 12,24 | 12 | 0,40% | 3015 | 99,47% |
| 12,24 --- 13,77 | 8 | 0,26% | 3023 | 99,74% |
| 15,30 --- 16,83 | 2 | 0,07% | 3025 | 99,80% |
| 16,83 --- 18,36 | 1 | 0,03% | 3026 | 99,84% |
| 18,36 --- 19,89 | 2 | 0,07% | 3028 | 99,90% |
| 30,60 --- 32,13 | 1 | 0,03% | 3029 | 99,93% |
| 42,84 --- 44,37 | 1 | 0,03% | 3030 | 99,97% |
| 84,15 --- 85,68 | 1 | 0,03% | 3031 | 100,00% |
| Total | 3031 | 100,00% | - | - |

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do SISAGUA (2017).

A Tabela 5 demonstrou que 58,96% dos resultados de análises estavam na menor faixa (0,00 a 1,52 mg/L). Posteriormente, 38,46% das análises integraram as classes posteriores, compreendendo o intervalo de 1,53 a 9,18 mg/L. Desse modo, 97,43% das análises de São Paulo ficaram abaixo de 9,18 mg/L – próximo ao valor máximo recomendado – e aproximadamente 2,57% superaram essa concentração.

A distribuição das classes de Minas Gerais e São Paulo foram bem distintas, conjuntura que foi resultante da divergência entre o número de amostras não-conformes, além da maior concentração dos dados de Minas Gerais nos valores mais baixos.

Com base nessa planilha, foi realizada a estratificação dos cinco municípios com os mais altos valores de nitrato encontrados em cada um dos estados na Tabela 6, lembrando que, em Minas Gerais, o município de Itabira foi incluído na amostra previamente, conforme explicado na metodologia do presente trabalho.

Tabela 6 - Municípios com maiores valores de concentração de nitrato no SISAGUA em Minas Gerais e São Paulo

| UF | Ordem | Município | Nome da Instituição | Resultado | Agência Reguladora |
|----|-------|---------------------|-------------------------------|-----------|--------------------|
| MG | 1º | Itaúna | SAAE de Itaúna | 31,49 | ARISB-MG |
| | 2º | Entre Rios de Minas | COPASA | 10,00 | ARSAE-MG |
| | 3º | São João da Ponte | COPASA | 9,91 | ARSAE-MG |
| | 4º | Lagoa dos Patos | COPASA | 9,86 | ARSAE-MG |
| | - | Itabira | SAAE de Itabira | 4,61 | ARSAE-MG |
| SP | 1º | Paulínia | Bann Química Ltda | 84,50 | ARSESP |
| | 2º | Campinas | Clube Campineiro de Regatas e | 44,00 | ARES-PCJ |
| | 3º | Valinhos | DAEV | 32,00 | ARES-PCJ |
| | 4º | Jundiaí | Notre Dame Intermédica | 18,79 | ARES-PCJ |
| | 5º | Andradina | Águas de Andradina SA | 16,95 | ARSAE (municipal) |

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do SISAGUA (2017).

Na Figura 3 e Tabela 7 são mostrados estatisticamente o comportamento dos resultados das análises de nitrato em Minas Gerais e São Paulo.

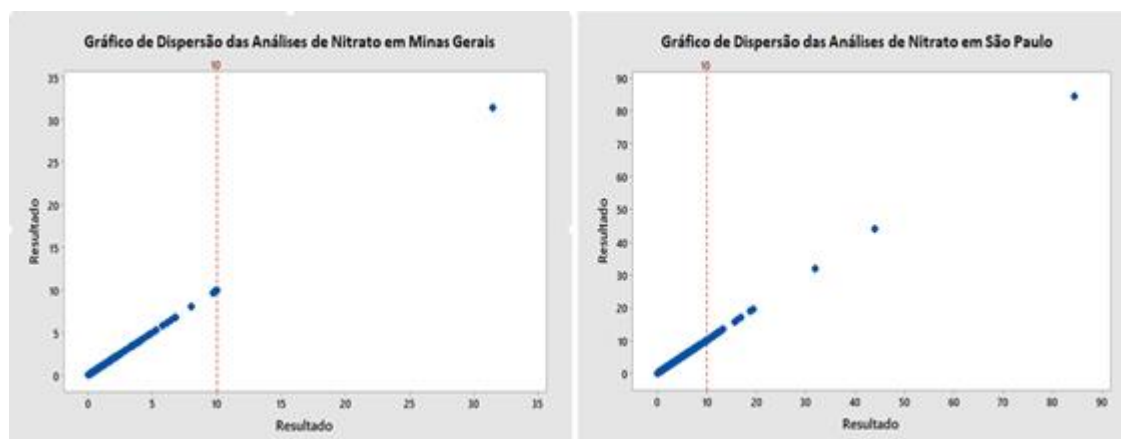


Figura 3 - Gráficos de dispersão de Minas Gerais e São Paulo

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do SISAGUA (2017).

Os gráficos de dispersão da Figura 3 demonstram que em Minas Gerais, o ponto isolado próximo ao número 30 nas escalas x e y mostra o valor encontrado no município de Itaúna. Já em São Paulo, é possível perceber diversos pontos que ultrapassam o valor máximo recomendado de 10 mg/L, sendo o ponto próximo ao número 80 o valor mais distante.

A Tabela 7 mostra que o desvio padrão dos resultados de Minas Gerais foi menor do que àquele encontrado para São Paulo, ratificando os resultados da Figura 3 que mostrou uma menor dispersão dos dados nas análises do estado mineiro. Contudo, o erro padrão da média (EP Média) foi maior em Minas Gerais, uma vez que a amostra de São Paulo foi mais representativa. Nos demais itens analisados – média, mediana, Q1 e Q3 – os resultados de Minas Gerais foram menores, demonstrando a predominância de valores mais baixos de concentração de nitrato nas análises de água.

Tabela 7 - Estatística geral dos dados de Minas Gerais e São Paulo

| <u>Minas Gerais</u> | | | | | | | | | | |
|---------------------|------|----|--------|----------|---------|--------|--------|---------|--------|---------|
| Variável | N | N* | Média | EP Média | DesvPad | Mínimo | Q1 | Mediana | Q3 | Máximo |
| Resultado | 517 | 72 | 1,0096 | 0,0843 | 1,9159 | 0,0000 | 0,2000 | 0,4670 | 1,0100 | 31,4900 |
| <u>São Paulo</u> | | | | | | | | | | |
| Variável | N | N* | Média | EP Média | DesvPad | Mínimo | Q1 | Mediana | Q3 | Máximo |
| Resultado | 3031 | 0 | 2,0458 | 0,0539 | 2,9665 | 0,0000 | 0,3680 | 1,1100 | 2,6100 | 84,5000 |

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do SISAGUA (2017).

3.1. Diagnóstico dos municípios e análise dos resultados de nitrato

Os municípios Itaúna, Entre Rios de Minas, São João da Ponte, Itabira – em Minas Gerais – e Paulínia, Campinas, Valinhos, Jundiá e Andradina – em São Paulo – foram estudados para investigação sobre os fatores que influenciaram os resultados de seus

respectivos estados. Para contextualizar os resultados, foram realizados levantamentos sobre o perfil socioeconômico, geológico, bem como os principais aquíferos que abrangem essas regiões. Os resultados das análises do SISAGUA foram detalhados na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados de análises dos municípios pertencentes à área de estudo

| UF | Ordem | Município | Nome da Instituição | Nome da ETA / UTA | Data da Análise | Ponto de Monitoramento | Resultado | Agência Reguladora |
|----|-------|---------------------|-------------------------------|--|-----------------|------------------------|-----------|--------------------|
| MG | 1ª | Itaúna | SAAE de Itaúna | Retiro dos Farias | 20/09/2017 | Saída do tratamento | 31,49 | ARISB-MG |
| | 2ª | Entre Rios de Minas | COPASA | ETA Entre Rios | 27/12/2017 | Ponto de captação | 10,00 | ARSAE-MG |
| | 3ª | São João da Ponte | COPASA | Unidade de Tratamento de Condado do Norte | 19/10/2017 | Ponto de captação | 9,91 | ARSAE-MG |
| | 4ª | Lagoa dos Patos | COPASA | Profundo Lagoa dos Patos | 04/07/2017 | Ponto de captação | 9,86 | ARSAE-MG |
| | - | Itabira | SAAE de Itabira | Hospital Nossa Senhora das Dores | 13/09/2017 | Ponto de captação | 4,61 | ARSAE-MG |
| SP | 1ª | Paulínia | Bann Química Ltda | Bann Química | 31/08/2017 | Ponto de captação | 84,50 | ARSESP |
| | 2ª | Campinas | Clube Campineiro de Regatas e | Clube Campineiro de Regatas e Natação | 21/09/2017 | Ponto de captação | 44,00 | ARES-PCJ |
| | 3ª | Valinhos | DAEV | Airton Cesar Minto | 16/11/2017 | Ponto de captação | 32,00 | ARES-PCJ |
| | 4ª | Jundiaí | Notre Dame Intermédica | Intermédica Sistemas de Saúde SA | 13/07/2017 | Ponto de captação | 18,79 | ARES-PCJ |
| | 5ª | Andradina | Águas de Andradina SA | Sistema de Abastecimento de Água Paranópolis | 12/09/2017 | Saída do tratamento | 16,95 | ARSAE (municipal) |

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do SISAGUA (2017).

Observando as instituições elencadas na Tabela 8, pode-se depreender que as análises que indicaram concentrações mais elevadas de nitrato na água estavam circunscritas aos prestadores de saneamento na maioria dos casos (70,0%). Em Minas Gerais todas as amostras referiram-se a esse segmento, enquanto que em São Paulo, duas observações foram assim classificadas (representando 40,0% do total de análises desse estado). Essa distribuição dos segmentos dos municípios pode ser visualizada na Figura 4.



Figura 4 - Segmentos dos municípios de Minas Gerais e São Paulo

Fonte: Elaborada pelos próprios autores a partir de dados do SISAGUA (2017).

A Tabela 8 também demonstrou que 80,0% dos municípios apresentaram resultados maiores nas análises de nitrato no ponto de captação, enquanto que 20,0% desses dados foram obtidos em análises na saída do tratamento. Apesar da maior proporção ter sido localizada na captação, os dois resultados de análise encontrados na saída de tratamento apresentaram valores superiores ao recomendado pela Portaria de Potabilidade da Água para Consumo Humano do Ministério da Saúde. Em Itaúna (MG), o valor declarado ao SISAGUA foi de 31,49 mg/L (214,90% acima do recomendado) e em Andradina (SP) foi de 16,95 mg/L (69,50% acima de 10 mg/L).

Outro importante dado da Tabela 8 a ser avaliado refere-se às datas em que as coletas foram realizadas. O banco de dados tinha como referência o segundo semestre de 2017, portanto, as instituições teriam os meses de julho a dezembro para realização das análises. Confrontando o ano hidrológico com esse intervalo de tempo, os meses de julho a setembro fazem parte do período de estiagem e a partir de outubro (quando começa o ano hidrológico) a dezembro tem-se a época de chuvas. Destarte, 40% das análises realizadas pelos dez municípios estavam contidas em setembro, 20% em julho e o valor de 10% se repetiu nos meses de agosto, outubro, novembro e dezembro. Tendo em vista o processo de lixiviação do solo, as análises que forem realizadas no período de chuvas podem apresentar valores mais elevados. Isso quer dizer que, em 70% das análises dos dez municípios, realizadas no período de estiagem, o valor encontrado deveria superar àqueles reportados caso as mesmas tivessem sido realizadas no período chuvoso. Essa condição se torna alarmante ao verificar que os maiores valores registrados nos municípios (concentrações de 84,50, 44,0 e 31,49 mg/L) trataram-se de análises realizadas nos meses de agosto e setembro.

Também foi possível observar na Tabela 8 que todos os dez municípios investigados no estudo possuíam agência reguladora, sendo que em 90% deles as agências são reconhecidas pela ABAR e atendem mais de 20 municípios – considerando a menor delas. Uma cidade da pesquisa é atendida por uma agência reguladora municipal que não é associada à ABAR.

Posteriormente, os dados gerais dos municípios foram levantados para avaliação dos resultados que podem ter influenciado o resultado obtido, conforme disposto na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultados das análises de nitrato dos municípios de acordo com suas características

| UF | Município | Análises de nitrato (mg/L) | Pastagens | Lavoura | Florestas | Estabelec. rurais | Indústrias | Tratamento de esgoto | Disposição do lixo |
|--------------|---------------------|----------------------------|-----------|---------|-----------|-------------------|------------|----------------------|--------------------|
| Minas Gerais | Itaúna | 31,49 | 17.391 | 2.123 | 6.882 | 618 | 3.536 | 1,00% | Aterro sanitário |
| | Entre Rios de Minas | 10,00 | 12.178 | 3.383 | 3.882 | 897 | 488 | 0,00% | Aterro controlado |
| | São João da Ponte | 9,91 | 81.000 | 7.446 | 27.378 | 3.310 | 338 | 10,00% | Lixão |
| | Lagoa dos Patos | 9,86 | 21.597 | 1.233 | 10.936 | 481 | 38 | 52,40% | Aterro sanitário |
| | Itabira | 4,61 | 31.138 | 1.516 | 25.797 | 1.665 | 3.028 | 39,51% | Lixão |
| São Paulo | Paulínia | 84,50 | 96 | 1.617 | 97 | 42 | 3.585 | 90,00% | Aterro sanitário |
| | Campinas | 44,00 | 12.994 | 5.378 | 5.785 | 582 | 46.483 | 82,00% | Aterro sanitário* |
| | Valinhos | 32,00 | 1.880 | 694 | 853 | 266 | 5.952 | 90,00% | Aterro sanitário** |
| | Jundiaí | 18,79 | 1.809 | 1.370 | 4.199 | 399 | 17.707 | 100,00% | Aterro sanitário |
| | Andradina | 16,95 | 20.606 | 41.360 | 2.842 | 839 | 1.939 | 96,00% | Aterro sanitário |

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os itens a seguir apresentarão a estratificação dos dados, mediante os valores apurados para pastagens, lavoura, florestas, estabelecimentos rurais, indústrias, tratamento de esgoto e aterros sanitários.

3.2. Agricultura, pecuária, estabelecimentos rurais e indústrias

Através da coleta de dados referente agricultura, pecuária, número de estabelecimentos rurais e indústrias, foram elaboradas planilhas para controle e compilação dos resultados entre os dez municípios pertencentes à área de estudo, por estado, conforme Figura 5.

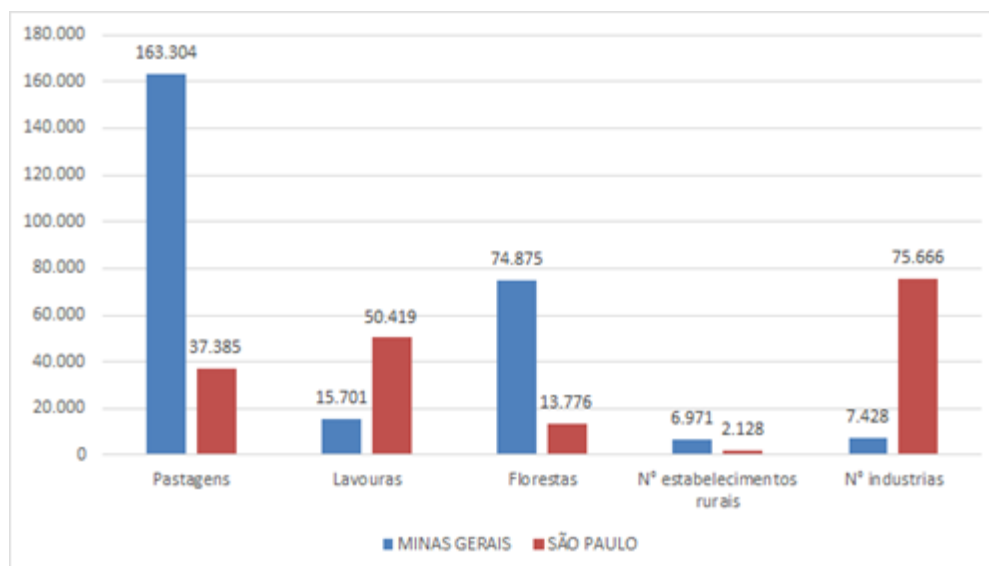


Figura 5 - Caracterização Geral dos estados de Minas Gerais e São Paulo

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do IBGE (2017).

Os cinco municípios inseridos na área de estudo no estado de Minas Gerais apresentaram 160 mil hectares de áreas destinadas à pastagens naturais ou manejadas. Em Minas Gerais observa-se também que as áreas florestadas, seja com mata nativa ou floresta

plantada, corresponderam a 74 mil hectares, valor que é cerca de cinco vezes maior do que a área destinada às áreas florestadas nas cinco cidades de estudo localizadas no estado de São Paulo. Observa-se também que o estado de São Paulo apresenta 50.419 hectares de cultivo agrícola enquanto Minas Gerais apresenta 15.701 hectares de área com inserção de atividades agrícolas, IBGE (2017).

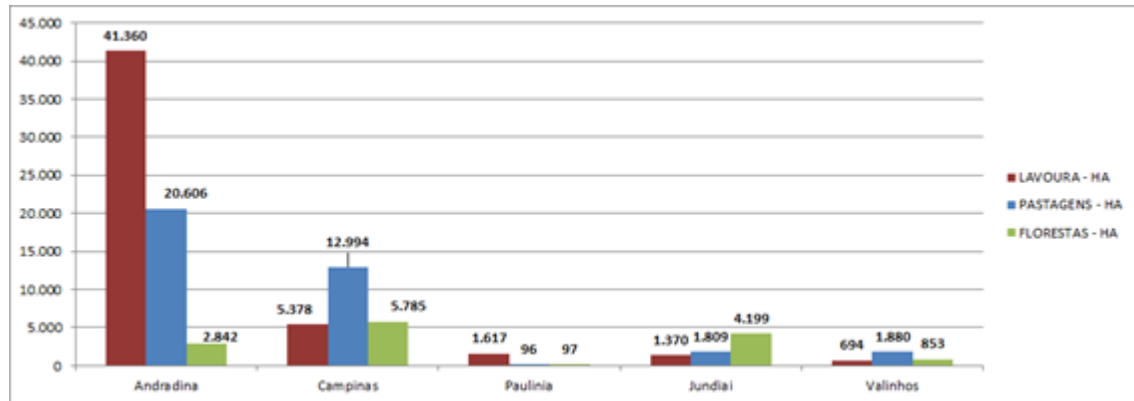


Figura 6 - Uso do solo nos municípios de São Paulo

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do IBGE (2017).

Conforme Figura 6, o município do estado de São Paulo que apresenta a maior área de vinculada a pastagem e a agricultura é Andradina, com 20.606 hectares de pastagens e 41.360 hectares de áreas de agricultura. Destaca-se que a principal cultura agrícola do município de Andradina é a cana de açúcar, com 35.000 hectares de áreas plantadas, IBGE (2017). O município de Campinas apresenta a maior área florestada, com 5.785 hectares. Dentre os 5 municípios analisados no estado de São Paulo, o município de Paulínia, município com a maior concentração de nitrato nas amostras relacionadas à área de estudo, apresenta os menores valores de hectares para pecuária e para áreas florestadas, seguidos de Valinhos e Jundiaí.

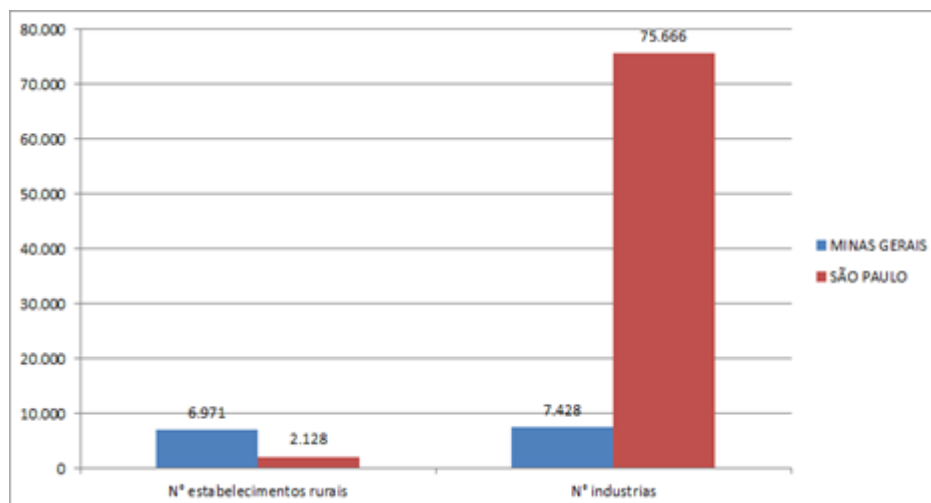


Figura 7 - Uso do solo nos municípios de Minas Gerais

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do IBGE (2017).

Em Minas Gerais, em São João da Ponte existem cerca 81.000 hectares de pastagens, ou seja, a maior área de pastagens inseridas na área de estudo, seguidos de Itabira, Lagoa dos Patos, Itaúna e Entre Rios de Minas. Com relação ao cultivo agrícola destaca-se que a maior área de lavoura insere-se no município de São João da Ponte, predominância no plantio de Milho, Feijão e Cana de Açúcar. Com relação às áreas florestadas destaca-se que São João da Ponte tem em seu território 27.738 hectares de floresta, seguido de Itabira com 25.797 hectares, Lagoa dos Patos com 10.936 hectares, Itaúna com 6.682 hectares e Entre Rios de Minas com 3.882 hectares, o que representa a menor área de floresta da área de estudo dentro de Minas Gerais.

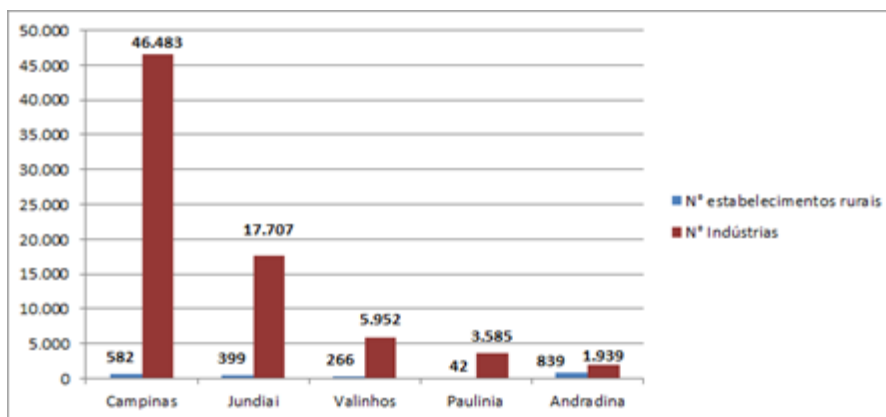


Figura 8 - Estabelecimentos Rurais e Indústrias em Minas Gerais e São Paulo

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do IBGE (2017).

Na Figura 8, verifica-se que o estado de São Paulo apresenta em seu território 75.666 indústrias, enquanto em Minas Gerais, são 7.428, valor 10 vezes menor que o apresentado pelo estado de São Paulo. No somatório dos 10 municípios que compõe a área de estudo, estão inseridas 9.099 estabelecimentos rurais, sendo que 6.971 estabelecimentos rurais estão inseridos em Minas Gerais, o que representa 77% do total e 2.128 estabelecimentos rurais no estado de São Paulo, o que representa 23% do total.

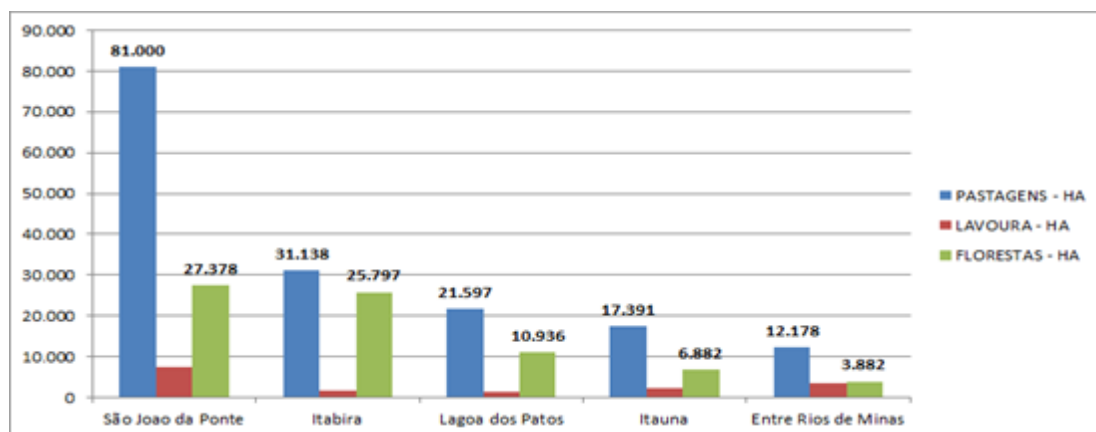


Figura 9 - Estabelecimentos Rurais e Indústrias nos municípios de São Paulo

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do IBGE (2017).

Destaca-se que das 75.666 industriais localizadas em São Paulo, 46.483 indústrias estão inseridas em Campinas o que representa 61,43% do total encontrado na área de estudo. Com relação ao número de estabelecimentos rurais, pode-se verificar uma pequena quantidade de estabelecimentos cadastrados nos 5 municípios de São Paulo, no qual Andradina, com 839 estabelecimentos rurais, apresenta a maior quantidade, (Figura 9).

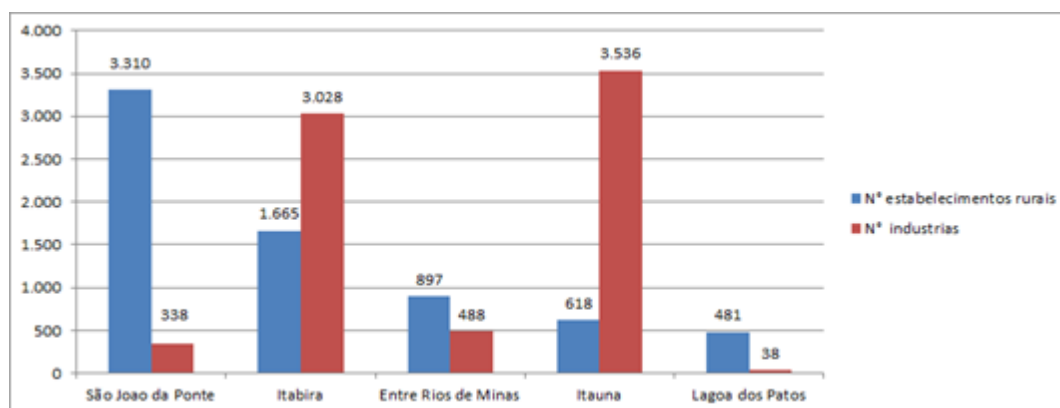


Figura 10 - Estabelecimentos Rurais e Industriais nos municípios de Minas Gerais

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do IBGE (2017).

Conforme Figura 10, o município de Itaúna apresentou um total de 3.310 indústrias no território, o que representa a maior quantidade de indústrias dentre os municípios de Minas Gerais localizados na área de estudo. Pode-se destacar também, que Itaúna é o único município do estado que a amostra que apresentou concentração de nitrato superior a 10 mg/L. Com relação aos estabelecimentos rurais verifica-se que São João da Ponte foi o município que apresentou o maior quantitativo de estabelecimentos rurais, seguidos por

Itabira, Entre Rios de Minas, Itaúna e Lagoa dos Patos.

3.3. Esgotamento Sanitário

O gráfico da Figura 11 e a Tabela 10 apresentam os dados compilados sobre a forma de disposição final do esgoto sanitário nos 10 municípios analisados. Os dados em questão, foram extraídos do Atlas de Esgoto Sanitário da Agência Nacional de Águas – ANA (2013).

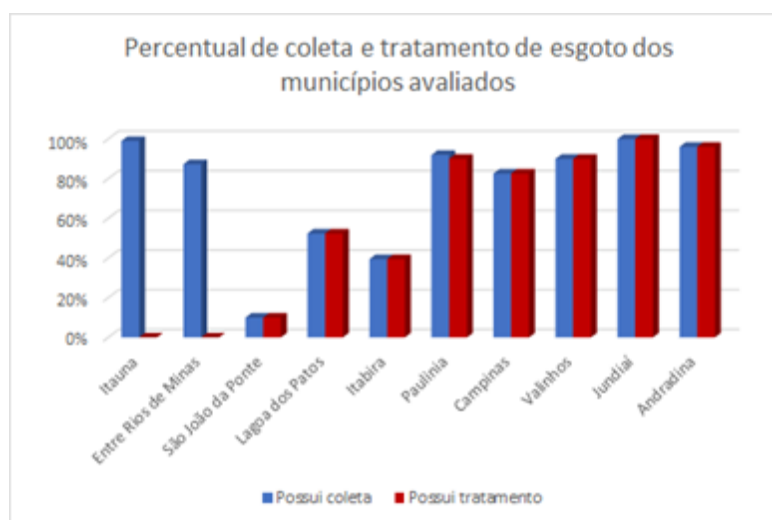


Figura 11 - Percentual de coleta e tratamento de esgoto dos municípios avaliados

Fonte: Elaborado pelos autores com base em ANA (2013).

Tabela 10 - Percentual de coleta e tratamento de esgoto dos municípios avaliados

| Municípios | Possui coleta | Possui tratamento |
|---------------------|---------------|-------------------|
| Itauna | 99% | 0% |
| Entre Rios de Minas | 87% | 0% |
| São João da Ponte | 10% | 10% |
| Lagoa dos Patos | 52% | 52% |
| Itabira | 40% | 40% |
| Paulínia | 92% | 90% |
| Campinas | 83% | 83% |
| Valinhos | 90% | 90% |
| Jundiá | 100% | 100% |
| Andradina | 96% | 96% |

Fonte: Elaborado pelos autores com base em ANA (2013).

Conforme observado na Figura 11 e na Tabela 10 há uma discrepância em relação ao gerenciamento desse dois estados. Em São Paulo, a partir da análise das cinco cidades analisadas, todas apresentam alto percentual do tratamento dos seus efluentes sanitários. Apenas Campinas apresentou um índice abaixo de 90% de tratamento de efluente e por sua vez o município de Jundiá, de acordo com os dados do Plano Municipal de Saneamento

Básico (PMSB), alcançou a universalização desse serviço com 100% do seu esgoto tratado.

Em Minas Gerais, em alguns municípios como Itaúna e Entre Rios de Minas, o tratamento é inexistente e os demais apresentam altos índices de disposição irregular de esgoto, com São João da Ponte apresentando um índice de tratamento de apenas 10%.

No estado de São Paulo predominam as captações de águas superficiais para abastecimento, apenas os municípios de Paulínia e Andradina fazem captação de água subterrânea, sendo que o primeiro apresenta também captação superficial. Em Minas Gerais, há uma ambiguidade, visto que o número de captações superficiais e subterrâneas foram os mesmos. A disposição do esgoto sanitário deve ser feita de forma que atenda os padrões normativos de lançamento de efluentes estabelecidos pela Resolução Conama nº 430/2011, MMA (2011), a fim de evitar a contaminação das fontes de captação.

3.4. Resíduos sólidos

A forma de disposição final de resíduos foi avaliada nos municípios, visto a importância desse eixo na análise das fontes de contaminação por nitrato, ABRELPE (2017). A Tabela 11 mostra as formas de disposição de resíduos sólidos nessas localidades.

Tabela 11 – Formas de disposição de resíduos nos dez municípios

| Municípios | Formas de Disposição de Resíduos |
|---------------------|----------------------------------|
| Itaúna | Aterro sanitário |
| Entre Rios de Minas | Aterro controlado |
| São João da Ponte | Lixão |
| Lagoa dos Patos | Aterro Sanitário |
| Itabira | Lixão |
| Paulínia | Aterro Sanitário |
| Campinas | Aterro Sanitário |
| Valinhos | Aterro sanitário |
| Jundiaí | Aterro sanitário |
| Andradina | Aterro sanitário |

Fonte: Elaborada pelos autores.

No que concerne à disposição e tratamento de resíduos sólidos assim como os dados de esgotamento sanitário, a dissonância se mantém entre os dois municípios.

No estado de São Paulo os municípios estudados destinam seus resíduos em aterros sanitários licenciados. Em Minas Gerais apenas dois (Itaúna e Lagoa dos Patos) das cinco cidades, destinam seus resíduos em aterros sanitários. O município de Entre Rios de Minas encaminha seus resíduos para aterro controlado e os municípios de Itabira e São João da Ponte enviam seus resíduos para lixões.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A contaminação da água por nitrato, considerando os pontos de captação e saída do tratamento, é maior em São Paulo, onde foi apurado o valor de 1,02% de análises cujos resultados foram superiores à concentração máxima recomendada de 10 mg/L. Em Minas Gerais o índice foi de 0,19%, considerando as análises que ultrapassaram o referido valor. O número superior para São Paulo, mostra que os órgãos de controle têm atuado no sentido da cobrança sobre a realização das análises de qualidade da água e informação ao banco de dados nacional do SISAGUA.

Ao total foram encontradas 9.099 estabelecimentos rurais cadastrados no banco de dados do IBGE no ano de 2017. É provável que esses estabelecimentos realizem a captação de água para consumo através da abertura de poços profundos e poços escavados. Também considera-se de suma importância informar aos produtores rurais, sobre as possibilidades de contaminação das águas subterrâneas pela própria propriedade rural, através de processos cotidianos como o despejo inadequado de esgoto e o uso indiscriminado de fertilizantes e pesticidas em lavouras.

Os municípios avaliados em Minas Gerais, apresentam 160 mil hectares de áreas destinadas a pastagens naturais ou manejadas, um valor 4,3 vezes maior que a quantidade de áreas destinadas a pastagens no estado de São Paulo. Em Minas Gerais as áreas florestadas, seja com mata nativa ou floresta plantada, compreende cerca de 74.875 mil hectares, representando 5 vezes mais áreas florestadas que nas 05 cidades de estudo localizadas no estado de São Paulo.

Algumas recomendações de estudo sobre outros indicativos importantes: (i) a interferência das indústrias e lavouras na contaminação por nitrato, (ii) a influência positiva da cobertura florestal nos níveis de contaminação, (iii) a capacidade de infiltração e o potencial de contaminação mediante a geologia de cada localidade, (iv) o perfil da contaminação por nitrato em outros estados, (v) o levantamento de dados de outros períodos para realização de série histórica, (vi) os projetos exitosos de desnitrificação de aquíferos.

Referências

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil - 2017. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama_abrelpe_2017.pdf> Acesso em 12 set. 2019.

Agência Nacional de Águas. Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas. 2013. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/atlas-esgotos>> acesso 12/09/19.

Biguelini, C. P; Gumy, M. P. (2012) Saúde ambiental: índices de nitrato em águas subterrâneas de poços profundos na região sudoeste do Paraná. Revista Faz Ciência, v. 14, n.

20, p. 153-175.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cadastro Central de Empresas 2017. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/jundiai/pesquisa/19/29761>. Acesso em: 17 set. 2019.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo. São Paulo, 2016. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/publicacoes-e-relatorios/> Acesso em 12 set. 2019.

Costa, D. D.; Kempka, A. P.; Skoronski, E. (2016) A contaminação de mananciais de abastecimento pelo nitrato - O panorama do problema no Brasil, suas consequências e as soluções potenciais. Disponível em: <http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/338> Acesso 11/09/19.

Ensie, B; Samad, S. (2014) Removal of nitrate from drinking water using nano SiO₂-FeOOH-Fe core-shell. Desalination v. 347, p.1-9.

Meurer, E.J. Fundamentos de química do solo. 2ª edição, Editora UFGRS. Porto Alegre, 2004.

Brasil. (2019). MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. RESOLUÇÃO Nº 420. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620> Acesso em 10 set. 2019.

Morghì, M.; Abidar, F; Soudani, A.; Zerbet, M; Chiban, M.; Kabli, H; Sinan, F. (2015) Removal of nitrate ions from aqueous solution using chitin as natural adsorbent. International Journal of Research in Environmental Studies, v. 2, p. 8- 20.

Resende, A. V. (XXXX) Agricultura e qualidade da água - Contaminação da água por nitrato. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/546464/1/doc57.pdf> Acesso em 09 set. 2019.

Reynolds, J.V.; Fraile-Merino, J.; Hirata, R. (2006). Trends in nitrate concentrations and

determination of their origin using stable isotopes (^{18}O and ^{15}N) in groundwater of the western Central Valley, Costa Rica. *Ambio: A Journal of the Human Environment*, 35(5): 229–236.

Shrimali, M.; Singh K. P. (2001). New methods of nitrate removal from water. *Environmental Pollution*, v. 112, p. 351- 359.

Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (2017)
Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano
<http://www.saude.gov.br/vigilancia-em-saude/vigilancia-ambiental/vigiagua/sisagua> Acesso em 10/09/19.

Varnier, C.L.; Guerra, S.P.; Hirata, R.C.A.; Veiga, C.; Viotti, M. 2010. Contaminação das águas subterrâneas por nitrato e a expansão urbana em Presidente Prudente (SP). In: ABAS, CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 16, São Luís, Anais, 13 p.

Weitzberg, E.; Lundberg, J. O. (2013) Novel aspects of dietary nitrate and human health. Annual review of nutrition. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev-nutr-071812-161159> Acesso em 12 set. 2019.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Aline Souza Cavalcante Pires – 28%

Cintia Maria Ribeiro Vilarinho – 28%

Mariana Morales Leite Costa – 28%

José Augusto Costa Gonçalves – 16%