



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE CEILÂNDIA
CURSO DE FARMÁCIA**

Mariana do Nascimento Moraes

**DETERMINAÇÃO DE ZINCO NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO
DO DISTRITO FEDERAL**

BRASÍLIA

2020

Mariana do Nascimento Moraes

**DETERMINAÇÃO DE ZINCO NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO
DO DISTRITO FEDERAL**

Monografia de Conclusão de Curso apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Farmacêutico, na Universidade de Brasília, Faculdade de Ceilândia.

Orientador: Profa. Dra. Vivian da Silva Santos

BRASÍLIA

2020

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

do Nascimento Moraes, Mariana
dn244d DETERMINAÇÃO DE ZINCO NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE
ESGOTO DO DISTRITO FEDERAL / Mariana do Nascimento Moraes;
orientador Vivian da Silva Santos. -- Brasília, 2020.
48 p.

Monografia (Graduação - Farmácia) -- Universidade de
Brasília, 2020.

1. Zinco. 2. Estação de Tratamento de Esgoto. 3. Distrito
Federal. 4. Corpos hídricos. 5. Esgoto. I. da Silva Santos,
Vivian, orient. II. Título.

Mariana do Nascimento Moraes

**DETERMINAÇÃO DE ZINCO NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE
ESGOTO DO DISTRITO FEDERAL**

BANCA EXAMINADORA

Orientador (a): Prof.(a) Vivian da Silva Santos
Universidade de Brasília

Prof. Alex Leite Pereira
Universidade de Brasília

Prof. Paulo Gustavo Barboni D. Nascimento
Universidade de Brasília

BRASÍLIA

2020

Para mamãe.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe e a minha madrinha, por não medirem esforços quando se trata da minha educação. Ao meu pai pelo suporte e as minhas irmãs, Laura e Brunna, por sempre me apoiarem, me entenderem e me fazerem rir.

A todos os outros membros da minha família, que sempre me ajudaram e incentivaram, especialmente as minhas primas Déborah e Izabella.

Kalil, Maria Rita, Brenda Marques, Isabel, Isabella, Glauber, Larissa, Carina e Solano, obrigada por todo o apoio. Aos amigos que estiveram comigo durante a graduação, especialmente Brenda Leandro, Luana, Marielly, Laura e Maria Cecília. Vocês são incríveis.

Agradeço a minha orientadora, Prof.^a Vivian, pelo auxílio durante a graduação. Aos membros da banca, Prof. Paulo e Prof. Alex, e a todos os outros professores que tive contato durante a minha trajetória na UnB.

“O caminho do progresso não é rápido nem fácil.”

(Marie Curie)

RESUMO

Morais, M. N. **Determinação de Zinco nas Estações de Tratamento de Esgoto do Distrito Federal**. 2020. Trabalho de conclusão de curso. Faculdade de Ceilândia, Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

Os metais apresentam características como refletividade, condutividade elétrica, condutividade térmica e maleabilidade, além de força mecânica. Eles possuem grande distribuição no ambiente, entretanto, se mobilizados de seus depósitos naturais podem gerar contaminação. Os metais como agentes tóxicos podem afetar os ecossistemas porque não são biodegradáveis e juntamente com a bioacumulação, aumentam a sua capacidade tóxica. Este trabalho avaliou a presença de Zinco em amostras de esgoto tratado, esgoto bruto, pontos à montante e à jusante das 14 Estações de Tratamento (ETE) do Distrito Federal (DF), nos meses de julho, agosto e outubro de 2017. A análise foi feita a partir da técnica Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) e os resultados confrontados com as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 357/2005 e 430/2011, além de realizado o cálculo de eficiência de remoção. A partir dos resultados encontrados, percebeu-se que o zinco apresentou concentrações maiores do que a legislação em todos os pontos e que apesar de em média a eficiência de remoção ser maior que 70%, ainda não é suficiente para a extração do metal até valores em conformidade com a resolução.

Palavras-chave: Zinco. Estação de Tratamento de Esgoto. Distrito Federal. Corpos hídricos. Esgoto.

ABSTRACT

The metals present traits such as reflectivity, electrical conductivity, thermal conductivity, and malleability, in addition to mechanical power. They have a large distribution throughout the environment, however, if moved from their natural sites, they may cause contamination. Metals as toxic agents can affect ecosystems because they are not biodegradable, and, along with bioaccumulation, they may have their toxic capacity increased. This paper analyzed the presence of zinc in both treated sewage and pure sewage samples, from upstream and downstream spots of the 14 Treatment Centers (ETE) of Distrito Federal (DF), during the months of July, August, and October in 2017. The analysis was made with the Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy technique (ICP-OES), and the results were tested according to the resolutions of the Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 357/2005 and 430/2011, the calculation regarding the removal efficiency has also been done. From the results found, it was noticed that zinc was shown to have larger concentrations than what is permitted by legislation in every spot, and although the average removal efficiency is greater than 70%, it is not yet enough to extract the metal to values below the government's resolutions.

Keywords: Metals. Sewage Treatment Centers. Distrito Federal. Bodies of water.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Esquema geral dos pontos de coleta de amostras de ETEs	30
Figura 2. Mapa das Estações de Tratamento de Esgoto do DF em que ocorreram coletas	30
Figura 3. (A) Concentração de Zn dissolvido no Esgoto Tratado das ETEs em julho/2017 (B) Concentração de Zn dissolvido no Esgoto Tratado das ETEs em agosto/2017 (C) Concentração de Zn dissolvido no Esgoto Tratado das ETEs em outubro/2017	35
Figura 4. (A) Concentração de Zn dissolvido no Esgoto Bruto e Tratado das ETEs em julho/2017 (B) Concentração de Zn dissolvido no Esgoto Bruto e Tratado das ETEs em agosto/2017 (C) Concentração de Zn dissolvido no Esgoto Bruto e Tratado das ETEs em outubro/2017	37
Figura 5. (A) Concentração de Zn dissolvido nos pontos à montante e à jusante das ETEs em julho/2017 (B) Concentração de Zn dissolvido nos pontos à montante e à jusante das ETEs em agosto/2017 (C) Concentração de Zn dissolvido nos pontos à montante e à jusante	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Concentração máxima permissível para Zinco Total em águas doce classe 1	23
Tabela 2. Concentração Máxima de Zinco em lançamento de efluentes.....	23
Tabela 3. Limites de detecção e quantificação do ICP-OES	33
Tabela 4. Eficiência de remoção do zinco	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Informações sobre as ETEs do DF	24
Quadro 2. Informações sobre os pontos de coleta	31
Quadro 3. Materiais, reagentes e soluções utilizados para análise de metais	31
Quadro 4. Parâmetros instrumentais de operação do ICP-OES	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

μm	Micrometro
ADASA	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DF	Distrito Federal
ETE	Estações de Tratamento de Esgoto
FCE	Faculdade de Ceilândia
HNO_3	Ácido Nítrico
ICP–OES	Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Indutivamente Acoplado
LD	Limite de Detecção
LQ	Limite de Quantificação
mL	Mililitro
OMS	Organização Mundial da Saúde
RAFA	Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente
UnB	Universidade de Brasília
UNITANK	Reator Anaeróbico
WHO	World Commission On Environment And Development
Zn	Zinco

LISTA DE SÍMBOLOS

mg.L-1	Miligrama por litro
±	Mais ou menos
%	Porcentagem
<	Menor
mg/kg	Micrograma por quilograma

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1.	MEIO AMBIENTE E POLUIÇÃO	18
2.2.	TOXICOLOGIA	18
2.3.	METAIS	19
2.3.1.	BIOACUMULAÇÃO E BIOMAGNIFICAÇÃO	19
2.3.2.	ZINCO	20
2.3.3.	RESISTÊNCIA BACTERIANA	21
2.4.	POLITICA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE	22
2.5.	LEGISLAÇÕES VIGENTES	22
2.5.1.	RESOLUÇÃO CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA) Nº 357 DE 2005	22
2.5.2.	RESOLUÇÃO CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA) Nº 430 DE 2011	23
2.6.	ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO DO DISTRITO FEDERAL	23
2.6.1.	ESGOTO	23
2.6.2.	TRATAMENTO DO ESGOTO	24
2.7.	ÁGUA	27
3	JUSTIFICATIVA	28
4	OBJETIVOS	29
4.1.	OBJETIVOS GERAIS	29
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	29
5	MATERIAIS E MÉTODOS	30
5.1.	COLETA DE AMOSTRAS	30
5.2.	DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE ZINCO	31

5.3.	LIMITE DE DETECÇÃO E LIMITE QUANTIFICAÇÃO	32
5.3.1.	LIMITE DE DETECÇÃO (LD).....	32
5.3.2.	LIMITE DE QUANTIFICAÇÃO (LQ).....	32
6	RESULTADOS	34
6.1.	ESGOTO.....	34
6.2.	EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO.....	36
6.3.	CORPOS HÍDRICOS	38
7	DISCUSSÕES	41
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

Existe, atualmente, a necessidade de discutir e avançar tecnologicamente a favor da garantia de um ambiente sadio para as próximas gerações. O progresso deve aliar-se ao desenvolvimento sustentável para que não exceda os limites dos recursos naturais (BATISTA, 2015). De acordo com a *World Commission On Environment and Development* (1987), desenvolvimento sustentável é “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades”, ou seja, para que isto ocorra é necessária que haja consciência ambiental de diversas esferas sociais, envolvendo principalmente o governo.

Os metais, em geral, são classificados por suas características no estado sólido. Suas propriedades incluem grande refletividade, condutividade elétrica, condutividade térmica e maleabilidade, além de força mecânica (KLAASSEN; WATKINS III, 2012). Sendo que, estes devido à sua ampla distribuição no ambiente, podem ser mobilizados de seus depósitos naturais e assim contaminar o ambiente. Dentre as fontes e formas de mobilização de elementos químicos, podemos citar deposições sólidas, lixiviação do solo, emissões de efluentes industriais, esgotos domésticos, depósitos de lixo e mineração. Entretanto, os processos naturais são incorporados melhor pelos ecossistemas, já que ocorrem gradualmente, e os antropogênicos acontecem em duração e intensidade em que a assimilação é mais difícil, facilitando, assim, o acúmulo no meio (LIMA; SANTOS, 2012).

O diferencial dos metais como agentes tóxicos é que não são criados e nem destruídos, ou seja, não são biodegradáveis. Este fator combinado com a bioacumulação aumenta a sua capacidade tóxica (KLAASSEN; WATKINS III, 2012). Ademais, é possível que a toxicidade de certas substâncias seja amplificada devido aos processos de bioacumulação e biomagnificação, isto é, a substância se acumula no organismo e quanto maior o tempo de exposição, maior será a sua concentração. À medida que o táxon do organismo aumenta, maior é a acumulação de agente tóxico, chamado de biomagnificação. A bioacumulação baseia-se na transferência de um agente tóxico para uma fonte, água ou alimentos, por exemplo, e da fonte para um organismo, ambos trazem

à tona um problema de saúde pública, visto que a população pode ingerir alimentos possivelmente contaminados, além da preocupação ecológica (DA SILVA; POMPÊO; DE PAIVA, 2015; TREVIZANI, 2018).

O zinco é um metal essencial, sua carência promove uma série de malefícios para a saúde, entretanto, é possível que haja intoxicação devido a exposições a concentrações elevadas. Algumas consequências de seu excesso são: estresse gastrointestinal, diarreia, febre, dor no peito, calafrios, tosse, dispneia, fibrose, pneumotite, edema e até a toxicidade neural (KLAASSEN; WATKINS III, 2012).

Indiscutivelmente a água está presente em diversas atividades humanas, ela é essencial para a produção agrícola, industrial, elétrica e para outras práticas, como lazer e diversão. Contudo, há um crescimento demográfico e industrial acentuados nas últimas décadas que acarreta no comprometimento dos recursos hídricos disponíveis. (ALVES et al., 2010) Apesar da indústria, agricultura e a pecuária contribuírem fortemente para a poluição dos mananciais, o esgoto doméstico apresenta a sua parcela de maneira expressiva, trazendo consigo diversos agentes tóxicos incluindo os elementos químicos (LIMA; SANTOS, 2012).

A sobrevivência do ser humano está conectada com a preservação e bem-estar de outros organismos, da qualidade do ar, água e alimentos (MOREAU; SIQUEIRA, 2016). Com isso, mostra-se necessária o monitoramento da concentração de metais do ambiente, para assegurar tanto a saúde e bem-estar dos seres humanos, dos organismos em geral e do ecossistema, pensando nesta e nas próximas gerações.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. MEIO AMBIENTE E POLUIÇÃO

De acordo com a Política Nacional do Meio Ambiente, Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 (BRASIL,1981), a definição de meio ambiente é “o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas”.

O conceito de poluição, dado pela mesma lei, é toda a deterioração da qualidade ambiental decorrentes de atividades que direta ou indiretamente afetam a saúde, segurança e bem-estar da população, geram circunstâncias contrárias às práticas sociais e econômicas, prejudicam a biota, a estética e condições sanitárias do meio ambiente ou a introdução de produtos ou energia fora do permitido pela legislação (BRASIL, 1981).

2.2. TOXICOLOGIA

A Toxicologia é a área da ciência que estuda os efeitos nocivos de substâncias sobre organismos vivos, sob certas condições de exposição. Logo, ela busca a natureza, mecanismos de ação e os fatores de risco causados pelos agentes químicos. Este conhecimento acerca das características de certos compostos influencia em questões sociais, éticas, legais, na produção de medicamentos, processos de fabricação, limpeza de resíduos e medidas regulamentadoras (KLAASSEN; WATKINS III, 2012; OGA; CAMARGO; BATISTUZZO, 2008).

Apesar da toxicologia se apoiar em várias áreas do conhecimento, entre eles, a química, bioquímica, patologia, fisiologia, epidemiologia e ecologia, ela também contribui para o progresso de outras, como a medicina forense, farmácia, farmacologia, indústria, saúde pública e as ciências ambientais (OGA; CAMARGO; BATISTUZZO, 2008).

Uma de suas vertentes, a toxicologia ambiental, avalia os impactos dos principais agentes tóxicos contaminantes em seres humanos, outros organismos vivos e no meio ambiente (MOREAU; SIQUEIRA, 2016).

2.3. METAIS

Vários metais são essenciais ao organismo, conhecidos como micronutrientes (zinco e cobre, por exemplo), outros não possuem nenhuma função e apresentam toxicidade para plantas e animais. Também se fala de metais medicinais, metais pouco tóxicos, metaloides tóxicos e agentes tóxicos elementares não metálicos (BATISTA, 2015; KLAASSEN; WATKINS III, 2012).

A contaminação por metais pode advir de inúmeras fontes, como de origem atmosférica, deposições sólidas, lixiviação do solo, efluentes industriais, esgoto doméstico, depósitos de lixo e mineração. Pela magnitude e frequência, aqueles naturais são mais assimiláveis pela natureza, já que acontecem gradualmente, enquanto os antropogênicos possuem concentração e duração além da capacidade de assimilação, tornando-os acumulativos no sistema (LIMA; SANTOS, 2012).

Nas formas iônicas, os metais apresentam grande reatividade e interação com sistemas biológicos, existem vários ligantes em potencial para esses elementos na célula. Eles também inibem enzimas importantes e agem como mimetizadores de metais essenciais, ocupando o seu espaço. Outro mecanismo significativo é o dano oxidativo gerado por algumas dessas substâncias. Elas causam modificações oxidativas de biomoléculas, podendo ser essa a principal causa da carcinogenicidade de alguns metais (KLAASSEN; WATKINS III, 2012).

É importante ressaltar que o impacto da toxicidade dos metais está relacionado com a dose, à via de exposição e os fatores do hospedeiro, como idade, sexo e capacidade de biotransformação. Sabe-se que os indivíduos mais novos são mais sujeitos a intoxicação do que os adultos. Em crianças, uma rota de exposição muito frequente é a alimentação, por consumirem mais quilocalorias por quilo do que os adultos e por absorverem mais os metais no intestino. Idosos também apresentam um grupo de risco, quando comparado com adultos mais novos (KLAASSEN; WATKINS III, 2012).

2.3.1. BIOACUMULAÇÃO E BIOMAGNIFICAÇÃO

Bioacumulação é a transferência de um determinado metal para um organismo através de uma fonte, como o alimento, a água ou o sedimento. A

quantidade deste elemento presente no dado organismo se acumula e é proporcional a sua ingestão e retenção (TREVIZANI, 2018). Biomagnificação é o aumento da concentração de metais ao longo da cadeia trófica (SANTANA et al., 2017).

2.3.2. ZINCO

O zinco é um metal essencial, a sua carência possibilita consequências negativas a saúde, contudo, níveis elevados de exposição também são desfavoráveis, uma vez que pode ocorrer toxicidade. É comum ele estar presente nos alimentos, na água e no ar, além da exposição ocupacional, que ocorre através de poeiras e fumos de zinco metálico derivados da mineração e fundição (KLAASSEN; WATKINS III, 2012). Ele pode ser encontrado como sulfeto de zinco, óxido de zinco, carbonato de zinco, cloreto de zinco, acetato de zinco e outros na natureza. Como agente poluidor, o zinco é introduzido no ambiente por fontes antrópicas, como indústrias de óxido de zinco, tintas, farmacêuticas, fungicidas, pilhas e baterias (BRAVO, 2018).

Ele é necessário para diversos processos metabólicos, para o sistema imune e para o crescimento e desenvolvimento durante a gravidez, infância e adolescência. A sua deficiência pode gerar retardo no crescimento, perda de apetite, alopecia, diarreia, função imune diminuída, perda cognitiva, dermatite, problemas de cicatrização e prejuízo na função sexual (KLAASSEN; WATKINS III, 2012).

Zinco em excesso pode levar ao estresse gastrointestinal e diarreia, após a ingestão de alimentos armazenados em latas galvanizadas; “febre do fumo de metal” após a inalação de óxido de zinco, caracterizada por febre, dor no peito, calafrios, tosse, dispneia, náuseas, dor muscular, fadiga e leucocitose. Outros tipos de exposição podem gerar danos à membrana da mucosa, fibrose, pneumotite, edema da mucosa brônquica e intersticial, bem como ulceração. O zinco dispensado por agentes oxidantes levam a toxicidade neural, colaborando com danos cerebrais excitotóxicos. A liberação de zinco em excesso pode ser um dos fatores que acarretam a doença de Alzheimer (KLAASSEN; WATKINS III, 2012).

2.3.3. RESISTÊNCIA BACTERIANA

Além das consequências para os seres humanos, os metais podem ocasionar diversos tipos de toxicidade para os microrganismos. Para que decorra a toxicidade microbiana, os metais afetam o crescimento e metabolismo, interferindo na absorção de nutrientes e modificando seu ambiente físico-químico, além de poderem afetar a metanogênese, fixação de nitrogênio, respiração, motilidade, ciclagem biogeoquímica de carbono, nitrogênio, fósforo e outros. Mesmo com o potencial toxicológico, os microrganismos sobrevivem e crescem em ambientes contaminados por metais, devido à seletividade da entrada e saída de metais das células, gerando resistência e tolerância aos metais tóxicos (BRAVO, 2018).

Alguns sistemas de resistência que as bactérias apresentam para o manejo dos metais são mediados por cromossomos, transposon e plasmídeos, como: exclusão por barreira permeável, sequestro intracelular e extracelular, transporte ativo, bombas de efluxo e diminuição na sensibilidade dos alvos celulares aos íons metálicos (BRAVO, 2018).

Certos microrganismos adaptam-se a presença de metais modificando a sensibilidade dos seus componentes celulares, possibilitando um nível de proteção natural. Mutações diminuem a sensibilidade, mas sem prejudicar as funções básicas (BRAVO, 2018). A resistência a metais tóxicos associa-se com a resistência aos antibióticos porque genes que conferem resistência a antibióticos estão situados no mesmo elemento móvel (transposon ou plasmídeos, por exemplo) que genes que conferem resistência a metais (MALACHOWA; DELEO, 2010).

Ela pode ser deslocada de um organismo para outro por meio de conjugação ou transdução. Isto não é limitado apenas para bactérias ambientais, pode ser difundido para cepas em ambientes clínicos também (BRAVO, 2018).

A maioria dos mecanismos de proteção bacteriana contra o ingresso indesejado de moléculas prejudiciais as células são realizados por transporte ativo para o exterior da célula, chamado de bomba de efluxo. Esse sistema é responsável pela expulsão da maioria dos antibióticos e desinfetantes em diversas espécies bacterianas (NEVES, 2010). A resistência bacteriana a

antibióticos ameaça a qualidade de vida humana, já que eles são responsáveis por tratar doenças infecciosas geradas por bactérias (DA COSTA; JUNIOR, 2017).

2.4. POLITICA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE

O objetivo da Política Nacional do Meio Ambiente, lei nº 6938, de 31 de agosto de 1981, é “preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana” (BRASIL, 1981).

Alguns de seus princípios são: fomento ao estudo e a pesquisa de tecnologias para uso racional e a defesa de recursos naturais, além de proteção dos ecossistemas e de áreas ameaçadas de degradação (BRASIL, 1981). Além disso, ela também tem como instrumento a avaliação de impactos ambientais (BRASIL, 1981).

2.5. LEGISLAÇÕES VIGENTES

2.5.1. RESOLUÇÃO CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA) Nº 357 DE 2005

O excesso de agentes tóxicos pode causar efeitos deletérios à saúde de humanos e animais, além de poluir o ambiente. Por isso, é importante que seja determinado por parâmetros legais limites para a proteção da população e biodiversidade. A legislação vigente que determina os valores máximos de metais é a CONAMA nº 357 de 2005, que “dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências”.

De acordo com a mesma legislação, água doce classe 2 são aquelas que podem ser destinadas para o abastecimento humano após o seu tratamento, proteção das atividades aquáticas, recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho), irrigação de hortaliças, frutas e parques, jardins, campos de lazer e esporte, aquicultura e pesca (BRASIL, 2005).

Os parâmetros das águas de classe 1 são os mesmos usados para de classe 2, dito isso, a tabela abaixo representa de acordo com a legislação CONAMA nº 357 de 2005 apenas a concentração máxima permitida de zinco e considerando que as amostras coletadas após o tratamento do esgoto (à montante e à jusante das Estações de Tratamento de Esgoto - ETEs) são de água doce classe 2.

Tabela 1. Concentração máxima permitida para Zinco Total em águas doce classe 1

Parâmetros inorgânicos	Concentração Máxima
Zinco Total	0,18 mg/L Zn

Fonte: BRASIL, 2005.

2.5.2. RESOLUÇÃO CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA) Nº 430 DE 2011

A resolução “dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para a gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, complementando e alterando a resolução supracitada, a nº 357 de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente” (BRASIL, 2011).

Ela define como efluente qualquer fonte poluidora que poderá ser lançada diretamente nos corpos receptores após o tratamento adequado e cumprindo as condições, padrões e exigências impostas nesta resolução (BRASIL, 2011). Ou seja, o esgoto tratado para este trabalho.

No artigo 21 ela discrimina a concentração máxima de zinco para o lançamento direto de efluentes oriundos dos sistemas de tratamento de esgotos sanitários:

Tabela 2. Concentração Máxima de Zinco em lançamento de efluentes

Parâmetros inorgânicos	Concentração Máxima
Zinco Total	5,0 mg/L Zn

Fonte: BRASIL, 2011.

2.6. ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO DO DISTRITO FEDERAL

2.6.1. ESGOTO

De acordo com a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (2019), “Esgoto são todos os resíduos líquidos domésticos e industriais

que necessitam de tratamento adequado para que sejam removidas as impurezas, e assim possam ser devolvidos à natureza sem causar danos ambientais e à saúde humana”.

2.6.2. TRATAMENTO DO ESGOTO

As Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) do Distrito Federal (DF) possuem monitoramento tanto físico-químico, quanto microbiológico. Apesar de a natureza conseguir decompor matéria orgânica, quando há uma grande quantidade exige-se um tratamento mais competente em uma ETE, que mimetiza a ação do meio ambiente (CAESB, 2019).

Na ETE há a retirada dos contaminantes via processos físicos, químicos e biológicos, com o objetivo de devolver para o meio o efluente tratado e de acordo com a legislação ambiental. Para o esgoto doméstico o tratamento é dividido em preliminar (utilizam-se de grades, peneiras ou caixas de areia para bloquear os resíduos maiores), nível primário (os sólidos suspensos são sedimentados e se acumulam no fundo do decantador, originando o lodo primário), secundário (microrganismos utilizam a matéria orgânica como fonte de energia e geram gás carbônico e água) e terciário (os poluentes removidos são específicos, como fósforo e nitrogênio). No DF algumas ETEs operam com tratamento terciário e outras secundário (CAESB, 2019).

Quadro 1. Informações sobre as ETEs do DF

Estação de Tratamento de Esgoto	Corpo Receptor	Vazão Média Atual	Área de Atendimento	Tipo de Tratamento	Nível de Tratamento
ETE Alagado	Rio Alagado	80 l/s	Santa Maria	Reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA) + Lagoa de alta taxa + Escoamento superficial + Polimento final	Terciário
ETE Brazlândia	Rio Verde, Goiás	41 l/s	Brazlândia	Lagoa anaeróbia +	Secundário

				Lagoa facultativa	
ETE Gama	Ribeirão Ponte Alta	187 l/s	Gama	Reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA) + Reator biológico + Clarificador	Terciário
ETE Melchior	Rio Melchior	770 l/s	Taguatinga, Ceilândia, Águas Claras (parte) e Samambaia (parte).	Reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA) + Reator anaeróbico (UNITANK)	Terciário
ETE Brasília Norte	Lago Paranoá	450 l/s	Asa Norte, Vila Planalto, parte da área central de Brasília, Lago Norte, Taquari, Vila Estrutural, Vila Varjão, Torto	Remoção Biológica de Nutrientes + Polimento Final (Lodos ativados a nível terciário)	Terciário
ETE Paranoá	Rio Paranoá	100 l/s	Paranoá e Itapuã	Reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA) + Lagoa de alta taxa + Escoamento superficial	Terciário
ETE Planaltina	Ribeirão Mestre D'armas	154 l/s	Planaltina	Reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA) acoplado a	Secundário

				Lagoa facultativa + Lagoa de maturação	
ETE Recanto das Emas	Córrego Vargem da Benção	184 l/s	Recanto das Emas e Riacho Fundo II	Reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA) + Reator aerado + Lagoa aerada facultativa	Secundário
ETE Riacho Fundo	Riacho Fundo	46 l/s	Riacho Fundo I	Lodos Ativados + Remoção biológica de nutrientes por batelada	Terciário
ETE Samambaia	Córrego Gatumé e Rio Melchior	502 l/s	Samambaia	Reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA) + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa + Lagoa de Polimento + Polimento Final	Terciário
ETE São Sebastião	Ribeirão Santo Antônio da Papuda	131 l/s	São Sebastião	Reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA) + Escoamento artificial + Lagoa de maturação	Secundário
ETE Sobradinho	Ribeirão Sobradinho	77 l/s	Sobradinho (inclusive expansões)	Lodos ativados + Tratamento	Secundário

				químico	
ETE Brasília Sul	Lago Paranoá	1319 l/s	Asa Sul, parte da área central de Brasília, Núcleo Bandeirante, Guará I e II, Cruzeiro, Octogonal, Sudoeste, Lago Sul (parte), Riacho Fundo (QN1), SAI, Águas Claras (parte), Candangolândia, Cidade de Automóvel e setor de inflamáveis.	Remoção Biológica de Nutrientes + Polimento Final (Lodos ativados a nível terciário)	Terciário
ETE Vale do Amanhecer	Rio São Sebastião	18 l/s	Vale do Amanhecer	Reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA) + Lagoa aerada facultativa + Lagoa de maturação	Secundário

Fonte: Elaborado pelo autor de acordo com CAESB, 2019; ADASA, 2020,

2.7. ÁGUA

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS) água é um fator essencial para vida. Ela deve ser segura e acessível para todos. Além de estar presente nas atividades cotidianas, como higiene pessoal e preparo de comidas, garantir o acesso à água pode melhorar outros aspectos da saúde das populações sem disponibilidade, devido as doenças relacionadas a contaminação e a falta de saneamento (WHO, 2011).

Como é um recurso renovável, a questão envolvendo a água relaciona-se com a sua qualidade. Entretanto, existe uma elevada contaminação antrópica, como o despejo de efluentes industriais, agrícolas, pecuários e o esgoto doméstico, que também é um grande poluente dos mananciais. É de grande importância ressaltar que, dentre outros fatores, a contaminação por metais é tida como uma grande preocupação (LIMA; SANTOS, 2012).

3 JUSTIFICATIVA

Os metais não são biodegradáveis, são agentes tóxicos que possuem a capacidade de bioacumulação, por isso, ocasionam efeitos danosos à saúde dos organismos e do meio ambiente de maneira significativa. (DA SILVA; POMPÊO; DE PAIVA, 2015) O zinco, apesar de ser um metal essencial, em excesso leva a toxicidade neural e danos cerebrais excitotóxicos, que podem ser um dos fatores que ocasionam o Alzheimer (KLAASSEN; WATKINS III, 2012). Os metais também podem levar a resistência bacteriana, acarretando o aumento da morbidade e mortalidade decorrentes de doenças bacterianas (DA COSTA; JUNIOR, 2017; NEVES, 2010).

A poluição resulta, dentre tantos motivos, pelos metais. Apesar de a água ser um recurso renovável, a sua qualidade é afetada. A contaminação dos mananciais acontece também através da indústria, agricultura e pecuária, mas o esgoto doméstico apresenta a sua parcela de maneira expressiva (LIMA; SANTOS, 2012). Sendo assim, evidenciada a importância do trabalho e da monitorização dos níveis de zinco para a saúde tanto dos seres vivos, tanto para o meio ambiente.

4 OBJETIVOS

4.1. OBJETIVOS GERAIS

Quantificar zinco em amostras esgoto tratado e não tratado das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) do Distrito Federal e água dos seus pontos à montante e à jusante.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

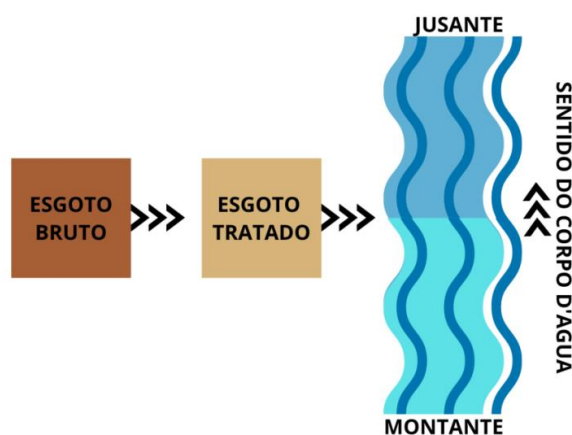
- Comparar os resultados de água com a Resolução do CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005;
- Comparar os resultados do esgoto tratado com a Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio 2011;
- Comparar a eficiência de remoção do zinco nas diferentes ETEs;
- Avaliar o impacto ambiental do despejo de esgoto no Distrito Federal, de acordo com a Política Nacional do Meio Ambiente, de 1981.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. COLETA DE AMOSTRAS

Foram coletados, em parceria com a ADASA (Agência Reguladora de águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal), quatro tipos de amostras nas 14 Estações de Tratamento de Esgoto do DF (Brasília Norte, Paranoá, Brasília Sul, Riacho Fundo, Planaltina, São Sebastião, Sobradinho, Vale do Amanhecer, Alagado, Gama, Recanto das Emas, Brazlândia, Melchior e Samambaia): esgoto bruto, esgoto tratado, montante e jusante.

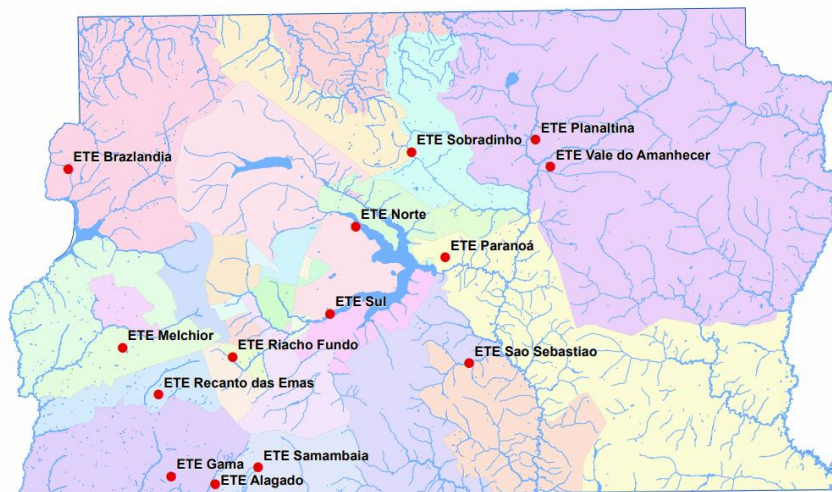
Figura 1. Esquema geral dos pontos de coleta de amostras de ETEs



Fonte: Elaborada pelo autor.

Elas foram acondicionadas em tubos cônicos de 50mL (tampa azul, estéril e livre de metais) previamente identificados com local e data de coleta. A coleta foi realizada nos meses de julho, agosto e outubro de 2017.

Figura 2. Mapa das Estações de Tratamento de Esgoto do DF em que ocorreram coletas



Fonte: Elaborada pelo autor.

Quadro 2. Informações sobre os pontos de coleta

Pontos Coletados	Descrição dos pontos coletados
A	ETE Alagado
B	ETE Brazlândia
C	ETE Gama
D	ETE Melchior
E	ETE Brasília Norte
F	ETE Paranoá
G	ETE Planaltina
H	ETE Recanto das Emas
I	ETE Riacho Fundo
J	ETE Samambaia
K	ETE São Sebastião
L	ETE Sobradinho
M	ETE Brasília Sul
N	ETE Vale do Amanhecer

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2. DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE ZINCO

Para análise de metais, as amostras foram acidificadas com ácido nítrico e 15mL de cada foi filtrada em filtros de porosidade 0,45 μ m e estéreis. Posteriormente, foram acondicionados em tubos cônicos de 15mL devidamente identificados com o ponto de coleta.

As análises foram realizadas na Universidade de Brasília, Faculdade de Ceilândia no Laboratório de Nanotecnologia verde: Ambiente, Saúde e Sustentabilidade; utilizando a técnica ICP-OES (Espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado), e foram analisadas as concentrações de zinco.

Quadro 3. Materiais, reagentes e soluções utilizados para análise de metais

Equipamento	Espectrômetro de Emissão Atômica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) Optima 8000, PerkinElmer®.
Reagentes	Água deionizada de alta pureza (resistividade 18,2 M Ω .cm) obtida pelo sistema Milli-Q (Millipore®).
	Ácido nítrico (HNO ₃) bidestilado.
	Padrão de solução.
Materiais	Tubos cônicos de 15mL e 50mL (Falcon).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 4. Parâmetros instrumentais de operação do ICP-OES

Modelo e Marca do Espectrômetro	PerkinElmer Optima 8000
Injetor	Alumina (2mm d.i.)
Câmara de nebulização	Scott (Ryton®); ciclônica
Processamento do sinal	Área sob o pico
Tempo de integração	Automático

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, foram confeccionados gráficos no programa GraphPad Prism e os valores obtidos foram comparados com aqueles presentes na Resolução CONAMA 357/2005 para água doce classe 2 (considerada para pontos à montante e à jusante no trabalho) e Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio 2011 (considerada para o esgoto tratado, já que ele será lançado no rio, sendo então efluente) além da avaliação do impacto ambiental e o cálculo de eficiência de remoção de cada ETE.

5.3. LIMITE DE DETECÇÃO E LIMITE QUANTIFICAÇÃO

5.3.1. LIMITE DE DETECÇÃO (LD)

O limite de detecção é a menor quantidade que um determinado procedimento analítico pode identificar de um analito na amostra, mas sem ser necessariamente quantificada. Uma das maneiras de calcular o limite de detecção é pela estimativa a partir da curva analítica. O método simplificado é dado pela seguinte equação (INMETRO, 2016):

$$LD=3,3 s/b$$

Onde:

s = desvio padrão da resposta do branco

b = inclinação (coeficiente angular) da curva analítica

5.3.2. LIMITE DE QUANTIFICAÇÃO (LQ)

O limite de quantificação é a menor quantidade que um determinado procedimento analítico pode quantificar de um analito com precisão e exatidão aceitáveis. Existem variados modos de calculá-lo, um deles é a estimativa a partir da curva analítica, dado pela seguinte equação (INMETRO, 2016):

$$LQ=10 s/b$$

Onde:

s = desvio padrão da resposta do branco

b = inclinação (coeficiente angular) da curva analítica

A tabela 3 traz o limite de detecção e quantificação do método calculados a partir das equações supracitadas.

Tabela 3. Limites de detecção e quantificação do ICP-OES

Metais	Zn
Média dos brancos	52
Desvio Padrão dos brancos	13,479
Coeficiente Angular	7,997
LD	5,56
LQ	16,85

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os valores menores que o LQ serão considerados igual a zero para os gráficos dos resultados.

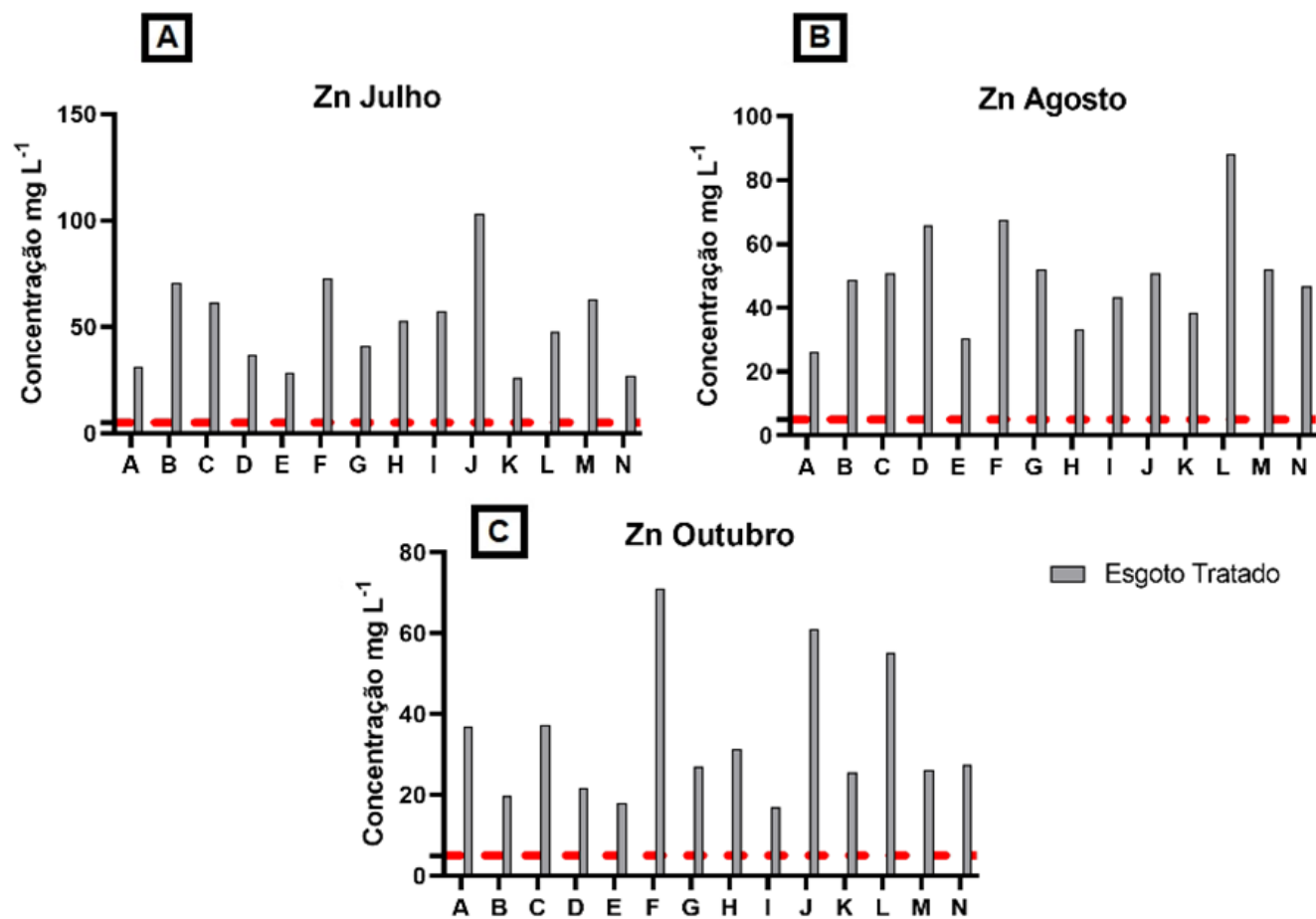
6 RESULTADOS

6.1. ESGOTO

De acordo com a CONAMA nº 430 de 2011, um efluente é qualquer fonte poluidora que seja lançada diretamente nos corpos receptores após o seu tratamento (BRASIL, 2011). Considerando o esgoto tratado das ETEs do DF como um efluente, podemos avaliar se a concentração de zinco presente na amostra está dentro dos parâmetros máximos definidos pela CONAMA nº 430.

A figura 3 apresenta um gráfico da concentração de zinco dissolvido encontrado nas amostras de esgoto tratado, dividido pela localidade, nos meses de julho, agosto e outubro de 2017, onde a linha vermelha indica a concentração máxima de zinco total permitida pela legislação para efluentes: $5,0 \text{ mg.L}^{-1} \text{ Zn}$ (BRASIL, 2011), ou seja, todos os valores encontrados de Zinco ficaram acima da concentração máxima permitida.

Figura 3. (A) Concentração de Zn dissolvido no Esgoto Tratado das ETEs em julho/2017 (B) Concentração de Zn dissolvido no Esgoto Tratado das ETEs em agosto/2017 (C) Concentração de Zn dissolvido no Esgoto Tratado das ETEs em outubro/2017



Fonte: Elaborada pelo autor.

Em média os valores encontrados da concentração de zinco dissolvido no esgoto tratado em julho foram de $51,37 \text{ mg.L}^{-1}$ ($\pm 21,19$), aproximadamente 10 vezes o valor máximo aceito, entretanto, a ETE Samambaia (J) apresentou o valor 20 vezes maior que o máximo permitido pela legislação.

A concentração de zinco dissolvido no esgoto tratado em agosto foi em média $49,60 \text{ mg.L}^{-1}$ ($\pm 16,28$), quase 10 vezes o valor máximo aceito. Destaque para a ETE Sobradinho (L), aonde a concentração chegou a $88,02 \text{ mg.L}^{-1}$, 17 vezes maior do que a resolução preconiza.

A ETE Paranoá (F) em outubro apresentou a maior concentração de zinco após o tratamento, 14 vezes mais que o valor preconizado pela CONAMA 430, contudo, a média geral foi de $33,95 \text{ mg.L}^{-1}$ ($\pm 16,84$), menor em comparação aos outros meses.

6.2. EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO

A eficiência de remoção aponta, em porcentagem, o quanto os processos de tratamento de esgoto são capazes de retirar o contaminante da amostra. Ela é um indicativo da qualidade daquele serviço.

Para o cálculo da eficiência de remoção do zinco, foi utilizada a seguinte equação:

$$100 - (T \times 100/B)$$

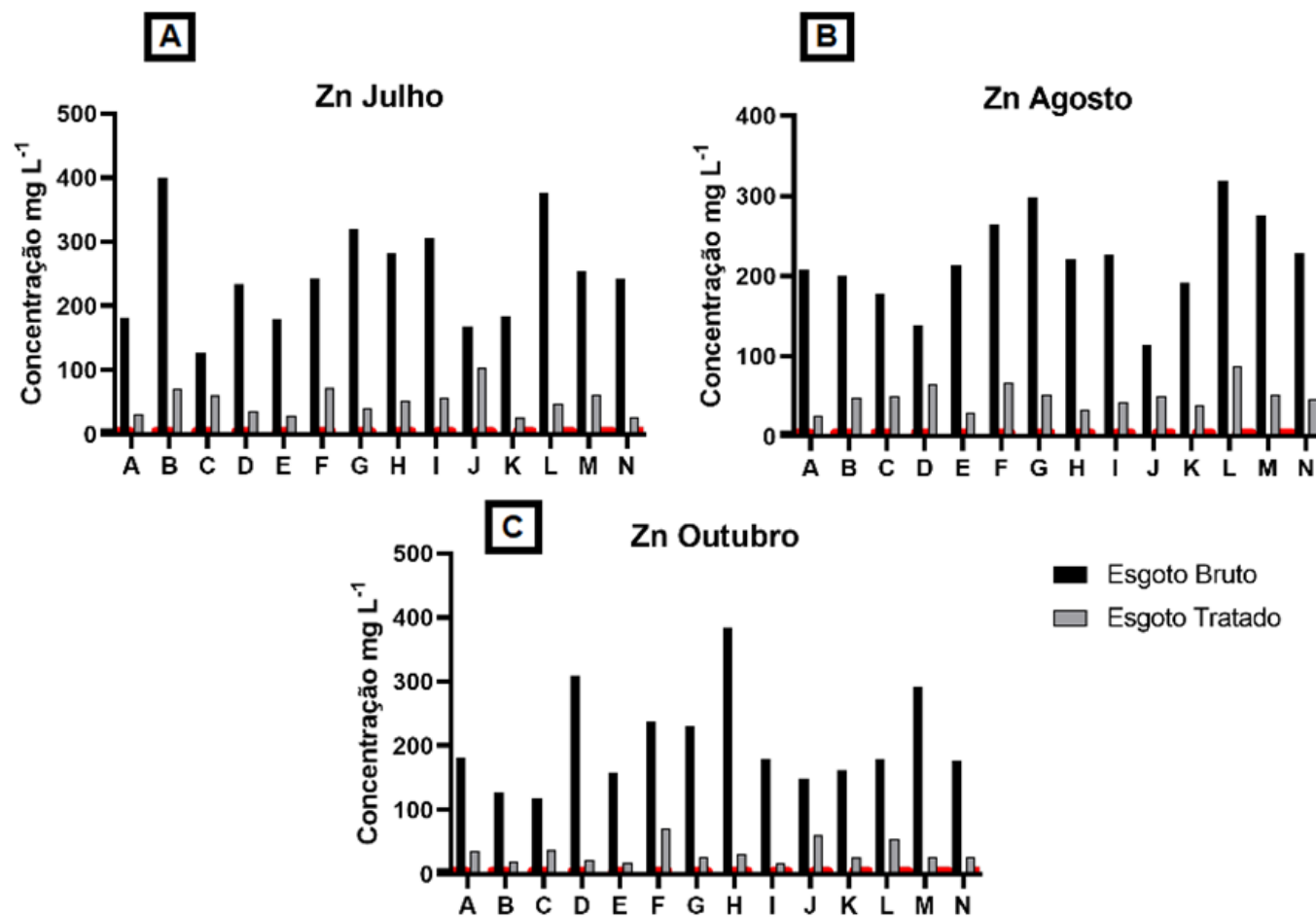
Onde:

T = [Zn] na amostra de esgoto tratado

B = [Zn] na amostra de esgoto bruto

A figura 4 representa a diferença da concentração de zinco nas amostras de esgoto tratado e esgoto bruto em cada ETE e dividido pelos meses pesquisados.

Figura 4. (A) Concentração de Zn dissolvido no Esgoto Bruto e Tratado das ETEs em julho/2017 (B) Concentração de Zn dissolvido no Esgoto Bruto e Tratado das ETEs em agosto/2017 (C) Concentração de Zn dissolvido no Esgoto Bruto e Tratado das ETEs em outubro/2017



Fonte: Elaborado pelo autor.

O cálculo foi realizado para cada ETE em todos os meses estudados e posteriormente, feito a média da eficiência de remoção de zinco, apresentados na tabela 4.

Tabela 4. Eficiência de remoção do zinco

Estação de Tratamento de Esgoto	Média da eficiência de remoção das ETEs (%)	Desvio padrão
Alagado	83,29	3,82
Brazlândia	80,79	4,63
Gama	63,86	10,55
Melchior	76,56	21,30
Brasília Norte	86,20	2,3
Paranoá	71,53	2,50
Planaltina	86,01	3,00
Recanto das Emas	86,08	5,33
Riacho Fundo	84,22	5,48
Samambaia	51,04	10,89
São Sebastião	83,36	2,99
Sobradinho	76,32	9,68
Brasília Sul	82,51	7,91
Vale do Amanhecer	84,35	4,62

Fonte: Elaborada pelo autor.

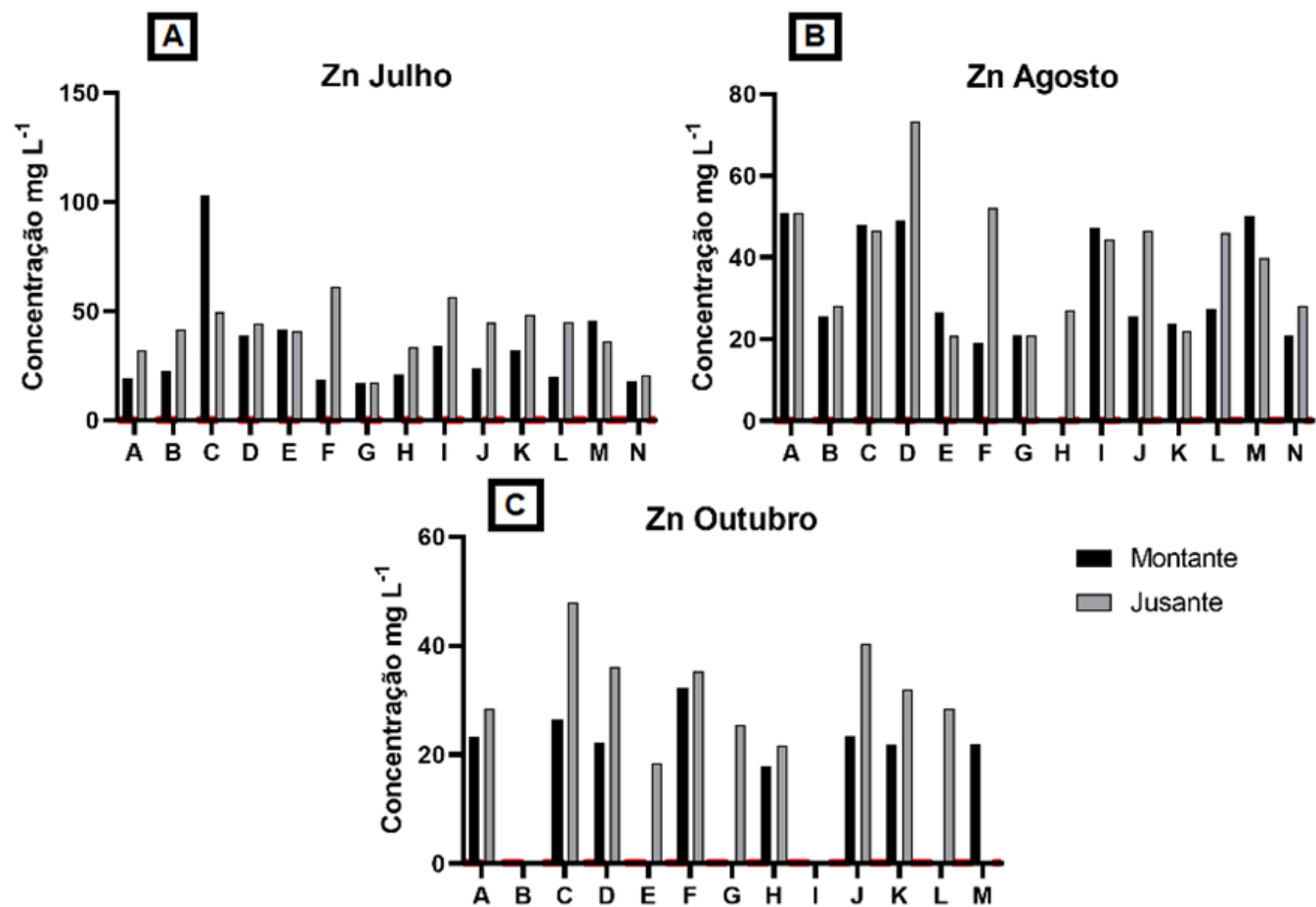
As ETEs que apresentaram menor eficiência de remoção foram Samambaia e Gama, seguidas de Paranoá, Sobradinho e Melchior. As outras Estações de Tratamento, apesar de possuírem um melhor desempenho, também não removeram o zinco ao ponto de se adequar aos parâmetros impostos pela legislação.

6.3. CORPOS HÍDRICOS

Para a Resolução CONAMA nº 357 de 2005, considerada no trabalho para os pontos à montante e à jusante das Estações de Tratamento de Esgoto, a concentração máxima do zinco total é de $0,18 \text{ mg.L}^{-1} \text{ Zn}$ (BRASIL, 2005). Entretanto, os resultados apresentaram valores de até 570x, encontrado na ETE Gama (C), no mês de julho/2017.

A figura 5 apresenta gráficos da concentração pela localidade, dividido entre montante e jusante, nos meses de julho, agosto e outubro de 2017, onde a linha vermelha indica a concentração máxima permitida pela legislação.

Figura 5. (A) Concentração de Zn dissolvido nos pontos à montante e à jusante das ETEs em julho/2017 (B) Concentração de Zn dissolvido nos pontos à montante e à jusante das ETEs em agosto/2017 (C) Concentração de Zn dissolvido nos pontos à montante e à jusante



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em julho, nos pontos Gama (C), Brasília Norte (E) e Brasília Sul (M) há concentrações menores de zinco na jusante em comparação ao montante, ainda assim maior do que preconizado na legislação. Nas demais localidades, ETES Alagado (A), Brazlândia (C), Melchior (D), Paranoá (F), Recanto das Emas (H), Riacho Fundo (I), Samambaia (J), São Sebastião (K), Sobradinho (L) e Vale do Amanhecer (N), a situação se inverte o que pode ter ocorrido devido ao despejo do esgoto tratado, ou seja, existe a possibilidade da ocorrência de um impacto ambiental nos corpos hídricos do DF.

Em agosto, os pontos Gama (C), Norte (E), Planaltina (G), Riacho Fundo (I), São Sebastião (K), Brasília Sul (M) apresentaram concentrações menores de zinco dissolvido no jusante em comparação ao montante, porém, nas demais localidades, ETES Brazlândia (B), Melchior (D), Paranoá (F), Samambaia (J), Sobradinho (L) e Vale do Amanhecer (N), a situação se inverte, o que pode ter ocorrido devido ao despejo do esgoto tratado, existindo, assim como em julho, a possibilidade de impacto ambiental. Na ETE Recanto das Emas (H) o valor do montante foi <LQ e a diferença entre os pontos na ETE Alagado (A) não foi significativa.

Em outubro, nas ETES Alagado (A), Gama (C), Melchior (D), Paranoá (F), Recanto das Emas (H), Samambaia (J) e São Sebastião (K) as concentrações encontradas na jusante são maiores do que as concentrações encontradas no montante. Nas ETES Brazlândia (B), Riacho Fundo (I) e Vale do Amanhecer (N) os valores de montante e jusante ficaram <LQ. Nas ETES Norte (E), Planaltina (G) e Sobradinho (L), apenas os valores de montante foram <LQ e na ETE Brasília Sul (M) o valor <LQ foi o da jusante, impossibilitando a comparação entre os dois pontos.

7 DISCUSSÕES

A ETE Brasília Norte apresentou a maior eficiência de remoção, porém, todas as amostras de esgoto tratado, considerado como efluente no trabalho, não estão de acordo com a concentração máxima permitida pela legislação vigente (Resolução CONAMA nº 430 de 2011). Em comparação com o esgoto bruto, percebe-se que o tratamento não se mostrou efetivo para a retirada do metal estudado, o zinco, ocasionando assim, a poluição dos pontos jusante as ETEs do DF.

A ETE Samambaia apresentou a menor eficiência de remoção, o que pode ter sido causado pelo seu tipo de tratamento (Reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA) + Lagoa facultativa + Lagoa de alta taxa + Lagoa de Polimento + Polimento Final), prejudicando os seus corpos receptores (Córrego Gatumé e Rio Melchior), fato que foi evidenciado na diferença entre a concentração dos pontos jusante e montante. Apesar de ter um tratamento de nível terciário onde ocorre a remoção de poluentes específicos, como fósforo e nitrogênio, não há foco no tratamento de zinco (ADASA, 2020).

Todas as amostras de água dos pontos à montante e à jusante apresentaram níveis de zinco acima da concentração máxima permitida pela resolução vigente (Resolução CONAMA nº 357 de 2005). Na maioria dos pontos houve contaminação das jusantes em comparação aos montantes, devido ao despejo de efluentes nos corpos receptores.

O solo do cerrado apresenta deficiência de micronutrientes, como o zinco. Em comparação com a média mundial, a concentração chega até a metade do valor. Vendrame et. al (2007) verificou que as concentrações de zinco em no solo do cerrado estão abaixo dos níveis críticos em 33% dos solos avaliados, fortalecendo a ideia do zinco ser um dos micronutrientes mais limitantes para o aproveitamento agrícola nesta região.

Os valores elevados de zinco nas amostras coletadas juntamente com a literatura indicando que é um metal escasso no solo reforçam a hipótese de contaminação antrópica.

Os resultados encontrados indicam a concentração de zinco dissolvido, uma vez que as amostras passaram por filtração. Entretanto, as legislações assinalam níveis totais do metal. Mesmo assim, as concentrações de zinco

dissolvido reportadas neste trabalho são superiores as preconizadas pelas resoluções, podendo indicar que as concentrações de zinco total das amostras possam estar ainda mais elevadas.

De acordo com um relatório da ADASA (2016) de “Fiscalização do Sistema de Esgotamento Sanitário da Bacia Ponte Alta” a ETE Gama em 2016 apresentava uma das esteiras de tratamento preliminar e um classificador de areia fora de operação, um dos reatores fora de carga, sendo necessária a troca da malha de aeração, refletores quebrados nos RAFAs e o sistema de queima de gás não estavam funcionando, além de equipamentos e estruturas oxidados. A ETE Gama em 2017 possuía uma eficiência de tratamento de 63%, ou seja, removeu entre julho, agosto e outubro, em média 63% de zinco do esgoto bruto, o segundo menor valor encontrado entre todas as ETEs estudadas. Em todos os meses avaliados, a concentração de zinco nesta ETE foi maior que o preconizado no esgoto tratado, podendo estar relacionado com a falta de manutenção da Estação de Tratamento.

Lodos de esgoto são resíduos sólidos das estações de tratamento de esgoto. Podem ter forma sólida, semissólida ou líquida, rico em matéria orgânica e nutriente. Com extensa capacidade poluidora, eles não são introduzidos nos ciclos de recuperação e reciclagem (BATISTA, 2015).

Um estudo (BATISTA, 2015) comparou as concentrações de metais presentes no lodo das ETEs Brasília Sul, Brasília Norte, Gama e Melchior com a Resolução CONAMA 375/2006, que “define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências”. Neste estudo, foram encontradas concentrações de Zn e outros metais menores do que a resolução solicita e concluiu que provavelmente deve-se ao fato de não possuir polo industrial de grande porte no DF.

Os valores permitidos para lodo são superiores comparados à água e a efluente nas suas respectivas resoluções. Ele pode ter até 2800 mg/kg de Zn (BRASIL, 2006) e por ser um valor maior, não possuir polo industrial de grande porte na área e naturalmente ter uma capacidade poluidora alta, espera-se que esteja dentro dos parâmetros.

O zinco é um metal essencial, mas que em altas concentrações pode gerar malefícios de grande impacto na saúde dos seres humanos, sendo associado até com a doença de Alzheimer (KLAASSEN; WATKINS III, 2012). Além dos efeitos tóxicos a saúde humana, os metais também podem afetar microrganismos, prejudicando seu crescimento, metabolismo, absorção de nutrientes etc. (BRAVO, 2018).

O controle da concentração de metais em corpos hídricos deve ser realizado, porque além de afetar diretamente a saúde humana com seus efeitos tóxicos, aumenta a resistência bacteriana a antibióticos, o que ameaça a qualidade de vida, já que eles são responsáveis por tratar doenças infecciosas geradas por bactérias (DA COSTA; JUNIOR, 2017).

A política Nacional do Meio Ambiente tem como objetivo a “preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana” (BRASIL, 1981). Logo, a contaminação de corpos hídricos por metais, como o zinco, a contrapõem, já que geram prejuízos a saúde humana e acarretam danos ao ambiente.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os pontos à montante e à jusante apresentaram níveis de zinco acima da concentração máxima permitida pela resolução vigente (Resolução CONAMA nº 357 de 2005) e na maioria dos pontos houve contaminação das jusantes em comparação aos montantes. As amostras de esgoto tratado também indicaram concentrações superiores à resolução.

Pode-se concluir que os tratamentos não estão sendo eficientes, entretanto, as ETEs possuem diferentes tipos de tratamento em associação, por isso é difícil indicar qual seria o melhor baseado nos resultados deste trabalho. Para chegar nesta resposta seriam necessários vistorias e diversos estudos que não foram abordados aqui. Apesar disso, ainda foi viável observar dados relevantes sobre as Estações de Tratamento de Esgoto do DF.

Foi possível avaliar a eficiência de remoção do zinco nas ETEs e relacionar as concentrações achadas com as resoluções vigentes, levando a conclusão que ocorre contaminação ambiental a partir das Estações de Tratamento de Esgoto no DF. Devido à contaminação ambiental e a evidências presentes na literatura, correlaciona-se com a possível indução de resistência bacteriana.

Para a confirmação da indução de resistência bacteriana, fazem-se necessários estudos microbiológicos das mesmas áreas, comparando concentrações de outros metais, além do zinco, com a presença de genes que levam a resistência.

A princípio o trabalho tinha como objetivo analisar também outros metais, sendo eles: prata, alumínio, chumbo, selênio, cobre e níquel. Entretanto, devido a limitações do método de análise, não foi possível.

REFERÊNCIAS

ADASA. **Sistema de Esgotamento Sanitário**. Brasília, 2020. Disponível em: <<http://www.adasa.df.gov.br/legislacoes/leis-distritais/17-pagina/562-sistema-de-esgotamento-sanitario>>. Acesso em: 23 nov. 2020.

ALVES, R. I. S.; TONANI, K. A. A.; NIKAIDO, M.; CARDOSO, O. O.; TREVILATO, T. M. B.; MUÑOZ, S. I. Avaliação das concentrações de metais pesados em águas superficiais e sedimentos do Córrego Monte Alegre e afluentes, Ribeirão Preto, SP, Brasil. **Ambi-Agua, Taubaté**, v. 5, n. 3, p. 122-132, 2010.

BATISTA, L.F. (2015). *Lodos gerados nas estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal: um estudo de sua aptidão para o condicionamento, utilização e disposição final*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-168/2015, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 197p.

BRASIL. LEI Nº 6.938, DE 31 DE AGOSTO DE 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm>. Acesso em: 12 out. 2019.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 12 out. 2019.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. **Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências**. Disponível em: <

<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2020.

BRAVO, Gabriela Batista Gomes et al. **Resistência aos metais cobre, chumbo, cromo e zinco em bactérias gram-positivas isoladas de ambiente aquático**. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

CAESB. **Estações de Tratamento de Esgoto**. Brasília, 2019. Disponível em: <<http://atlascaesb.maps.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=9babae05a8a1444180cdf3df83f67fb>>. Acesso em: 28 out. 2019.

CAESB. **Sistema de Esgotamento**. Brasília, 2019. Disponível em: <<https://www.caesb.df.gov.br/esgoto/sistemas-de-esgotamento.html>>. Acesso em: 01 out. 2019.

CETESB. **Toxicidade e genotoxicidade de água intersticial proveniente de sedimento na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Alto Tietê (UGRHI 6)**: Relatório final. São Paulo, 2017. 40 p. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/Toxicidade-e-genotoxicidade-de-%C3%A1gua-intersticial-de-sedimento-no-Alto-Tiet%C3%AA-UGRHI-6.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2019.

DA COSTA, Anderson Luiz Pena; JUNIOR, Antonio Carlos Souza Silva. Resistência bacteriana aos antibióticos e Saúde Pública: uma breve revisão de literatura. **Estação Científica (UNIFAP)**, v. 7, n. 2, p. 45-57, 2017.

DA SILVA, Vicente de PR et al. Uma medida de sustentabilidade ambiental: Pegada hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 17, n. 1, 2013.

DE OLIVEIRA, Mara Regina; HORN, Adolf Heinrich. COMPARAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS NAS ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO EM TRÊS MARIAS, DESDE 1991 ATÉ HOJE, RELACIONANDO A ATUAÇÃO DA CMM-TRÊS MARIAS. **Revista Geonomos**, v. 14, n. 2, 2013.

Agência Reguladora De Águas, Energia e Saneamento Básico Do Brasília, Superintendência de Abastecimento de Água e Esgoto – SAE. *Fiscalização do Sistema de Esgotamento Sanitário da Bacia Ponte Alta*. Brasília: ADASA, 2016.

DO CARMO, Carolina Almeida; ABESSA, Denis Moledo de Souza; NETO, Joaquim Gonçalves Machado. Metais em águas, sedimentos e peixes coletados no estuário de São Vicente-SP, Brasil. **O mundo da Saúde**, v. 35, n. 1, p. 64-70, 2011.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial; *Orientação sobre Validação de Métodos Analíticos: DOQ-CGCRE-008*. 5 rev. INMETRO: Rio de Janeiro, 2016.

KLAASSEN, Curtis D.; III, John B. Watkins. **Fundamentos em Toxicologia de Casarett e Doull**. 2. ed. Porto Alegre: Amgh, 2012.

LIMA, Adriel Martins; DOS SANTOS, Francismário Ferreira. Análise das propriedades físico-químicas e de metais potencialmente tóxicos na água do Rio Claro, próximo a cidade de Jataí–GO. **RECEN-Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 14, n. 2, p. 239-255, 2012.

MALACHOWA, Natalia; DELEO, Frank R. Mobile genetic elements of *Staphylococcus aureus*. **Cellular and molecular life sciences**, v. 67, n. 18, p. 3057-3071, 2010.

MOREAU, Regina Lúcia de Moraes; SIQUEIRA, Maria Elisa Pereira Bastos de. **Toxicologia Analítica**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

MUÑOZ, S. Carrasco et al. Contrastes basados en gadolinio utilizados en resonancia magnética. **Radiología**, v. 56, p. 21-28, 2014.

NASCIMENTO, Altina L. et al. Teores de metais pesados no solo e em girassol adubado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 294-300, 2014.

NEVES, Patricia Regina. **Alterações da permeabilidade e expressão de bombas de efluxo em isolados clínicos de *Pseudomonas aeruginosa* resistente ao imipenem**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

OGA, Seizi; CAMARGO, Márcia Maria de Almeida; BATISTUZZO, José Antonio de Oliveira. **Fundamentos de Toxicologia**. 3. ed. São Paulo: Atheneu Editora, 2008.

PEIXOTO, L. J. S. et al. *Aeromonas* spp.: fatores de virulência e perfis de resistência a antimicrobianos e metais pesados. **Arq. Inst. Biol., São Paulo**, v. 79, n. 3, p. 453-461, 2012.

SANTANA, Carolina Oliveira et al. Assessment of health risk related to the ingestion of trace metals through fish consumption in Todos os Santos Bay. **Environmental monitoring and assessment**, v. 189, n. 5, p. 204, 2017.

SILVA, Daniel Clemente Vieira Rêgo da; POMPÊO, Marcelo; PAIVA, Teresa Cristina Brazil de. A Ecotoxicologia no contexto atual no Brasil. In: *Ecologia de reservatórios e interfaces*, p. 460, 2015.

TREVIZANI, Tailisi Hoppe. **Bioacumulação e biomagnificação de metais pesados em teias tróficas de estuários do sul-sudeste do Brasil**. 2018. 179 f. Tese (Doutorado) - Curso de Oceanografia Química, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

VENDRAME, Pedro Rodolfo Siqueira et al. Disponibilidade de cobre, ferro, manganês e zinco em solos sob pastagens na Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 6, p. 859-864, 2007.

WCD, SPECIAL WORKING SESSION. World commission on environment and development. **Our Common Future**, v. 17, p. 1-91, 1987.

WHO – World Health Organization. **Guidelines for Drinking-Water Quality**. 4th Edition, World Health Organization, Geneva, 2011