



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

**AVALIAÇÃO QUANTO A PRESENÇA DE METAIS E METALÓIDES
EM AMOSTRAS DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO DA GRANDE
FLORIANÓPOLIS POR ESPECTROMETRIA DE MASSAS COM
PLASMA INDUTIVAMENTE ACOPLADO (ICP-MS)**

GABRIELA ROSA FERMINO

Florianópolis
Junho/2023

Gabriela Rosa Fermino

**AVALIAÇÃO QUANTO A PRESENÇA DE METAIS E METALÓIDES
EM AMOSTRAS DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO DA GRANDE
FLORIANÓPOLIS POR ESPECTROMETRIA DE MASSAS COM
PLASMA INDUTIVAMENTE ACOPLADO (ICP-MS)**

Relatório apresentado ao Departamento de Química
da Universidade Federal de Santa Catarina,
como requisito parcial da disciplina de
Estágio II (QMC 5512)



Documento assinado digitalmente

TATIANE DE ANDRADE MARANHÃO

Data: 11/07/2023 17:33:56-0300

CPF: ***,638.324-**

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Tatiane de Andrade Maranhão
Orientadora

Florianópolis
Junho/2023

DEDICATÓRIA

Dedico este projeto de pesquisa ao meu filho Nicolas, que mesmo tão pequeno me ensina tanto. A presença dele foi essencial para a conclusão deste trabalho. Grata pela sua compreensão com as minhas horas de ausência e por trazeres tanto sentido à minha vida. Te amo. Essa vitória é nossa e por nós!

Agradecimentos

Ao meu filho, Nicolas, que desde seu nascimento trouxe sentido e muito ensinamento à minha vida. Filho, você é o meu herói. Obrigado por me dar forças e ajudar no meu processo de autoconhecimento. Sem você, essa vitória não teria tanto sentido como tem hoje. Muitas vezes me culpei por te deixar aos cuidados de outra pessoa enquanto eu precisava me dedicar aos estudos. Sei que um dia você vai compreender todo esse processo e que irei parar de me culpar pelas várias vezes que deixamos de brincar juntos. Esse processo foi para mim e é por você, estamos colhendo bons frutos.

Agradeço ao meu esposo Rafael por acreditar em mim, por vibrar comigo a cada passo, pela sua ajuda em manter nosso lar operacional enquanto eu investia tempo neste trabalho de pesquisa e no meu crescimento pessoal e profissional. Por não me desamparar nos momentos de desespero. Te amo.

Aos meus pais que vibram a cada conquista minha. Obrigada por tudo e pela vida. Este trabalho é a prova de que todo o investimento e dedicação valeram a pena.

À minha querida avó Ivone (*in memoriam*), que foi calmaria nas minhas tempestades, que desde a minha aprovação me deu todo incentivo e força. Por abrir a porta de sua casa para me receber e proporcionar um cantinho silencioso para estudar. Agradeço por todos os cafés e madrugadas compartilhadas, por não me deixar pensar em desistir, por toda a confiança depositada. Florzinha, sua presença foi essencial em minha vida. Como eu queria você aqui para vibrar comigo.

Ao meu amigo, André, que passou diversas madrugadas me transmitindo conhecimento. Você foi essencial na minha trajetória na faculdade. Obrigada pela força estrondosa.

À minha professora orientadora, Dr^a. Tatiane de Andrade Maranhão, que tornou essa trajetória final de um engrandecimento imensurável. Obrigada, prof., por todas as palavras, conhecimentos compartilhados e empatia durante toda a minha trajetória.

À UFSC, aos professores e a todos os colaboradores da universidade por me concederem um ensino público, gratuito e de qualidade.

Um eterno, obrigada.

RESUMO

Amostras de águas de torneiras, bebedouros e poços da grande Florianópolis foram coletadas, num total de 16 amostras em triplicatas. A coleta ocorreu em dias distintos. Para tal fez-se o uso tubos Falcon de 50 mL e acidificados com 1%v/v de HNO₃, seguidas de congelamento, com o intuito de solubilizar os metais e preservar a matriz até o momento da análise. Inicialmente realizou-se a análise semiquantitativa “TotalQuant™”, utilizando a técnica de espectrometria de massas com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), em amostras dos três tipos de águas (torneira, bebedouro e poço), de forma que os analitos que apresentaram contagens foram: Pb, Cd, Hg, V, Cr, Sb, Ni, Zn, Rb, Cu, Al, Sr, Fe, Ag, V, Co, estes foram selecionados para quantificação por ICP-MS. As condições de geração do plasma otimizadas foram: vazão do gás de nebulizador de 1,1 L/min e radiofrequência em 1100W. A exatidão do método foi avaliada com o uso do material de referência certificados (CRM's), NIST 1643e, água natural, os resultados foram exatos para a maioria dos analitos estudados, salvo Fe e Ag, que apresentaram valores acima do certificado, talvez explicado pela possibilidade de interferência espectral nessa amostra para esses dois isótopos. Adicionalmente foi realizado teste de adição recuperação em 3 diferentes níveis de concentração nas amostras reais coletadas. Portanto, as recuperações variaram entre 85% e 114% para todos os analitos nos níveis de adições de 30 e 60 ug/L, valores considerados adequados. A precisão foi avaliada pelo desvio padrão relativo (RSD) que se apresentou menor 5% para as amostras. Por fim, avaliou-se 49 amostras do município de Florianópolis e cerca de 5 analitos (Al, Cr, As, Sb e Fe) foram encontrados acima e no limite do valor preconizado na legislação nacional, ou seja (200, 50, 10, 6, 300 ug/L) para 9 das amostras permitindo uma primeira especulação quanto a qualidade da água de abastecimento que a população está tendo acesso e alerta para uma importante necessidade de melhor monitoramento.

Palavras-chave: Potabilidade da água, Metais pesados, Espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1 Poluição no ecossistema aquático.	9
2.1.2 Metais Tóxicos em água.....	11
2.1.3 Tratamento de águas.....	14
2.1.4 Padrões de qualidade da água	14
1.2 Métodos de determinação de metais	16
1.2.1 ICP-MS	16
3 OBJETIVOS	20
3.1 Objetivo Geral	20
3.2 Objetivos específicos	20
4 MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1 Instrumentação	21
4.3 Amostras	22
4.4.1. Otimização do equipamento ICP-MS.....	22
4.4.2. Exatidão do método.....	22
4.4.3 Segurança no laboratório e tratamento dos resíduos.....	22
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1 Análise semiquantitativa das amostras.....	24
5.2 Otimização do ICP-MS.....	25
5.3 Parâmetros de mérito.....	26
5.3.1 Avaliação da exatidão do método	28
5.4 Aplicação do método as amostras reais	30
6 CONCLUSÃO	37
7 REFERÊNCIAS.....	39

1. INTRODUÇÃO

O Meio Ambiente é considerado um bem comum, no entanto, não é usufruído por apenas um proprietário daquele bem, mas em maior ou menor grau por toda a população. É inegável que a evolução da humanidade demanda a “exploração” e o usufruto dos recursos naturais, porém a modificação ambiental somada ao avanço tecnológico traz consigo o constante aumento da poluição.¹

Tanto processos naturais como os antropogênicos, incluindo atividades de mineração e fundição liberam metais para o meio ambiente. A liberação de metais por fonte antropogênica pode ou não ser intencional. As não intencionais estão interligadas a acidentes, derramamentos, já às intencionais ou deliberadas (aplicação de biocidas, efluentes indústrias sem tratamento). A poluição hídrica por metais provém principalmente lançamento de efluentes sem tratamento ou com o tratamento ineficiente ao que diz a respeito dessas substâncias nas águas superficiais

O acesso à água potável é uma necessidade básica e essencial para a saúde e o bem-estar da população humana. Tem ampla utilização nas ciências naturais, praticamente todas as moléculas biológicas apresentam atividade e a maioria das reações bioquímicas ocorre em meio aquoso. Água é uma substância com propriedades únicas e essencial relevância científica. Dessa forma, tendo em vista a importância da exploração dos recursos hídricos para humanidade, este é previsto e autorizado dentro de determinados limites especificados por lei que visem a segurança em termos de saúde pública e sua preservação para as gerações futuras. No entanto, a aplicabilidade das portarias no Brasil é bastante heterogênea, pois em algumas regiões ela é considerada excessivamente permissiva, enquanto em outras, desnecessariamente exigente e rigorosa.

Segundo Ashbolt², a água utilizada para o consumo humano, quando contaminada por poluentes diversos, pode ser a causa de ocorrência de enfermidades de veiculação hídrica como a cólera, doenças intestinais, entre outras. Apesar da expressão “a água é a fonte da vida” ser um conhecido dito popular a despeito da aparente obviedade deste conceito, este nem sempre foi verdadeiro. Ou seja, mesmo que seja inegável que os tratamentos químicos e

biológicos da água são responsáveis pela melhoria da qualidade de vida experimentada pelas populações urbanas, sabe-se que quando as temáticas são os poluentes emergentes, metais e agrotóxicos os tratamentos convencionais utilizados são vistos como ultrapassados.

Esse trabalho justifica-se por reportagens evidenciarem que no ano de 2022 havia cerca de 26 municípios, entre eles Florianópolis com água potável contaminada por poluentes diversos, como metais e agrotóxicos relacionados aos subprodutos de desinfecção. As notícias mostram que apesar de existir padrão de potabilidade, a população é vulnerável a má qualidade dessas águas tendo pouco acesso à informação e falta de fiscalização eficaz e transparente desse monitoramento.

Nesse sentido, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar mediante determinações de elementos utilizando a técnica de espectrometria de massas com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) a fim de uma primeira avaliação quanto a presença de elementos tóxicos nas águas de abastecimento. Os metais, em especial os tóxicos que apresentaram níveis de concentração quantificáveis na análise semiquantitativa “TotalQuant”, em amostras de água de abastecimento, (torneira, bebedouro e poço) coletados em diferentes regiões da grande Florianópolis, foram então selecionados para quantificação.

A metodologia utilizada para o preparo das amostras foi a de simples diluições. Avaliou-se a estratégia de calibração com e sem uso de padrão interno. A exatidão foi checada utilizando amostra de referência certificada e teste de adição/recuperação. Os resultados obtidos para as diferentes amostras foram avaliados com relação à legislação vigente, de modo que possibilitou uma análise preliminar da qualidade dessas águas para contribuir com a avaliação do ponto de vista de saúde pública. Pois a exposição a recursos hídricos com qualidade corrompida na presença de metais causa impactos silenciosos ao ser humano, de forma que a longo prazo quando aparecem são em formas de doenças graves.

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 Poluição no ecossistema aquático.

A água é um recurso natural e abundante da qual representa três quartos da superfície do planeta. É ainda o constituinte inorgânico mais abundante no corpo humano, mais de 60% dele é constituído por água, sendo essencial para a existência e sobrevivência das diferentes formas de vida.³⁻⁶ A fórmula empírica da água (H_2O), assim como suas características físicas essenciais para o consumo humano: turbidez, sabor e odor são de vasto conhecimento popular. De fato, a forma predominante e de maior interesse ecológico circunda a molécula de H_2O . Portanto, a combinação dos diversos isótopos de hidrogênio e oxigênio fornece uma variedade de 48 formas de água, das quais 39 são radioativas e apenas nove são estáveis.⁶

O transporte de contaminantes nas águas superficiais é determinado por processos relacionados às propriedades químicas naturais presentes no meio e sua interação com contaminantes. Nesse sentido, os elementos químicos (C, H, O, N, P, S) e outros 25 elementos que sustentam a vida na terra presente em formas orgânicas, ou em formas inorgânicas, interagem de várias maneiras, causando, assim, interações que modificam os processos básicos da natureza.⁴ Ou seja, qualidade da água é mera decorrência da combinação entre as características naturais e os fatores antrópicos que conduzem à sua modificação.³⁻⁵

Pode-se mencionar que a demanda por água cresce em conjunto com o crescimento populacional. Em consequência, a exploração dos mananciais aumenta significativamente. Ou seja, em países onde a fiscalização é falha, os danos gerados nos recursos hídricos são bastante significativos.⁷⁻⁹

Dependendo do estado físico, substâncias químicas em concentrações acima dos valores preconizados em diretrizes poluem os solos, o ar e os ecossistemas aquáticos. Portanto, estão comumente relacionadas com o intenso crescimento das cidades, devido ao avanço da industrialização e da urbanização. Desta maneira, pode-se dizer que o termo poluentes é comumente utilizado para qualquer alteração física, química ou biológica, pela ação antrópica que causa efeito nocivo ao meio ambiente, do contrário definimos como

contaminantes. Os poluentes podem causar danos à saúde humana ou ao ecossistema natural. Essa definição exclui “poluição natural”, embora processos naturais também possam liberar substâncias prejudiciais no ambiente.⁷⁻⁹

Barbieri et al. (2009)⁹ classifica a poluição quanto ao compartimento ambiental atingido. A poluição do ecossistema hídrico denomina-se poluição hídrica e é comumente decorrente de lançamentos de efluentes com potencial poluidor acima dos padrões estabelecidos em regulamentos como na resolução CONAMA nº 430/2011, que altera a resolução nº 357/2005 em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos. Onde dispõe sobre a classificação dos corpos de água, ambas preconizam parâmetros para lançamento de efluentes e para o uso de águas, inclusive para abastecimento.

Assim, para promover o abastecimento de água, faz-se necessária a potabilização das águas naturais. Este processo consiste na adequação da água bruta aos padrões de potabilidade vigentes estabelecidos pela Portaria Portaria MS/GM888, de 4 de maio de 2021.¹⁰ O tratamento de água convencional para abastecimento humano mais comum decorre de duas etapas constituídas por conjunto dos processos sequenciais de Coagulação, Floculação, Decantação, Filtração, Desinfecção, Fluoretação e Correção da acidez.¹¹

Efluentes são comumente submetidos a tratamentos e lançados em corpos d'água o que em alguma instancia pode afetar a população. O Tratamento primário de efluentes consiste em remover substâncias sólidas das águas por meio de processos físicos-químicos sólidos sedimentáveis, materiais flutuantes e matéria orgânica. Já o tratamento secundário consiste em um processo biológico baseado em bactérias aeróbicas e outros organismos consumidores de detritos que quebram quase todos os resíduos orgânicos que permanecem na água após o tratamento primário e em seguida faz-se a desinfecção com cloro para que os efluentes tratados possam ser despejados em corpos d'água.^{12,13}

Com a desinfecção com cloro, subprodutos clorados são gerados, o que requer uma terceira etapa de tratamento o tratamento terciário, não é encontrado com facilidade na maioria dos municípios brasileiros. No entanto, este visa ser uma etapa de retirada desses subprodutos da etapa de desinfecção. Dessa forma, quando a temática são os novos poluentes emergentes, metais tóxicos e agrotóxicos os tratamentos de água convencionais são vistos como

ultrapassados permitindo que a sociedade esteja exposta a estes compostos somado a falta de informação.^{14,15}

A constituição impõe que o acesso ao saneamento básico é um direito de todos e um dever do estado. Contudo, em relação ao efluente gerado no Brasil, somente 39,0% sofre algum tipo de tratamento. Nesse cenário, mais de 60% do esgoto doméstico gerado no Brasil é lançado *in natura* nos corpos d'água e os outros quase 40% passam por tratamento. Estudos realizados no extremo oeste de Santa Catarina revelaram que essa região apresenta elevada contaminação dos mananciais hídricos. Logo, quando ao exposto anteriormente há divergência no proposto na constituição.^{16,17}

2.1.2 Metais Tóxicos em água

Segundo a IUPAC, o termo “metais tóxicos” nunca foi definido. No entanto, tem sido utilizado no vocabulário químico levando a uma série de definições. Na literatura, por exemplo, há definições quanto ao termo “metais tóxicos” no que diz a respeito às propriedades físico-químicas.¹⁸ Grande parte das definições tem como embasamento os valores de densidade aos quais esses metais se enquadram, salienta-se que não há um acordo sobre isso ou mesmo evidência científica que relacione a densidade do metal com sua toxicidade.¹⁹

Mesmo que não haja uma definição oficial, há um consenso de que metais tóxicos se enquadram em um subgrupo específico de metais com peso específico maior que 5 g cm^{-3} ou que possuem um número atômico maior que 20 sendo estes o alumínio (Al), vanádio (V), cromo (Cr), manganês (Mn), ferro (Fe), cobalto (Co), níquel (Ni), cobre (Cu), zinco (Zn), arsênio (As), selênio (Se), molibdênio (Mo), cádmio (Cd), antimônio (Sb), bário (Ba), mercúrio (Hg) e chumbo (Pb). Esses metais pertencem a uma classe de substâncias químicas das quais não se degradam facilmente no meio ambiente.²⁰⁻²³

Os contaminantes presentes em água podem se encontrar em solução ou suspensão. Essas formas podem percorrer longas distâncias, das quais dependem da estabilidade e estado físico do contaminante, e do fluxo do corpo d'água. Estes por não serem biodegradáveis permanecem longos períodos no meio aquático.

Referente à saúde pública, os metais (Zn, Fe, Cu, Mg, Mn e Co) são considerados biogénicos. Isto é, sua presença é essencial para permitir o funcionamento normal de algumas rotas metabólicas. Estes são fornecidos através da natureza e variam de parte por bilhão (ppb) e parte por milhão (ppm). Tendo em vista que nem todos os metais são igualmente reativos, tóxicos ou disponíveis a biota. A avaliação eco toxicológica, ou seja, indicar e analisar os efeitos de uma substância potencialmente tóxica, faz-se necessário considerar a exposição.

Vale salientar que a qualidade da água, a sua quantidade e regularidade de fornecimento são fatores determinantes para o acometimento de doenças no homem.² As propriedades físicas e químicas da água interferem na disponibilidade dos metais e, conseqüentemente em sua toxicidade. A concentração do metal relaciona-se a sua toxicidade e pode trazer prejuízos à saúde humana quanto à exposição a curto e longo prazo. Assim, os mananciais, sendo tidos como reservas hídricas ou de fontes de água doce superficial e/ou subterrânea que são usadas para realização de abastecimento público ou mesmo de desenvolvimento de atividades econômicas, precisam atender a legislação vigente.

Pertinente a toxicidade, entre os metais tóxicos mais perigosos se enquadra o chumbo, mercúrio, arsênio, Cádmio e estanho. Esses possuem funções parecidas com os metais utilizados pelo corpo humano, no entanto, são capazes de substituir metais usuais, tais como Na^+ e K^+ , levando o organismo a toxicidade. Bioquimicamente, o mecanismo da ação tóxica deriva da forte afinidade pelo enxofre do grupo sulfidril (-SH) das enzimas. O grupo -SH ocorre nas enzimas que controlam a velocidade das reações metabólicas importantes e ligam-se rapidamente aos cátions metálicos ingeridos. A ligação metal-enzima altera a enzima e ela deixa de atuar normalmente, afetando a saúde humana e sendo às vezes fatal.²⁰ Devido à alta permeabilidade da placenta, o feto também sofre todos os males da intoxicação por metais pesados. Os impactos causados pelas altas concentrações destes metais nos corpos aquáticos são complexos e os efeitos nos níveis de toxicidade são altamente variáveis.²⁵

Mesmo em concentrações reduzidas, os cátions de metais pesados, uma vez lançados num corpo receptor, como em rios, mares e lagoas, ao atingirem as águas de um estuário sofrem amplificação biológica. Este efeito ocorre em

virtude desses compostos não integrarem o ciclo metabólico dos organismos vivos, sendo neles armazenados. Em consequência, sua concentração é extraordinariamente ampliada nos tecidos dos seres vivos que integram a cadeia alimentar do ecossistema.²⁶

A contaminação dos recursos hídricos ocorre principalmente pela descarga de esgotos, resíduos municipais e industriais, nos quais elementos inorgânicos²⁷, como Pb, Cd, Cr, Cu, As, Zn, Mn, Fe, K, podem estar presentes devido ao tratamento ineficiente. Os metais mais comuns encontrados nos recursos hídricos são As, Cd, Cr, Cu, Ni e Zn^{27,28}. A ingestão excessiva desses metais e outros elementos tóxicos pode provocar efeitos biológicos adversos através de reações de ciclo redox, geração de radicais livres ou ligação aos grupos sulfidril e tiol das proteínas presentes no ambiente.²⁵ Metais como Cd, Pb e V também podem causar consequências em nossa saúde, como doenças pulmonares, câncer ou hemorragias cerebrais, de modo que varia conforme a concentração e forma química.²⁹

A poluição por metais pesados é uma problemática global corroborada através de diversos estudos.³¹⁻³⁹ Um estudo em águas potáveis dos distritos de Siena e Grosseto, sul da Toscana, Itália, proposto por Tomassi³¹ *et al* indica que as concentrações de metais pesados (V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) encontravam muito abaixo do limite nas nascentes. Entretanto, comparando-as com amostras coletadas nos centros de distribuição, estas substâncias encontravam-se acima de limite fator corroborado com a lixiviação do encanamento nos centros de distribuição. No estudo mencionado os autores dão ênfase nas concentrações de As, pois este elemento apresentava-se em concentrações com valores acima do limite permitidos (10 µg/L, 25 de dezembro de 2003; lei italiana). Tanto nas nascentes de águas (relacionadas ao depósito do mineral no aquífero e não com a poluição humana), quanto nos centros de distribuição. Sendo o maior valor encontrado de 14 µg/L, fator agravante por ser o As um elemento cancerígeno. Dessa forma, foram sugeridos a troca do encanamento e aumento da coleta de pontos de amostragem.

Para complementar, o estudo também demonstra que na Itália há interesse crescente quanto as concentrações de V nos corpos de águas potáveis e termais, uma vez que estudos feitos em águas potáveis na região do maciço

vulcânico do Etna, na Sicília, mostraram altas concentrações de V na ordem de 50–130 µg/L.³¹

2.1.3 Tratamento de águas

O tratamento da água é um grande benefício tecnológico moderno à população. Tendo como embasamento a redução drástica das doenças transmitidas pela água, como a cólera.³

A poluição química gerada através de metais tóxicos demanda a necessidade de tratamentos mais sofisticados para as águas. O tratamento abordado no Brasil decorre de duas etapas, sendo a atenção prioritária voltada para os problemas de saúde relacionados a presença de patógenos. A implementação, ainda que parcial, de medidas sanitárias tradicionais ocasionou um declínio da morbimortalidade causada pelos patógenos biológicos veiculados a água, o que provocou o aumento da importância das doenças causadas por agentes físicos e químicos de natureza inorgânica.^{15,33}

O excesso de cloro residual pode gerar a formação de Subprodutos nocivos à saúde, como exemplo, as cloraminas (estimula a alergias) e os trihalometanos (THM). Entre eles, o clorofórmio é potencialmente cancerígeno, pois é decorrente da interação do cloro com compostos fenólicos.³⁵ Estes compostos foram detectados em águas de Florianópolis por dois anos consecutivos 2018 e 2020.

Para corroborar com tratamento de efluentes mais eficientes, destaca-se o processo de oxidação e filtração para a retirada de metais tóxicos, um estudo proposto por Alisson Martins *et al*, em Minas Gerais (Ouro Preto, 2018). Grande parte da população recebe abastecimento de águas tratada que não apresenta nenhuma detecção de metais como Mn, Fe e As. Sendo estes encontrados em altas concentrações, tomando como referência a resolução 2.914/2011, na água bruta coletada.¹⁴

2.1.4 Padrões de qualidade da água

Água potável é a água destinada à ingestão, independente da sua origem, mas que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido, apresentando valores abaixo do valor máximo permitido (VPM). A Tabela 1 apresenta os parâmetros de padrão de potabilidade para inorgânicos do Brasil.

Tabela 1 - Padrão de potabilidade para substâncias químicas inorgânicas que representam risco à saúde

Analitos	Port. GM/MS 888 (2021) VPM, mg/L	Port. GM/MS nº 2.914 (2011) VPM, mg/L	Directive (EU) 2020
Sb	0,006	0,005	0,01
As	0,01	0,01	0,01
Ba	0,7	0,7	-
Cd	0,003	0,005	0,005
Pb	0,01	0,01	0,005
Cu	2	2	2
Cr	0,05	0,05	0,05
Hg	0,001	0,001	0,001
Ni	0,07	0,07	0,05
Se	0,04	0,01	0,02
U	0,03	0,03	0,03
Al	0,2	0,2	0,2
Fe	0,3	0,3	0,2
Mn	0,1	0,1	0,05
Na	200	200	200
Zn	5	5	-

Fonte: Autoria própria, 2023,

No Brasil, a legislação em vigor, Portaria nº 888 de 4 de maio de 2021¹⁰ do Ministério da Saúde, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, com grandes avanços em relação à legislação precedente. Como exemplo, a inclusão de restrição a novos agrotóxicos, a redução do limite máximo de turbidez na saída do tratamento de 1,0 para 0,5 uT (como indicador da remoção de protozoários) e a introdução da necessidade de identificação dos gêneros de cianobactérias com a finalidade de se avaliar a presença de algas produtoras de toxinas. Em relação a este último quesito, o Brasil é considerado pioneiro no estabelecimento desses padrões.

Na Tabela 1 pode-se perceber que alguns valores preconizados no Brasil diferem dos preconizados na Diretiva (UE) 2020/2184 do Parlamento Europeu de 16 de dezembro de 2020 que dispõe os parâmetros e diretrizes sobre a qualidade da água destinada ao consumo humano. Salienta-se que na Europa,

o tratamento por cloração não é permitido. Fator esse um tanto quanto problemático quando se relaciona ao Brasil.

No ano de 2018, a professora titular do campus Curitibanos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC),³³ Sonia Corina Hess, advertiu a presença em medicamentos, como hormônios sintéticos, de metais como Pb, Cd, Al, U e outros compostos orgânicos nocivos à saúde e ao meio ambiente, que estão na água aparentemente pura e cristalina que chega às torneiras da população. Foram inúmeras reportagens, de pareceres técnicos para órgãos públicos, como defensorias e promotorias, sobre poluição e doenças no Brasil.^{33, 36-37} Em 2022, uma nova denúncia³⁷ via reportagem do canal “Repórter Brasil” surge. Essa, conta com jornalistas, cientistas sociais e educadores com objetivo de identificar e tornar públicas situações que ferem direitos trabalhistas e causam danos socioambientais no Brasil. Na matéria, reportam dados de 2018 a 2020 os quais informam que, entre outros estados, SC tem 28 municípios que apresentaram substâncias com maiores riscos de gerar doenças crônicas.

Nesse sentido, ambas as reportagens mostram que apesar de existir padrão de potabilidade, a população é vulnerável tendo pouco acesso à informação e falta fiscalização eficaz e transparente das informações de monitoramento.³⁶⁻³⁷ Em 2019, a Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN) em sua defesa afirmou que a água da torneira é confiável e atende ao VMP do Ministério da saúde. Entretanto, a ausência de informações completas nos relatórios disponíveis em seu canal oficial impede o consumidor de confirmar tais alegações. De modo que cabe a instituições, como a UFSC, contribuir com conhecimento científico e dados para correta avaliação do problema atualmente. Os valores de concentração dos metais são baixos e requerem técnicas analíticas sensíveis para monitoramento e avaliação.

1.2 Métodos de determinação de metais

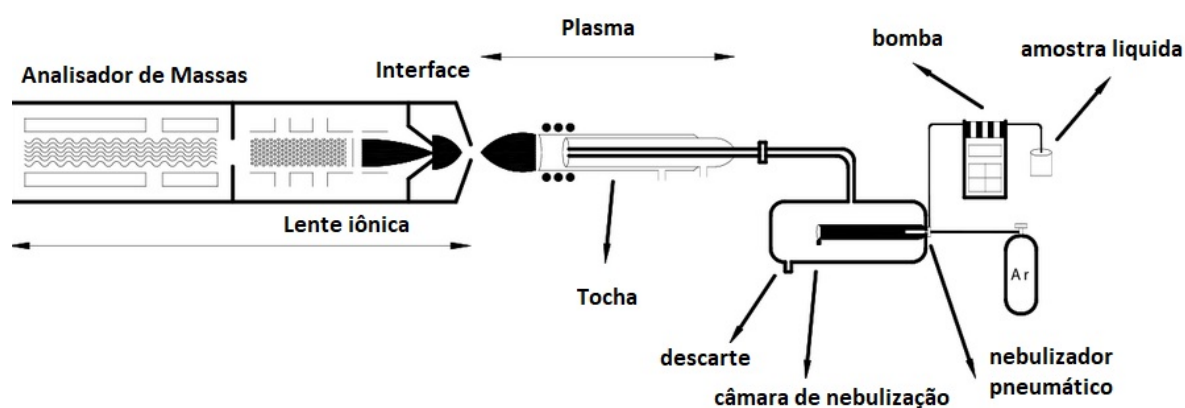
1.2.1 ICP-MS

A espectrometria de Massas com plasma indutivamente acoplado é uma técnica altamente sensível e multielementar. Esta permite analisar cerca de 90%

dos elementos da tabela periódica e faz análises sequenciais rápidas. Com a técnica tem-se a possibilidade de realizar varreduras com análises semi-quantitativas, de modo que possibilita, dessa forma, o conhecimento prévio sobre a composição de uma amostra. O que favorece a seleção de analitos antes de uma análise quantitativa em uma dada amostra.⁴⁰

A técnica, portanto, consiste em separar espécies iônicas, carregadas positivamente geradas no plasma, pela razão entre massa e a carga, produzidos após passar pela fonte de ionização. Esta técnica é altamente sensível, com limite de detecção na faixa de concentração de 0,001 µg/L a 0,1 µg/L. O equipamento espectrômetro de massa pode ser dividido em partes, o qual está representado abaixo (Figura 1).

Figura 1- Representação esquemática ICP-MS.



Fonte: Adaptado de Kashani, A., Mostaghimi, J., 2010.⁴¹

A primeira parte é o sistema de introdução de amostra, composto comumente por um nebulizador e câmara de nebulização para discriminação de gotículas, apenas as menores chegam no plasma. A eficiência de nebulização é de cerca de 5%. A segunda parte é a tocha local que temos a formação do plasma, na extremidade da tocha fica a bobina de tesla que gera o plasma no fluxo de argônio. No plasma ainda à pressão ambiente a amostra é convertida em íons. O plasma fica em contato com a interface que é a parte pré analisador de massas. A partir da interface o instrumento é mantido sob vácuo, a necessidade de manter o sistema em baixa pressão é para minimizar o número

de colisões, assim mantendo o maior número de íons livres. Um sistema ideal deve ser capaz de produzir e manter vácuo entre 10^{-4} e 10^{-8} torr.

A diferença de pressão do plasma e interface permite em conjunto com aplicação de potenciais na lente iônica a extração e colimação dos íons gerados até o analisador de massas. O analisador de massas é comumente um quadrupolo, em que ocorre a separação dos íons em função das respectivas relações massa/carga (m/z). Por último, temos o detector em que os íons são contados por um sistema multiplicador de elétrons e transmitidos para o sistema de processamento de dados. De modo que possibilita, então, obter contagens por segundos de um analito que passou milissegundos sendo separados no analisador de massas.⁴²

Contudo, a técnica de ICP-MS contém interferências significativas que podem afetar o sinal do analito, de forma a resultar em medidas não confiáveis. As interferências podem ser divididas entre espectrais e não espectrais. As interferências não espectrais estão associadas a interferências que afetam a quantidade de analito que chega ao plasma, tal como os efeitos de matriz das técnicas de absorção atômica, podendo obter resultados acima ou abaixo dos valores reais. Já as interferências espectrais, por sua vez, são aquelas que provêm da formação de espécies outras (interferências isobáricas, por íons poliatômicos ou por espécies óxido) com mesma massa que os analitos no plasma que podem ser contados erroneamente podendo obter resultados acima dos valores reais.

Nesse sentido, as interferências não espectrais podem ser corrigidas por técnicas de calibração, enquanto as interferências espectrais podem usar correções matemáticas, isótopos alternativos livres de interferência, controle do branco de amostra e diluição das soluções. Isso porque os concomitantes em alta concentração podem ser fonte dos isótopos interferentes na análise, e uma avaliação diária da performance do instrumento antes de realizar a leitura. Instrumentos mais modernos possuem aparato instrumental, tais como celas de colisão e reação, que visam eliminar íons poliatômicos interferentes.⁴⁰

Os íons separados e contados em função de sua razão m/z podem ser determinados através de métodos quantitativos de forma que uma dada amostra pode ter seus analitos quantificados e comparados com confiabilidade estatística aos valores máximos legislados. E, assim, concluir sobre a problemática de

exposição humana á águas contaminadas por metais, caso estes se apresentem acima dos valores máximos permitidos a adoção de medidas de prevenção e/ou correção deste problema faz-se necessário.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Analisar semi-quantitativamente a presença de metais pesados em água potável de três diferentes tipos (torneira, bebedouro e natural) de diferentes bairros da grande Florianópolis. Selecionar os analitos quantificáveis e determinar as suas respectivas concentrações de forma a permitir uma avaliação da qualidade destas águas, utilizando a técnica de Espectrometria de Massas com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS)

3.2 Objetivos específicos

- Coletar em tubos Falcon de 50ml amostras de águas de torneiras, bebedouros e poços da grande Florianópolis em triplicatas com a participação de voluntários. Após a coleta, acidificá-las com 1%v/v de HNO₃ e manter congeladas até o momento da análise;
- Realizar simples diluições como preparo de amostras, devido à sensibilidade do instrumento;
- Fazer inicialmente uma análise semiquantitativa (varredura) para selecionar os analitos com níveis de concentração quantificáveis;
- Otimizar as condições instrumentais do ICP-MS, tais como potência de radiofrequência e vazão do gás nebulizador para os analitos considerando a matriz das amostras;
- Avaliar a exatidão do método através do uso de material de referência certificado e teste de adição e recuperação;
- Realizar as determinações no ICP-MS;
- Avaliar preliminarmente a qualidade das águas de abastecimento público possibilitando um diagnóstico inicial de exposição e consumo de águas contendo metais.

4. Material e métodos

4.1 Instrumentação

ICP-MS ELAN 6000 (Perkin Elmer, Thornhill, Canadá), equipado com nebulizador de fluxo cruzado e câmara de nebulização tipo Scott, foi utilizado. Os parâmetros operacionais do ICP-MS são mostrados na Tabela 2. Argônio com pureza de 99,996% (White Martins, São Paulo, Brasil) foi utilizado. Avaliações diárias do desempenho do instrumento foram realizadas usando uma solução padrão contendo 10 µg/L de Ba, Ce, Mg, Pb e Rh, In em HNO₃ 2% v/v e os resultados obtidos eram diariamente comparados com os parâmetros recomendados no manual do instrumento.

Tabela 2. Parâmetros operacionais utilizados nas determinações dos analitos por ICP-MS.

Cone <i>skimmer</i> e amostrador	Pt
Leituras por replicata	50
<i>Dwell time</i>	25 s
Potência de rádio frequência	1100 W
Voltagem de pulso	1300 V
Voltagem analógica	- 2112 V
Voltagem da lente iônica	8,75 V
Vazão de gás nebulizador	1,1 L min ⁻¹
Analitos	²⁰⁸ Pb, ¹¹¹ Cd, ⁶⁰ Ni, ⁶³ Cu, ⁶⁶ Zn, ⁶⁸ Zn, ⁷⁵ As, ⁵¹ V, ⁵⁷ Fe, ¹⁰⁷ Ag, ¹²¹ Sb, ⁵⁹ Co, ²⁷ Al, ⁸⁸ Sr, ²⁰² Hg, ⁵² Cr e ⁵³ Cr

FONTE: autoria própria, 2023.

4.2. Reagentes

Todos os reagentes utilizados possuíam grau analítico de pureza. A água foi ultrapura deionizada Mili-Q em uma resistividade de 18,2 MΩ.cm⁻¹. Para os preparos das amostras se realizou a simples diluição de cada amostra e acidificação para preservação dos analitos. O ácido Nítrico 65% (HNO₃) foi submetido a um sistema de bi destilação sub-boiling para purificação. Foi utilizado padrões multielementares estoque de concentração 10 mg/L. Material

de referência certificado (CRM) de água natural, NIST 1643 e foi utilizada para verificar a exatidão do método.

4.3 Amostras

As 49 amostras foram coletadas diretamente em tubo Falcon de 50 mL. As amostras eram coletadas pela a autora e por pessoas voluntárias em caso de amostras de torneiras residenciais, amostras de bebedouro públicos e de ambiente escolar e amostras associadas a poços de diferentes regiões da grande Florianópolis foram amostradas. Estas eram identificadas, etiquetadas e acidificadas com 1% (500µl) de ácido nítrico até o momento da análise. Para análise por ICP-MS as amostras foram diluídas duas vezes.

4.4. Procedimento Experimental

4.4.1. Otimização do equipamento ICP-MS

Para realizar a otimização do equipamento, foi preparada, uma solução com 10 µg/L da solução padrão multielementar 1% v/v de HNO₃ 14 mol/L. A potência da radiofrequência foi variada de 100 em 100 W em um intervalo de 800 a 1400W. A vazão do gás nebulizador foi variada a cada 0,1 em 0,1 L/min em um intervalo de 0,5 a 1,5 L/min.

4.4.2. Exatidão do método

Após realizada as otimizações, primeiramente foi determinado os metais na amostra CRM, NIST 1643e, diluída ao fator de 2 vezes. Adicionalmente foi realizado testes de adição recuperação considerando a adição de 15, 30 e 60 µg/L em três diferentes amostras de duas águas de torneiras e uma de bebedouro. Foi adicionado em cada tubo, cerca de 5,0 mL de amostra no tubo falcon de 15 mL, adicionou-se volumes adequados do padrão multielementar, e 140 µL da solução HNO₃ 14 mol/L, avolumado com água ultrapura para 10 mL.

4.4.3 Segurança no laboratório e tratamento dos resíduos

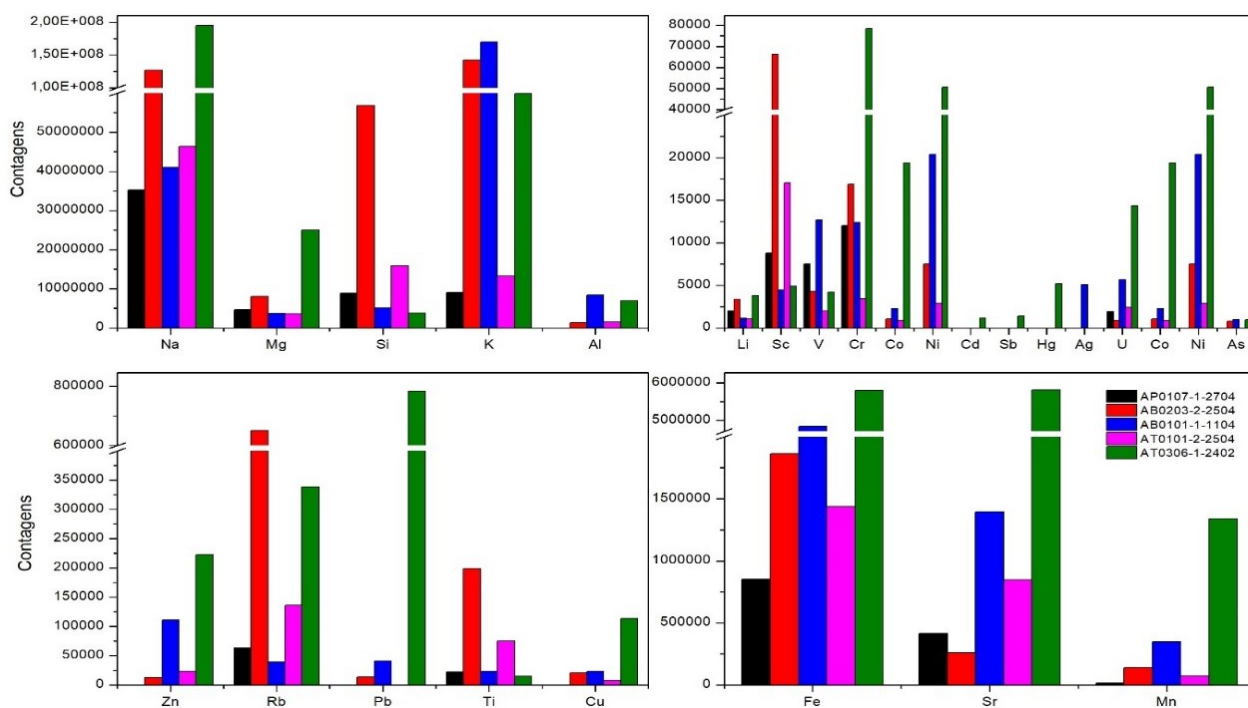
Para garantir a segurança tanto do analista, quanto das pessoas que frequentam o mesmo espaço físico do laboratório, foram utilizadas as capelas, todos os EPI's necessários, e o descarte de reagentes e produtos potencialmente tóxicos ocorrerão nos locais apropriados, portanto, em suas respectivas bombonas. Assim, ocorreu a separação e descarte das amostras tratadas com soluções cloradas (HCl), das soluções utilizadas como padrões metálicos e amostras digeridas, estas descartadas como resíduos ácidos. As bombonas contendo os resíduos previamente separados, é recolhida pela empresa Proactive, empresa contratada pela UFSC para tratamento e coleta dos resíduos gerados nos laboratórios.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise semiquantitativa das amostras

A fim de determinar quais os metais presentes nas amostras de água e suas quantidades aproximadas, foram selecionadas 5 das 49 amostras coletadas, referentes à três tipos de águas (torneira, bebedouro e natural), realizou-se uma análise semiquantitativa, análise “TotalQuant”, pela técnica de ICP-MS para então definir os analitos que devem ser determinados quantitativamente nas diferentes matrizes coletadas. A análise semi-quantitativa requer apenas que seja feita a leitura de um padrão multielementar de concentração conhecida e um branco, com base nesse padrão uma curva resposta é ajustada pelo instrumento de forma a possibilitar a varredura de todos os elementos de uma amostra em um curto intervalo de tempo. Na Figura 2 encontram-se os resultados para análise de algumas amostras pelo método TotalQuant.

Figura 2 - Varredura TotalQuant™ para seleção dos analitos para quantificação.



FONTE: Autoria própria, Software Origin, 2023.

Com base nos resultados obtidos expostos na Figura 2 percebe-se que a água natural de Poço (AP0107-1-2704) possui menores concentrações de

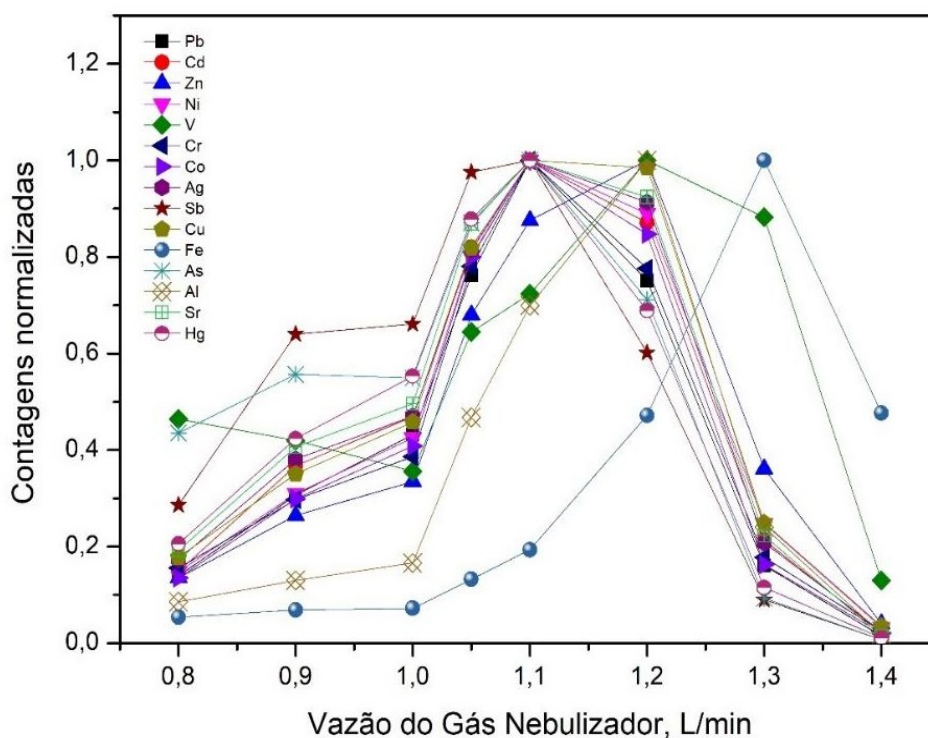
metais que as análises feitas em água de bebedouro (AB0101-1-1104 e AB0203-2-2504) e torneira (AT0101-2-2504 E AT 0306-1-2402) resultado considerado esperado uma vez que a água de Poço é uma água livre de tratamentos

Com base nos resultados, a contagem foi parâmetro a ser considerado na escolha dos analitos de interesse. Assim, os que apresentaram contagens significativamente altas, comumente superiores a 1000 contagens (Pb, Cd, Hg, V, Cr, Sb, Ni, Zn, Rb, Cu, Al, Sr, Fe, Ag, V, Co) foram selecionados.

5.2 Otimização do ICP-MS

A otimização do gás nebulizador encontra-se mostrado na Figura 3. É possível observar, o ponto em que apresenta melhor contagem para maioria dos elementos estudados está sob 1,1 L /min.

Figura 3 - Gráfico obtido na otimização da vazão do gás de nebulização.



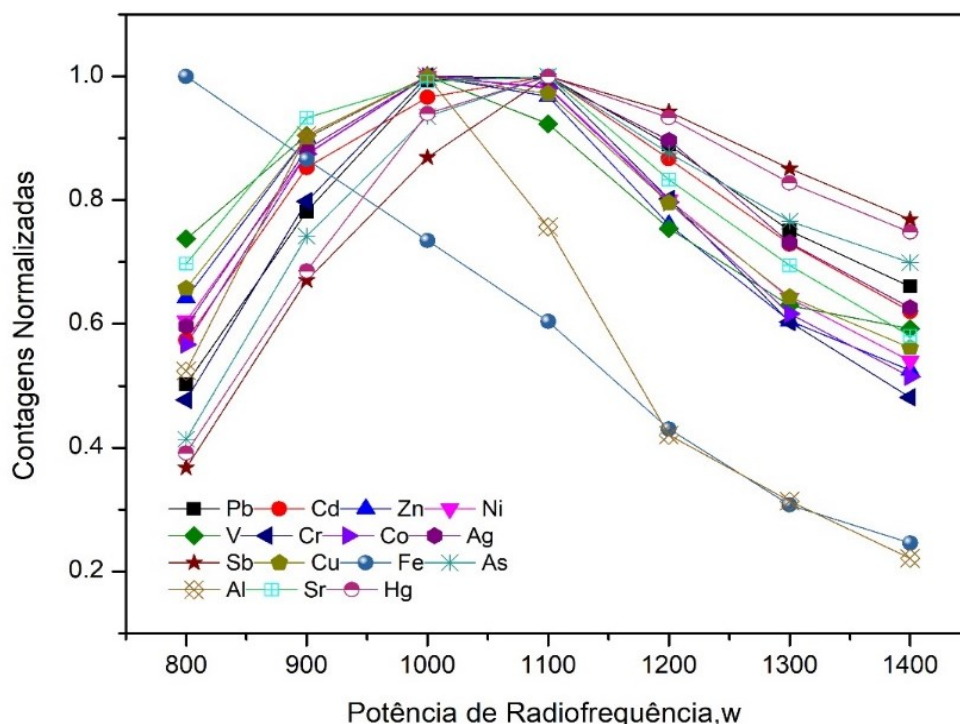
FONTE: Autoria própria, software Origin, 2023.

O V e Zn apresentaram comportamentos levemente diferentes dos demais, e o Fe preferindo uma vazão maior de gás. No entanto, em se tratando de uma proposta de quantificação multielementar, é necessário assumir uma

relação compromisso com a maioria dos analitos sendo a condição de 1,1 L/min considerada ótima para o método proposto.

Otimizou-se radiofrequência de 100W em 100W, iniciando em 800W até 1400W, no intuito em se obter o valor ótimo, compromisso entre os analitos, de radiofrequência para a realização das leituras no ICP-MS. O resultado obtido é apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Gráfico resultante da otimização da radiofrequência.



Como foi possível observar, o ponto em que apresenta melhor contagem para maioria dos elementos estudados está sob 1100W, sendo esta a condição considerada ótima para o método proposto. O Fe apresentou comportamento diferente dos demais, preferindo um plasma menos energético. O Al também requereu um plasma menos energético. Entretanto, em se tratando de uma proposta de quantificação multielementar, faz-se necessário assumir uma relação compromisso com a maioria dos analitos.

5.3 Parâmetros de mérito

Após a otimização do método proposto, avaliaram-se os parâmetros de mérito do método para a determinação dos elementos por ICP-MS. Para tal, fez-se necessário calcular o limite de detecção (LOD), utilizando os parâmetros da

curva de calibração. Realizou-se 10 leituras do branco da curva e obteve-se o desvio padrão, conforme preconiza a IUPAC, o limite de detecção instrumental, LOD, foi obtido a partir da multiplicação de 3,33 pelo desvio padrão das 10 leituras e divisão pela inclinação da reta da curva de calibração.

Para o cálculo de Limite de Quantificação (LOQ), multiplica-se o valor do LOD por 3,33. No entanto, para o cálculo de limite de detecção, foi considerado ainda o fator de diluição aplicado às amostras, que nesse caso foi de 2 vezes. Os limites encontrados estão apresentados na Tabela 3. Pode se perceber que todos os valores obtidos são baixos e atendem ao critério de serem menores que os valores preconizados na legislação vigente de potabilidade do Ministério da Saúde.³²

Tabela 3 - Limites de detecção e quantificação para os elementos selecionados considerando a metodologia proposta.

Isótopo	LOD, ug/L	LOQ, ug/L
²⁰⁸ Pb	0,01	0,03
¹¹¹ Cd	0,01	0,03
⁶⁸ Zn	0,4	1,2
⁶⁶ Zn	0,5	1,4
⁶⁰ Ni	0,05	0,15
⁵¹ V	0,01	0,03
⁵⁹ Co	0,001	0,003
¹⁰⁷ Ag	0,4	1,1
¹²¹ Sb	0,001	0,003
⁶³ Cu	0,03	0,09
⁵⁷ Fe	1	4
⁷⁵ As	0,02	0,06
²⁷ Al	3	9
⁸⁸ Sr	0,01	0,03
²⁰² Hg	2	6
⁵³ Cr	0,1	0,3
⁵² Cr	0,1	0,3

Fonte: Autoria própria, 2023

5.3.1 Avaliação da exatidão do método

Análise do material de referência certificado de água natural, NIST 1643e, foi realizada e os resultados encontra se mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados dos intervalos de confiança para 95% obtidos para o material de referência certificado, NIST 1643e, amostra de água natural. (n=3).

Isótopo	Certificado, µg/L	Obtido, µg/L
²⁰⁸ Pb	19,63 ± 0,21	17,2 ± 3,7
¹¹¹ Cd	6,568 ± 0,073	5,16 ± 0,71
⁶⁸ Zn	78,5 ± 2,2	83,0 ± 9,9
⁶⁶ Zn	78,5 ± 2,2	65,1 ± 9,1
⁶⁰ Ni	62,41 ± 0,69	58,6 ± 7,7
⁵¹ V	37,36 ± 0,59	36,8 ± 4,4
⁵⁹ Co	27,06 ± 0,32	25,0 ± 3,3
¹⁰⁷ Ag	1,062 ± 0,075	41,1 ± 6,6
¹²¹ Sb	58,30 ± 0,61	50,9 ± 7,7
⁶³ Cu	22,76 ± 0,31	20,6 ± 2,3
⁵⁷ Fe	98,1 ± 1,4	161 ± 26
⁷⁵ As	60,45 ± 0,72	41,4 ± 4,2
²⁷ Al	141,8 ± 8,6	136,1 ± 27,5
⁸⁸ Sr	323,1 ± 3,6	323,6 ± 65,4
²⁰² Hg	Ni	2,77 ± 0,78
⁵³ Cr	20,40 ± 0,24	20,3 ± 2,3
⁵² Cr	20,40 ± 0,24	21,1 ± 2,4

Fonte: Autoria própria, 2023.

Os resultados obtidos para o material certificado Nist 143e, na metodologia proposta foi considerado adequado e sem diferença significativa com os valores certificados considerando os intervalos de confiança obtidos para 95% de confiança para a maioria dos analitos. As exceções foram os analitos ⁶⁶Fe e ¹⁰⁷Ag não são concordantes com os valores certificados, possivelmente por interferências espectrais, uma vez que a amostra possui uma quantidade grande de elementos. Quanto ao zinco, devemos considerar os resultados para o isótopo 68 para as amostras reais, uma vez que há concordância entre os valores obtidos e certificados. Para o Cd, obtiveram-se menores que as certificadas, mesmo com o intervalo de confiança, possivelmente a amostra, já

vencida há alguns anos, pode ter perdas que podem explicar concentrações mais baixas.

Foi realizado adicionalmente teste de adição e recuperação, nas amostras reais de água de torneira e bebedouro. Foram enriquecidas amostras em 3 diferentes níveis de concentração, 15, 30 e 60 µg/L. Para as concentrações de 30 e 60 µg/L os percentuais de recuperação variaram entre 85% e 114% para todos os analitos estudados, conforme pode ser observado na Tabela 5. Para a concentração de 15 µg/L alguns analitos não apresentaram recuperações adequadas, menores que 80%, sendo eles Zn, Sb e Al. Este resultado foi considerado um erro grosseiro, possivelmente devido aos baixos volumes usados no enriquecimento e no caso do Al a concentração adicionada estava relativamente próxima do LOQ. Os resultados de avaliação da exatidão foram considerados adequados na metodologia otimizada. De forma que os analitos Pb, Cd, Zn (massa 68), Ni, V, Co, Ag, Sb, Cu, Fe, As, Al, Sr, Hg e Cr (massa 53) foram considerados nas determinações com as amostras reais de torneiras, bebedouros e poço por ICP - MS. A precisão foi avaliada pelo desvio padrão relativo (RSD) que se apresentou menor, 5% para as amostras.

Tabela 5 - Resultados obtidos para os testes de adição e recuperação.

<i>Concentrações em µg/L</i>						
<i>Analito</i>	<i>AB 0101</i>	<i>AB 0101 + 30 ppb</i>	<i>%Rec</i>	<i>AB 0102</i>	<i>AB 0102 + 60ppb</i>	<i>%Rec</i>
Pb	0,20	29,38	97	<LOQ	57,90	96
Cd	<LOQ	30,58	102	<LOQ	59,37	99
Zn	7,79	42,08	114	2,11	60,65	98
Zn	7,93	42,21	114	2,11	60,18	97
Ni	1,55	29,56	93	<LOQ	57,20	95
V	0,20	29,15	96	0,07	58,41	97
Co	0,01	28,10	94	0,01	56,95	95
Ag	2,53	30,71	94	0,02	55,48	92
Sb	0,01	29,79	99	<LOQ	59,82	100
Cu	4,26	29,88	85	0,87	58,26	96
Fe	20,97	48,77	93	22,60	87,60	108
As	0,12	30,65	102	0,08	59,74	99
Al	30,05	58,83	96	39,62	119,26	133
Sr	16,86	45,11	94	12,18	75,88	106
Hg	0,60	30,34	99	0,84	58,53	96
Cr	0,28	28,64	95	0,19	58,13	97
Cr	0,39	28,71	94	0,29	58,05	96

Fonte: Autoria própria, 2023.

5.4 Aplicação do método as amostras reais

A metodologia otimizada foi então aplicada a 49 amostras de águas de diferentes tipos (torneira, bebedouro e natural). Os resultados para todas as amostras e todos os analitos encontram-se nas Tabelas 6, 7 e 8. Com base nos resultados foi possível quantificar a maioria dos elementos. As concentrações de Cd e Hg em todas as amostras ficaram abaixo dos limites de quantificação, por este motivo foram excluídos das tabelas.

Tabela 6 - Resultados da determinação referente as concentrações obtidas em $\mu\text{g/L}$ para Pb, Cd, Zn, Ni e V em amostras de águas de torneira (AT), águas de bebedouro (AB) e águas de Poço (AP) por ICP-MS (n=3 instrumentais).

Cód.		Réplicas (data)	Pb	Zn	Ni	V
Estreito	AT0102	1 (15/04)	$0,18 \pm 0,02$	$14,4 \pm 0,2$	$1,02 \pm 0,01$	$0,93 \pm 0,05$
		2 (18/04)	$0,06 \pm 0,01$	$1,4 \pm 0,2$	$0,13 \pm 0,01$	$0,55 \pm 0,02$
		3 (15/05)	$0,04 \pm 0,01$	$4,4 \pm 0,2$	$0,21 \pm 0,03$	$0,46 \pm 0,01$
	AB0202	1 (15/04)	$0,05 \pm 0,03$	$12,5 \pm 0,7$	$0,21 \pm 0,06$	$0,02 \pm 0,01$
		2 (25/04)	$0,23 \pm 0,01$	$47,2 \pm 0,1$	$1,30 \pm 0,04$	$0,11 \pm 0,02$
		3 (15/05)	$0,98 \pm 0,03$	60 ± 1	$1,75 \pm 0,06$	$0,12 \pm 0,01$
	AT0202	1 (15/05)	$1,80 \pm 0,07$	1507 ± 7	$3,61 \pm 0,06$	$1,09 \pm 0,04$
		2 (23/05)	$0,71 \pm 0,05$	35 ± 2	$14,49 \pm 0,03$	49 ± 3
Santo Amaro	AP0107	1 (27/04)	$0,21 \pm 0,01$	$5,3 \pm 0,4$	$0,45 \pm 0,02$	$0,65 \pm 0,02$
		2 (23/04)	$0,10 \pm 0,01$	$2,0 \pm 0,2$	$0,13 \pm 0,02$	$0,52 \pm 0,01$
		3 (14/05)	$0,70 \pm 0,18$	$5,3 \pm 0,4$	$0,37 \pm 0,08$	44 ± 2
	AT0207	1 (15/04)	$0,07 \pm 0,02$	$2,5 \pm 0,3$	$0,32 \pm 0,02$	34 ± 3
		2 (11/05)	$0,33 \pm 0,06$	$3,8 \pm 0,2$	$0,29 \pm 0,01$	$36,2 \pm 0,6$
		3 (05/06)	$0,19 \pm 0,00$	22 ± 1	$0,91 \pm 0,08$	$2,8 \pm 0,2$
Centro Florianópolis	AB 0203	1 (15/04)	$0,29 \pm 0,01$	$37,8 \pm 0,3$	$0,81 \pm 0,04$	$0,18 \pm 0,01$
		2 (25/04)	$0,23 \pm 0,01$	$<1,2$	$0,36 \pm 0,03$	$0,19 \pm 0,01$
		3 (14/05)	$0,36 \pm 0,01$	$3,1 \pm 0,2$	$1,31 \pm 0,02$	$<0,15$
	AB0303	1 (25/04)	$1,73 \pm 0,05$	85 ± 1	$1,3 \pm 0,1$	$0,82 \pm 0,01$
		2 (28/04)	$0,42 \pm 0,03$	$74,4 \pm 0,7$	$10,33 \pm 0,03$	$0,60 \pm 0,01$
		3 (14/05)	$0,42 \pm 0,02$	65 ± 2	$8,2 \pm 0,1$	$0,49 \pm 0,03$
	AT0103	1 (17/04)	$0,14 \pm 0,01$	$6,58 \pm 0,03$	$0,28 \pm 0,01$	$0,19 \pm 0,03$
		2 (20/04)	$0,22 \pm 0,01$	$8,2 \pm 0,4$	$0,37 \pm 0,01$	$0,24 \pm 0,02$
		3 (22/04)	$0,27 \pm 0,01$	$9,36 \pm 0,07$	$0,40 \pm 0,05$	$0,26 \pm 0,01$
Jurerê	AT0106	1 (15/04)	$0,16 \pm 0,01$	$9,2 \pm 0,3$	$1,85 \pm 0,03$	$1,6 \pm 0,1$
		2 (30/04)	$0,12 \pm 0,01$	$11,7 \pm 0,2$	$2,02 \pm 0,04$	$1,27 \pm 0,07$
		3 (14/05)	$0,20 \pm 0,03$	41 ± 2	$3,1 \pm 0,1$	$0,65 \pm 0,02$
	AT0306	1 (23/04)	$0,55 \pm 0,01$	$35,8 \pm 0,8$	$14,3 \pm 0,3$	51 ± 1
	AT0206	1 (15/04)	$0,10 \pm 0,02$	$4,6 \pm 0,3$	$2,06 \pm 0,08$	$2,7 \pm 0,2$

		2 (30 /04)	0,05 ± 0,01	11,2 ± 0,4	1,99 ± 0,03	1,16 ± 0,06
		3 (14/05)	0,76 ± 0,04	263 ± 3	10 ± 1	1,13 ± 0,07
Canasvieiras	AT0305	1 (30/04)	< 0,03	13,2 ± 0,3	7,5 ± 0,3	0,50 ± 0,02
		2 (10/05)	0,07 ± 0,01	28 ± 1	14 ± 1	0,52 ± 0,04
		3 (14/05)	0,06 ± 0,01	5,8 ± 0,4	0,64 ± 0,03	0,44 ± 0,02
	AT02005	1 (30/04)	0,74 ± 0,10	18 ± 2	3,7 ± 0,3	2,9 ± 0,6
		2 (10/05)	0,89 ± 0,08	22,3 ± 0,8	3,9 ± 0,4	2,3 ± 0,1
		3 (14/05)	0,64 ± 0,05	18 ± 1	4,4 ± 0,3	2,7 ± 0,1
	AT0105	1 (30/04)	0,17 ± 0,01	12,3 ± 0,5	0,72 ± 0,04	0,74 ± 0,01
		2 (10/05)	0,10 ± 0,01	15 ± 1	0,38 ± 0,03	0,58 ± 0,02
		3 (14/05)	0,58 ± 0,03	58 ± 2	1,27 ± 0,05	0,68 ± 0,02
Capoeiras	AT0101	1 (11/04)	0,52 ± 0,00	7,6 ± 0,6	0,46 ± 0,05	0,25 ± 0,02
		2 (25/04)	0,22 ± 0,01	11,1 ± 0,5	1,13 ± 0,04	0,23 ± 0,01
		3 (15/05)	0,21 ± 0,01	4,2 ± 0,2	0,79 ± 0,03	0,10 ± 0,01
	AB0101	1 (11/04)	1,44 ± 0,03	25,8 ± 0,9	2,21 ± 0,07	1,05 ± 0,03
		2 (25/04)	0,56 ± 0,00	15,4 ± 0,5	0,95 ± 0,02	0,69 ± 0,03
		3 (15/05)	0,48 ± 0,01	16,3 ± 0,3	3,23 ± 0,06	0,45 ± 0,01
	AT0201	1 (28/04)	0,28 ± 0,01	10,4 ± 0,3	1,94 ± 0,04	0,16 ± 0,02
		2 (14/05)	0,11 ± 0,02	22,0 ± 0,4	0,71 ± 0,03	0,33 ± 0,01
		3 (14/05)	0,33 ± 0,10	63 ± 4	0,44 ± 0,02	35 ± 2
	AT0101	1 (11/04)	0,52 ± 0,00	7,6 ± 0,6	0,46 ± 0,05	0,25 ± 0,02
		2 (25/04)	0,22 ± 0,01	11,1 ± 0,5	1,13 ± 0,04	0,23 ± 0,01
		3 (14/05)	0,21 ± 0,01	4,2 ± 0,2	0,79 ± 0,03	0,10 ± 0,01

Fonte: Autoria própria, 2023.

Tabela 7 - Resultados da determinação referente as concentrações obtidas em $\mu\text{g/L}$ para Co, Ag, Sb e Cu em amostras de águas de torneira (AT), águas de bebedouro (AB) e águas de Poço (AP) por ICP-MS (n=3).

	Cód.	Réplicas (data)	Co	Ag	Sb	Cu
Estreito	AT0102	1 (15/04)	0,034 ± 0,001	<1,0	0,013 ± 0,001	0,94 ± 0,04
		2 (18/04)	0,024 ± 0,001	<1,0	<0,001	0,40 ± 0,01
		3 (15/05)	0,014 ± 0,001	< 1,0	0,004 ± 0,001	1,74 ± 0,04
	AB0202	1 (15/04)	0,008 ± 0,001	197,8 ± 0,5	0,009 ± 0,001	0,09 ± 0,02
		2 (25/04)	0,037 ± 0,001	275 ± 3	0,31 ± 0,01	0,89 ± 0,03
		3 (15/05)	0,038 ± 0,001	353 ± 2	5,40 ± 0,06	1,35 ± 0,05
	AT0202	1 (15/05)	0,026 ± 0,001	2,5 ± 0,2	0,018 ± 0,001	24,0 ± 0,2
		2 (23/05)	0,051 ± 0,001	0,9 ± 0,2	0,10 ± 0,01	4,69 ± 0,06
Santo Amaro	AP0107	1 (27/04)	0,019 ± 0,001	< 1,0	0,005 ± 0,001	0,60 ± 0,01
		2 (23/04)	0,012 ± 0,001	< 1,0	0,022 ± 0,001	0,10 ± 0,02
		3 (14/05)	0,089 ± 0,001	< 1,0	0,051 ± 0,010	0,8 ± 0,1
	AT0207	1 (15/04)	0,008 ± 0,001	< 1,0	0,012 ± 0,001	0,25 ± 0,01
		2 (11/05)	0,016 ± 0,001	< 1,0	0,018 ± 0,001	20 ± 1
		3 (05/06)	0,007 ± 0,001	< 1,0	0,069 ± 0,001	2,07 ± 0,05

Centro Florianópolis	AB 0203	1 (15/04)	0,032 ± 0,001	1,5 ± 0,1	10,2 ± 0,1	2,83 ± 0,05
		2 (25/04)	0,059 ± 0,001	< 1,0	0,008 ± 0,001	0,82 ± 0,02
		3 (14/05)	0,006 ± 0,001	< 1,0	0,04 ± 0,01	0,913 ± 0,001
	AB0303	1 (25/04)	0,18 ± 0,02	26,8 ± 0,9	0,24 ± 0,01	8,5 ± 0,1
		2 (28/04)	0,034 ± 0,001	1,8 ± 0,4	0,155 ± 0,001	3,64 ± 0,04
		3 (14/05)	0,05 ± 0,01	2,7 ± 0,2	0,13 ± 0,01	3,45 ± 0,1
	AT0103	1 (17/04)	0,034 ± 0,001	< 1,0	<0,001	0,62 ± 0,03
		2 (20/04)	0,024 ± 0,001	< 1,0	<0,001	1,16 ± 0,02
		3 (22/04)	0,023 ± 0,001	0,20 ± 0,02	<0,001	1,81 ± 0,04
Jurerê	AT0106	1 (15/04)	0,140 ± 0,001	< 1,0	0,07 ± 0,01	3,03 ± 0,06
		2 (30/04)	0,10 ± 0,01	< 1,0	0,080 ± 0,001	2,85 ± 0,08
		3 (14/05)	0,029 ± 0,001	< 1,0	0,028 ± 0,001	3,13 ± 0,02
	AT0306	1 (23/04)	0,054 ± 0,001	< 1,0	0,101 ± 0,001	4,67 ± 0,09
		1 (15/04)	0,087 ± 0,001	< 1,0	0,075 ± 0,001	1,02 ± 0,03
	AT0206	2 (30 /04)	0,032 ± 0,001	< 1,0	0,06 ± 0,01	1,18 ± 0,03
		3 (14/05)	0,070 ± 0,001	< 1,0	0,048 ± 0,001	2,2 ± 0,2
Canasvieiras	AT0305	1 (30/04)	0,09 ± 0,01	< 1,0	<0,001	0,59 ± 0,03
		2 (10/05)	0,12 ± 0,02	< 1,0	<0,001	1,9 ± 0,3
		3 (14/05)	0,052 ± 0,001	< 1,0	<0,001	0,213 ± 0,001
	AT02005	1 (30/04)	0,098 ± 0,001	< 1,0	<0,001	2,9 ± 0,4
		2 (10/05)	0,097 ± 0,001	< 1,0	<0,001	2,6 ± 0,1
		3 (14/05)	0,14 ± 0,01	< 1,0	<0,001	3,0 ± 0,2
	AT0105	1 (30/04)	0,53 ± 0,02	< 1,0	0,007 ± 0,001	1,77 ± 0,05
		2 (10/05)	0,13 ± 0,01	< 1,0	<0,001	0,94 ± 0,06
		3 (14/05)	0,43 ± 0,02	< 1,0	0,007 ± 0,0010	4,8 ± 0,2
Capoeiras	AT0101	1 (11/04)	0,099 ± 0,010	< 1,0	0,015 ± 0,001	1,15 ± 0,01
		2 (25/04)	0,087 ± 0,010	< 1,0	0,015 ± 0,001	1,21 ± 0,02
		3 (15/05)	0,016 ± 0,001	2,03 ± 0,06	<0,001	0,97 ± 0,07
	AB0101	1 (11/04)	0,18 ± 0,01	14,9 ± 0,6	0,016 ± 0,001	2,89 ± 0,06
		2 (25/04)	0,017 ± 0,001	7,3 ± 0,1	0,015 ± 0,001	5,2 ± 0,1
		3 (15/05)	0,024 ± 0,001	5,82 ± 0,05	0,011 ± 0,001	8,77 ± 0,07
	AT0201	1 (28/04)	0,047 ± 0,001	< 1,0	0,005 ± 0,001	0,97 ± 0,03
		2 (14/05)	0,03 ± 0,01	< 1,0	0,004 ± 0,001	0,76 ± 0,02
		3 (14/05)	0,023 ± 0,001	< 1,0	0,022 ± 0,001	1,44 ± 0,02
	AT0101	1 (11/04)	0,10 ± 0,01	< 1,0	0,015 ± 0,001	1,15 ± 0,01
		2 (25/04)	0,09 ± 0,01	< 1,0	0,015 ± 0,001	1,21 ± 0,02
		3 (14/05)	0,016 ± 0,001	2,03 ± 0,06	<0,001	0,97 ± 0,07

Fonte: Autoria própria, 2023.

Tabela 8 - Resultados da determinação referente as concentrações obtidas em $\mu\text{g/L}$ para Fe, As, Al, Sr e Cr em amostras de águas de torneira (AT), águas de bebedouro (AB) e águas de Poço (AP) por ICP-MS (n=3).

	Cód.	Rép. (data)	Fe	As	Al	Sr	Cr
Est. 14	AT0102	1 (15/04)	64 ± 1	0,39 ± 0,03	96 ± 1	40,0 ± 0,5	2,9 ± 0,2

	AB0202	2 (18/04)	24,9 ± 0,5	0,20 ± 0,04	38,1 ± 0,2	18,7 ± 0,2	1,86 ± 0,08
		3 (15/05)	46 ± 1	0,24 ± 0,03	79 ± 5	26,2 ± 0,2	1,51 ± 0,08
		1 (15/04)	10 ± 2	0,038 ± 0,00	11,8 ± 0,3	9,5 ± 0,2	0,09 ± 0,02
		2 (25/04)	28 ± 1	0,14 ± 0,02	139 ± 3	22,8 ± 0,3	0,62 ± 0,05
		3 (15/05)	30 ± 1	0,14 ± 0,01	106,8 ± 0,4	21,96 ± 0,06	0,39 ± 0,02
		1 (15/05)	21,8 ± 0,4	0,32 ± 0,02	31 ± 1	22,7 ± 0,3	4,2 ± 0,1
	AT0202	2 (23/05)	61 ± 3	30 ± 1	112 ± 2	45,2 ± 0,2	174 ± 11
Santo Amaro	AP0107	1 (27/04)	19,6 ± 0,8	< 0,02	14 ± 1	7,96 ± 0,08	1,06 ± 0,09
		2 (23/04)	16 ± 1	< 0,02	< 9,0	6,50 ± 0,07	0,77 ± 0,05
		3 (14/05)	305 ± 94	27 ± 1	202 ± 41	6,5 ± 0,7	153 ± 6
	AT0207	1 (15/04)	19 ± 1	19,7 ± 0,7	3,6 ± 0,2	29,47 ± 0,06	120 ± 8
		2 (11/05)	20 ± 1	19,8 ± 0,4	4,9 ± 0,3	27,6 ± 0,2	126 ± 3
		3 (05/06)	4 ± 1	0,36 ± 0,04	15,3 ± 0,4	8,17 ± 0,09	7,5 ± 0,5
Centro Florianópolis	AB 0203	1 (15/04)	45 ± 2	0,18 ± 0,02	64 ± 5	9,4 ± 0,1	0,45 ± 0,06
		2 (25/04)	35 ± 2	0,21 ± 0,02	55 ± 1	2,69 ± 0,01	0,59 ± 0,02
		3 (14/05)	12 ± 1	< 0,02	20,9 ± 0,4	1,58 ± 0,01	< 0,3
	AB0303	1 (25/04)	80 ± 2	0,39 ± 0,02	128 ± 6	129 ± 3	1,3 ± 0,3
		2 (28/04)	44 ± 1	0,30 ± 0,02	25,7 ± 0,6	99 ± 1	1,1 ± 0,1
		3 (14/05)	31,3 ± 0,1	0,24 ± 0,01	24,0 ± 0,1	80,9 ± 0,6	0,97 ± 0,04
	AT0103	1 (17/04)	39 ± 1	0,17 ± 0,03	74 ± 1	35,2 ± 0,2	0,63 ± 0,09
		2 (20/04)	48 ± 1	0,23 ± 0,03	143 ± 8	48,0 ± 0,3	0,64 ± 0,1
		3 (22/04)	50,5 ± 0,4	0,23 ± 0,03	135 ± 6	48,3 ± 0,2	0,78 ± 0,06
Jurerê	AT0106	1 (15/04)	99 ± 1	0,79 ± 0,03	18,2 ± 0,2	337 ± 2	4,2 ± 0,4
		2 (30/04)	105 ± 2	0,68 ± 0,04	22,1 ± 0,2	343 ± 6	3,1 ± 0,2
		3 (14/05)	35,6 ± 0,3	0,27 ± 0,01	7,21 ± 0,02	105,5 ± 0,9	2,0 ± 0,1
	AT0306	1 (23/04)	62 ± 2	30,3 ± 0,2	107 ± 6	45,6 ± 0,7	183 ± 4
		1 (15/04)	111 ± 3	1,1 ± 0,1	19,1 ± 0,9	367 ± 3	8,3 ± 0,8
	AT0206	2 (30 /04)	48 ± 3	0,36 ± 0,02	9,8 ± 0,3	135 ± 1	3,7 ± 0,2
Canasvieiras	AT0305	3 (14/05)	48 ± 3	0,36 ± 0,02	9,8 ± 0,3	135 ± 1	3,7 ± 0,2
		1 (30/04)	18,7 ± 0,8	0,09 ± 0,02	90 ± 3	19,6 ± 0,8	1,8 ± 0,1
		2 (10/05)	32 ± 4	0,127 ± 0,001	129 ± 12	28 ± 2	1,81 ± 0,08
	AT02005	3 (14/05)	7,6 ± 0,3	0,08 ± 0,01	81,9 ± 0,7	9,6 ± 0,1	1,5 ± 0,1
		1 (30/04)	207 ± 19	1,6 ± 0,4	< 9,0	544 ± 50	10 ± 2
		2 (10/05)	205 ± 17	1,41 ± 0,04	< 9,0	573 ± 35	8,6 ± 0,4
	AT0105	3 (14/05)	278 ± 22	2,23 ± 0,1	< 9,0	868 ± 46	9,8 ± 0,4
		1 (30/04)	167 ± 4	0,35 ± 0,01	655 ± 15	87 ± 2	2,43 ± 0,09
		2 (10/05)	21 ± 1	0,12 ± 0,01	90 ± 6	25 ± 2	2,0 ± 0,2
Capoeiras	AT0101	3 (14/05)	4,4 ± 0,1	0,29 ± 0,02	328,5	88 ± 5	2,29 ± 0,09
		1 (11/04)	68,9 ± 0,4	0,27 ± 0,03	150 ± 2	36,4 ± 0,5	0,67 ± 0,02
		2 (25/04)	52 ± 1	0,21 ± 0,00	194 ± 2	27,6 ± 0,2	0,65 ± 0,07
	AB0101	3 (15/05)	25,1 ± 0,7	0,14 ± 0,01	27 ± 4	17,07 ± 0,08	0,42 ± 0,07
		1 (11/04)	251 ± 3	0,55 ± 0,02	1024 ± 6	35,1 ± 0,1	0,7 ± 0,1
		2 (25/04)	32 ± 1	0,26 ± 0,02	54 ± 4	33,3 ± 0,1	0,47 ± 0,04
	AT0201	3 (15/05)	45 ± 2	0,22 ± 0,01	60,8 ± 0,7	36,1 ± 0,2	0,60 ± 0,05
		1 (28/04)	35,2 ± 0,1	0,12 ± 0,01	143 ± 2	15,83 ± 0,07	0,47 ± 0,04

AT0101	2 (14/05)	61 ± 1	0,25 ± 0,02	63 ± 5	34,05 ± 0,05	0,70 ± 0,06
	3 (14/05)	64,7 ± 0,7	21,5 ± 0,6	64 ± 3	36,7 ± 0,2	122 ± 6
	1 (11/04)	68,9 ± 0,4	0,27 ± 0,03	150 ± 2	36,4 ± 0,5	0,67 ± 0,02
	2 (25/04)	52 ± 1	0,214 ± 0,001	194 ± 2	27,6 ± 0,2	0,66 ± 0,07
	3 (14/05)	25,1 ± 0,7	0,14 ± 0,01	27 ± 4	17,07 ± 0,08	0,42 ± 0,07

Fonte: Autoria própria, 2023.

Os resultados nos permitem conhecer mais das matrizes coletadas, possibilitando dessas formas a comparação das concentrações obtidas com valores propostos na legislação vigente Portaria MS/GM 888, de 4 de maio de 2021, uma vez que resultados acima do preconizado podem resultar em riscos para a saúde humana e na qualidade das águas. Salienta-se que dos 14 metais selecionados, três não possuem valores preconizados na legislação: V, Ag e Sr e apresentaram concentrações em diversas amostras.

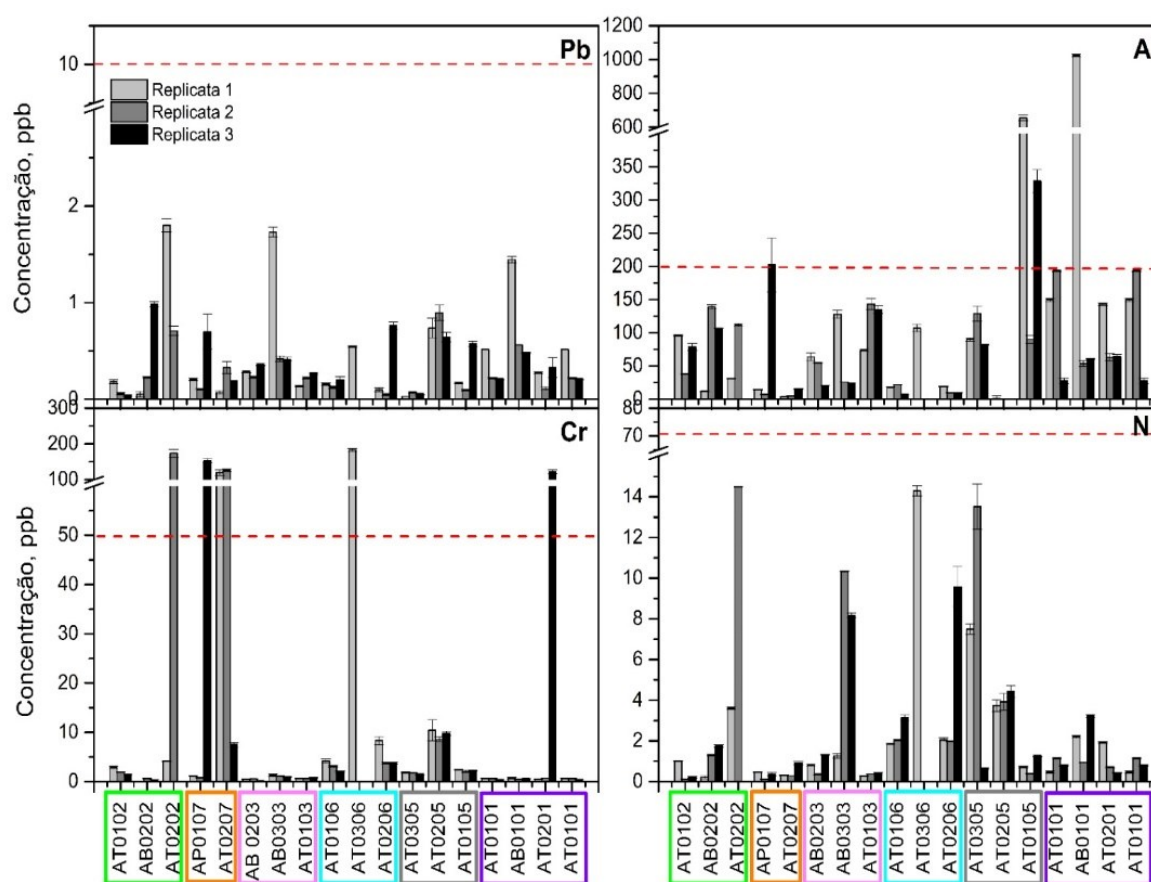
A matriz água é um fator bastante variante e peculiar, já que ela sofre modificações de fatores geológicos que a circunda e de fatores antrópicos. As amostras foram coletadas em 6 diferentes bairros, dentre eles, Jurerê que possui sua própria estação de tratamento. Além disso, as águas coletadas não provêm de uma única adutora. A situação de cada tubulação que funciona como rede de distribuição nas casas pode contribuir para as concentrações encontradas. Todavia, considerando os diferentes dias amostrados chama atenção a variabilidade das concentrações nos diferentes dias para mesma residência.

Os resultados obtidos são preliminares, uma maior amostragem e com planejamento das réplicas se faz necessário para conclusões mais aprofundadas. Porém, demonstram que em alguns pontos a água não atende os padrões de potabilidade. Dessa forma, a população pode estar exposta à água com qualidade corrompida para os elementos como Al, Cr, Sb. As e Fe, o que a longo prazo pode acarretar danos à Saúde. As Figuras 5 e 6, demonstram um comparativo entre os resultados obtidos com os valores preconizados (linhas tracejadas).

Nesse sentido, o Alumínio pode estar presente naturalmente na água. Entretanto, águas tratadas e distribuídas recebem a adição de sulfato de alumínio na forma solúvel, nos processos de tratamento como coagulante e sendo também utilizado na floculação e filtração, para tornar a água mais

límpida, eliminando elementos particulados eventualmente nocivos à saúde humana. A concentração proposta pela OMS é de 200 ppb de Al, tendo como critério principalmente o aspecto de gosto da água. Porém, a presença deste elemento na água levanta dúvida em relação aos efeitos que pode ter na saúde a longo prazo. O alumínio tem sido frequentemente associado à etiologia ou patogênese da doença de Alzheimer, não sendo ainda possível referi-lo como elemento causal da doença.³⁸

Figura 5 - Resultados da determinação de Pb, Al, Cr e Ni comparados com seus respectivos VPM.

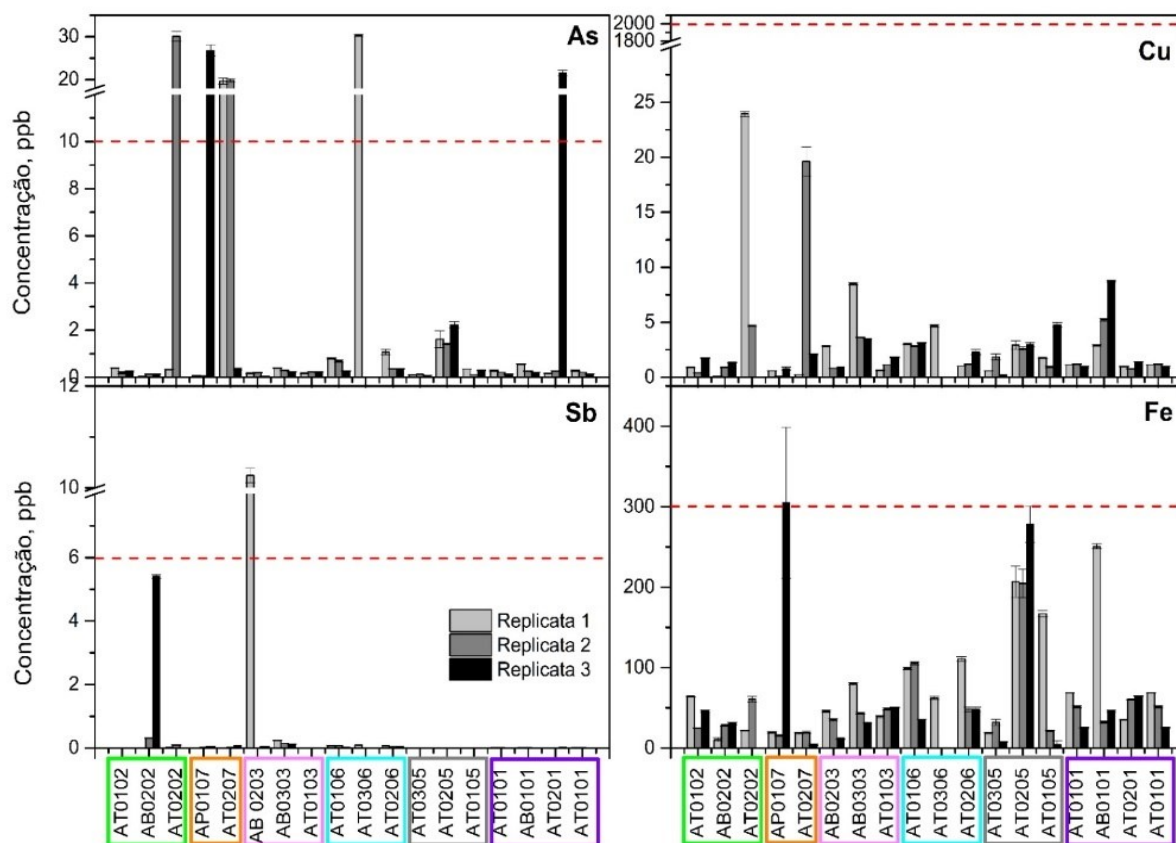


Fonte: Autoria própria, 2023.

As amostras AT0105 e AB0101 apresentam-se com os valores acima do limite permitido. Já as amostras AP0107 e AT0101 apresentam-se no limite. Este elemento, assim como o Fe, é um dado que requer atenção, uma vez que apresenta resultados inadequados quando determinados no CRM, mas bateram com os resultados de recuperação.

O Cromo é classificado como cancerígeno para o ser humano pela Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC). A toxicidade do cromo, segundo a OMS (Organização Mundial da Saúde), está limitada aos compostos hexavalentes (Cromo VI). Apesar da Organização Mundial da Saúde (OMS) estabelecer o limite para o consumo humano, de 50 ppb por litro, não há estudos científicos que comprovem qual o nível de cromo ingerido pode vir causar a doença. O consumo de água contendo cromo hexavalente pode resultar em reações alérgicas, úlceras, redução de respostas do sistema imune, câncer e outras alterações do material genético ^{8,43,44} Esse elemento se apresentou em concentrações elevadas para cinco das amostras AT0201, AT0306, AT0207, AT0202 e AP0107.

Figura 6 - Resultados da determinação de As, Sb, Fe e Cu comparados com seus respectivos VPM.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Um aumento do pH pode elevar a concentração do arsênio dissolvido na água. A exposição crônica ao arsênio por ingestão de água potável está

relacionada com aumento do risco para câncer de pele, pulmão, bexiga e rins, bem como outras alterações dérmicas.⁸ O aumento do risco para câncer de pulmão e bexiga e lesões de pele está associado com ingestão de água potável contendo concentrações ≤ 10 ppb de arsênio por litro. As análises mostram que em 5 amostras há a exposição constante com valores acima de 10ppb, AT0202, AT0207, AT0306 e AT0201.

A principal fonte de antimônio na água potável parece ser a dissolução do metal em encanamentos e acessórios. A forma do antimônio na água potável é o fator determinante da sua toxicidade e, aparentemente, o antimônio lixiviado de materiais contendo o metal está na forma antimônio (V) ânion, que é menos tóxico que o antimônio (III) a exposição a esse metal. Os sais solúveis de antimônio, após ingresso oral, exercem forte efeito irritante na mucosa gástrica e provocam vômito, além de cólica abdominal, diarreia e toxicidade cardíaca. Na análise apenas uma amostra (AB0203) apresentou altas concentrações deste metal.⁴⁴

Dessa forma, o presente estudo serve como referência e embasamento para um olhar mais consciente sobre a qualidade da água potável, fornecida na região de Florianópolis. Uma vez que este é apenas uma avaliação inicial que permite uma primeira análise devido o número de amostra coletadas. Os resultados demonstram que a população está possivelmente exposta a esses metais, pois o padrão de potabilidade de algumas amostras não se enquadra nos valores legislados.

6. CONCLUSÃO

A metodologia proposta baseou-se na simples diluição das amostras de água em um fator de duas vezes, e análise direta no ICP-MS. A escolha dos analitos se deu mediante análise semiquantitativa em amostras reais, assim como a avaliação dos principais analitos legislados para potabilidade de água pelo Ministério da Saúde (Portaria MS/GM 888, de 4 de maio de 2021).

Os resultados evidenciaram que há metais presentes em águas, em especial as distribuídas pela companhia, não sendo possível afirmar se estes estão presentes desde à sede de distribuição ou se são lixiviados das tubulações

das residências e propriedades amostradas. Elementos como Sb, Al, As e Cr estiveram acima da legislação nacional em algumas amostras. De forma geral, ao considerar legislações mais rigorosas, mais elementos podem ser enquadrados como problemáticos.

Portanto, este trabalho contribui para o alerta de que faz-se necessário um controle maior sobre a qualidade da água potável destinada ao abastecimento público ao município da Grande Florianópolis. Apesar destes resultados não serem determinantes para conclusões sobre a qualidade dessas águas, visto que se necessita de uma maior amostragem, fica a problemática de que pontualmente, em nossas casas, temos acesso a uma água que não atende os valores preconizados.

REFERÊNCIAS

1. VELHO, Jesus Antônio; GEISER, Gustavo Caminoto; ESPINDULA, Alberi. 2021. Ciências Forenses. Campinas/SP: Millenium
2. ASHBOLT NJ. *Microbial contamination of drinking water and disease outcomes in developing regions*. Toxicol. 2004; 198 (1- 3): 229-38.
3. BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS / *Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde*. – Brasília: Funasa, 2014. Disponível em:
<http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38937/Manual+de+controle+da+qualidade+da+%C3%A1gua+para+t%C3%A9cnicos+que+trabalham+em+ETAS+2014.pdf/85bbdcbb-8cd2-4157-940b-90b5c5bcfc87>. Acesso em: 23 nov. 2022.
4. BRASIL. Plano Nacional de Recursos Hídricos. *Águas para o futuro: cenário para 2020: Volume 2* / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília: MMA, 2006.
5. BRASIL. Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005. *Conselho Nacional de Meio Ambiente*. Disponível em:
www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf. Acesso em: 10 nov.22.
6. BRASIL. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. *Conselho Nacional de Meio Ambiente*. Disponível em:
http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=627. Acesso em: 10 nov. 2022.
7. MARTINS, Bruno Spinosa de; OLIVEIRA, Marcelo Firmino de. **Química Forense experimental**. São Paulo: Cengage Learning, 2015. 409 pg.
8. CETESB. *Ficha de Informação Toxicológica (FIT) – Crômio e seus compostos*. Publicado em jul. 2012b. Atualizado em mar. 2017. Disponível em:

<https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Cromio.pdf>. Acesso em: 09 junho 2023.

9. BABIERI, C.B.; BITTENCOURT, P.A.L.; MORISSO, E.D. Exames periciais em meio ambiente. *in*: TOCCHETO, D.; ESPINDULA (ORG). **Criminalística: procedimentos e metodologias**. 2. ed. Porto Alegre, p 143-156, 2009.

10. Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html. Acesso em: 20 nov. 2022.

11. CAMPOS, José Roberto; REALI, Marco Antonio P.; DANIEL, Luiz Antonio. Conceitos gerais sobre técnicas de tratamento de águas de abastecimento, esgotos sanitários e desinfecção. 2005.

12. CORNELLI, Renata et al. Métodos de tratamento de esgotos domésticos: Uma revisão sistemática. **Revista de estudos ambientais**, v. 16, n. 2, p. 20-36, 2015.

13. DORIA, H. B.; VOIGT, C. L.; CAMPOS, S. X.; RANDI, M. A. F. Metal pollution assessment in a Brazilian hydroelectric reservoir: *Geophagus brasiliensis* as a suitable bioindicator organismo. *Rev. 28 Ambient. Água*. Taubaté, v.12, n.4, p. 575-590, 2017.

14. RAMOS, A. M.; FRANCO, A. R. J. C. Determinação de metais em águas de abastecimento público: um estudo de caso, município de Ouro Preto/MG. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 9, n. 4, p. 192-199, 2018.

15. EUR-Lex. Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council. 2020. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj>. Acesso em: 15 maio 2023.

16. DOS SANTOS AZEVEDO, Lariza. APROVEITAMENTO DOS SUBPRODUTOS GERADOS NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE JUIZ DE FORA.

17. RIBEIRO, Wladimir António. O saneamento básico como um direito social. **Revista de Direito Público da Economia–RDPE, Belo Horizonte**, ano, v. 13, p. 229-251, 2015.

18. IUPAC. *Technical Report - Pure Appl. Chem.*, Vol. 74, No. 5, pp. 793–807, 2002.

19. FRIZZO, S. J., *Elementos químicos (metais pesados) em águas de abastecimento público no estado do Ceará*. (2006).

20. HARBISON, D.; Hardy's, Hamilton & Hardy's Industrial Toxicology; Fifth edition; Mosby; 47-49; 70-75; 84-93.

21. HENRY, J. G.; HEINKE, G.W., Environmental Science and Engineering, 2^a. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996.

22. MANAHAN, S. E. *Environmental Science and Technology*. New York: Lewis Publishers, 1997.

23. MASINDI, V.; MUEDI, K. L. *Environmental Contamination by Heavy Metals*. 2018. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/60680>. Acesso em: 25 out. 2021.

24. HOWARD, A. G. *Aquatic Environmental Chemistry*. New York: Oxford Science Publications, 1998.

25. SILVA, Francy Roger Araújo da; AMARAL, Sergio Pinto. Avaliação de processos de adsorção de metais pesados: um estudo experimental com propostas de utilização de subprodutos. **Niterói: UFF**, p. 63-90, 2005.

26. MILLER, M.E.; HAMANN, M.; KROON, F.J. *Bioaccumulation and biomagnification of microplastics in marine organisms: a review and meta-analysis of current data*, Published online 2020 Oct 16, p 01-25
27. HESPANHOL, Ivanildo. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos avançados**, v. 22, p. 131-158, 2008.
28. LIBÂNIO, M.; SPERLING, E. V; BASTOS R. K. X; HELLER, L; BORJA, P. C, *vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano*. 2006. Elaborado por ministério da saúde. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf. Acesso em: 20 set. 2022.
29. MICHEREFF, S. J.; Controle Químico de Doenças de Plantas. In: *Fundamentos de Fitopatologia*. Universidade Federal Rural de Pernambuco – Departamento de Agronomia – Área de Fitossanidade – Fitopatologia I; 2204. Disponível em: https://www.academia.edu/27903475/UNIVERSIDADE_FEDERAL_RURAL_DE_PERNAMBUCO_DEPARTAMENTO_DE_AGRONOMIA. Acesso em: 23 outubro 2022
30. GUERRA, Fernando. **Cádmio na cadeia alimentar: proveniente de vegetais e avaliação da sua disponibilidade no solo com auxílio do ^{109}Cd** . 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
31. TAMASI, G.; Renzo CINI, R., Heavy metals in drinking waters from Mount Amiata (Tuscany, Italy). Possible risks from arsenic for public health in the Province of Siena, *Science of The Total Environment*, Volume 327, Issues 1–3, 2004, Pages 41-5.
32. TUCCI, C.E.M. *Gestão de águas pluviais urbanas* Ministério das Cidades – Global Water Partnership, World Bank, Unesco, 2005.

33. UFSC na mídia: metais pesados, hormônios e agrotóxicos estão na água que chega às torneiras. *Notícias UFSC*, 2018. Disponível em: <https://noticias.ufsc.br/2018/03/ufsc-na-midia-metais-pesados-hormonios-e-agrotoxicos-estao-na-agua-que-chega-as-torneiras/>. Acesso em: 24 nov. 2022.
34. Zakir, H., Shaila Sharmin, S. S., & Rahman, M. S. (22 de setembro de 2020). Assessment of health risk of heavy metals and water quality indices for irrigation and drinking suitability of waters: a case study of Jamalpur Sadar area, Bangladesh. *Environmental Advances*, p. 14.
35. AUGUSTO, Fabio. Sub-produtos de desinfecção de águas potáveis: antigos e novos desafios. *Scientia Chromatographica*, v. 2, p. 59-69, 2010.
36. OLIVEIRA, C., de. *Metais pesados, hormônios e agrotóxicos estão na água que chega às torneiras*. 2018. Disponível em: <https://www.redebrasilatual.com.br/saude-e-ciencia/esgoto-hormonios-metais-pesados-e-agrotoxicos-estao-em-amostras-de-agua-que-chega-as-torneiras/>. Acesso em: 21 nov. 2022.
37. ANA ARANHA. Exclusivo: água da torneira foi contaminada com produtos químicos e radioativos em 763 cidades. 2022. Disponível em: <https://reporterbrasil.org.br/2022/03/exclusivo-agua-da-torneira-foi-contaminada-com-produtos-quimicos-e-radioativos-em-763-cidades/>. Acesso em: 22 jun. 2023.
38. ROSALINO, M. R. R. *Potenciais efeitos da presença de alumínio na água de consumo humano*. Orientadora: Maria Gabriela L. S. Féria de Almeida. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, 2011. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/303714863.pdf>. Acesso em: 12 maio 2023.
39. SOUSA, Michelle Matos de; A. S. P. S., 2016. *Água potável, água residuária e saneamento no Brasil e na Holanda no âmbito do Programa de Visitação Holandês* - DVP: Dutch Visitors Programme. junho, p. 9

40. SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. *Princípios de Análise Instrumental*. 6ª ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2009.
41. Kashani, A., Mostaghimi, J., Aerosol characterization of concentric pneumatic nebulizer used in inductively coupled plasma—mass spectrometry (ICP-MS), *Atomization and Sprays*, Vol.20, ilssue 5, 2010, pp. 415-433.
42. VOGEL, A. I. *Análise Analítica Quantitativa*. LTC, 6ª ed. Rio de Janeiro, 2002.
43. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *International Agency for Research on Cancer*. Disponível em: <https://www.iarc.who.int/>. Acesso em: 13 jun.2023.
44. KLAASSEN, C.D. (ed). *Casarett and Doull's Toxicology: the basic science of poisons*. 8th ed. 2013. 1454 p